



**MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET DE LA COHÉSION
DES TERRITOIRES**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Étude technique portant sur le rôle des parcs de panneaux photovoltaïques en matière de prévention et de lutte contre les feux de végétation

VERSION DU 19 JUIN 2023



Ce document a été réalisé sous la maîtrise d'ouvrage de la Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR) du Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires - Direction générale de la prévention des risques – Service Risques Naturels et Hydrauliques - Bureau des Risques Naturels Terrestres.

Comité de pilotage :

Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR)

Direction Générale de la Sécurité Civile et de la Gestion des Crises (DGSCGC)

Direction Générale de la Performance Economique et environnementale des entreprises (DGPE)

Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris)

Office National des Forêts – Agence Défense des Forêts Contre les Incendies (ONF/DFCI)

Syndicat des Energies Renouvelables (SER)

Service Départemental d'Incendie et de Secours de Gironde (SDIS 33)

Service Départemental d'Incendie et de Secours des Landes (SDIS 40)

Service Départemental d'Incendie et de Secours du Lot et Garonne (SDIS 47)

Service Départemental d'Incendie et de Secours des Pyrénées-Atlantiques (SDIS 64)

- Jacques BOUFFIER (MTEC/DGPR)
- Fabrice CHASSAGNE (MIOM/DGSCGC)
- Richard DESBIEYS (SDIS 40)
- Fabien FOUILLEN (Ineris)
- Franck GILLIOCQ (SDIS 47)
- Philippe HARGUINDEGUY (SDIS 33)
- Benjamin HURIET (SER)
- Zacharie KARTENER (MTECT/DGPR)
- Yoann LA CORTE (MTECT/DGPR)
- Thierry LAMOTHE (SDIS 40)
- David LOUSTAU (SDIS 64)
- Benoît REYMOND (ONF/DFCI)
- Lionel RICHAILLEY (MASA/DGPE)
- Jérémy SIMON (SER)

Rédaction : Benoît REYMOND (ONF/DFCI) et Fabien FOUILLEN (Ineris) – Juin 2023

Photo de couverture : SDIS 40

Table des matières

| | |
|---|----|
| 1. Introduction..... | 4 |
| 2. Description des principaux paramètres concernant les feux de forêt et de végétation en France | 5 |
| a. Composantes..... | 5 |
| b. Répartition spatiale actuelle et saisonnalité | 12 |
| c. Attendus du changement climatique | 15 |
| 3. Description des principaux types d'installations de panneaux photovoltaïques.. | 18 |
| a. Description générale d'un système photovoltaïque | 18 |
| b. Détail des éléments constitutifs | 19 |
| c. Recensement des différentes configurations d'implantation | 23 |
| d. Particularité des installations au sol..... | 26 |
| 4. Analyse générique des risques liés à l'implantation de panneaux photovoltaïques..... | 31 |
| a. Incidents/accidents recensés et analyse du retour d'expérience..... | 31 |
| b. Comportement au feu des Panneaux Photovoltaïques | 37 |
| c. Analyse des risques | 38 |
| 5. Synthèse des RETEX (Orienté lutte) pertinents pour l'étude | 44 |
| a. Incendie éclos dans le parc..... | 44 |
| b. Incendie éclos hors du parc | 46 |
| c. Incendie de locaux abritant des batteries Lithium-Ion | 55 |
| 6. Rappel de la stratégie de PFCI française et de ses conséquences vis-à-vis des installations photovoltaïques (ONF/DGSCGC)..... | 56 |
| a. Stratégie générale et doctrine opérationnelle..... | 56 |
| b. Dispositifs de surveillance et de première intervention (dont répartition spatiale et temporelle), moyens de lutte terrestres et aériens | 58 |
| 7. Analyse d'un scénario d'éclosion d'un incendie au sein d'une installation photovoltaïque..... | 61 |
| 8. Analyse d'un scénario de menace d'une installation photovoltaïque par un FDF majeur éclos à distance..... | 64 |
| a. Installation photovoltaïque en interface avec massif forestier | 64 |
| b. Installation photovoltaïque sur un ouvrage DFCI (coupure de combustible, pistes et points d'eau associés) | 64 |
| c. Installation photovoltaïque au sein du massif forestier en appui sur un ouvrage DFCI..... | 65 |
| d. Installation photovoltaïque au sein du massif forestier | 66 |
| 9. Contraintes actuelles sur la maintenance des champs de panneaux photovoltaïques..... | 67 |

| | | |
|-----|--|----|
| a. | Contraintes temporelles | 67 |
| b. | Contraintes inhérentes à des problématiques environnementales ou paysagères | 67 |
| 10. | Recommandations dans les zones soumises à un risque d'incendie élevé | 68 |
| a. | Sur les contraintes relatives aux travaux de construction des installations .. | 68 |
| b. | Sur la localisation des installations vis-à-vis des zones à risque d'incendie. | 69 |
| c. | Sur la localisation des installations vis-à-vis des ouvrages DFCI..... | 69 |
| d. | Sur la conception et l'organisation des installations photovoltaïques | 70 |
| e. | Sur la construction, l'exploitation et la maintenance des installations photovoltaïques..... | 73 |
| f. | Sur l'installation de batteries Lithium/Ion dans les parcs | 74 |
| 11. | Conclusion | 75 |

1. Introduction

Les feux de forêts récents (notamment les feux de Gironde en 2022) ont mis en évidence l'enjeu de mieux comprendre les avantages et inconvénients que les parcs de panneaux photovoltaïques sont susceptibles d'avoir en termes de déclenchement des feux de forêt et de végétation, mais aussi dans le ralentissement potentiel de la propagation de ces feux, voire dans leur intégration dans une stratégie de la lutte contre ces feux.

Toutefois, les retours d'expérience ne convergent pas.

Si certains acteurs estiment que ces installations peuvent avoir un effet coupe-feu, d'autres considèrent qu'ils n'ont pas d'effet, voire qu'ils aggravent les risques.

De ces remontées de terrain a émergé le besoin de mieux comprendre le rôle que peuvent jouer les parcs de panneaux photovoltaïques, implantés à l'intérieur ou en bordure des massifs forestiers, sur les feux de végétation.

Pour objectiver l'opportunité d'implanter ou de limiter ces équipements dans les secteurs sensibles aux feux, le ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires a de ce fait décidé de réaliser une étude technique spécifique qui fait l'objet du présent document.

Cette étude s'inscrit dans le cadre des annonces post-incendies de l'été 2022 du Président de la République.

L'objectif de l'étude est d'analyser le rôle des parcs de panneaux photovoltaïques vis-à-vis des événements de feux pour en faire émerger des recommandations en termes d'implantation, de construction et d'exploitation dans les secteurs exposés à des risques significatifs de feux de forêt et de végétation.

Ces recommandations viendront préciser et compléter les éléments de l'annexe 3 de la note de service relative à l'implantation d'installations photovoltaïques en zone inondable, sur une retenue d'eau ou en zone exposée à l'aléa incendie de forêt et de végétation que le ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires vient de diffuser à ses services déconcentrés.

Une éventuelle évolution du cadre réglementaire, qui pourrait utilement s'appuyer sur cette étude, n'est pas dans le périmètre initial de ces travaux mais pourra s'examiner en fonction des conclusions qui se dégageront.

Au sens du présent document, on définit comme parc photovoltaïque l'ensemble des installations nécessaires à la production d'électricité photovoltaïque, des constructions et annexes nécessaires à leur fonctionnement et de tous les autres ouvrages situés à l'intérieur de la clôture périmétrale entourant l'ensemble de ces équipements.

Le parc ainsi défini peut être complété par des ouvrages annexes externes (situés à l'extérieur de la clôture), permettant notamment sa desserte, le transport de l'électricité produite, et sa protection contre les incendies.

Par ailleurs, on entend par massif forestier une vaste étendue boisée, relativement dense, constituée d'un ou de plusieurs peuplements d'arbres, mais aussi de formations végétales naturelles plus ou moins boisées constituant des landes, garrigues et maquis.

2. Description des principaux paramètres concernant les feux de forêt et de végétation en France

a. Composantes

Un incendie est un grand feu qui se propage en causant des dégâts.

Le feu est une combustion dégageant de la chaleur et de la lumière.

La combustion rapide nommée inflammation ne peut se produire que si l'on réunit trois éléments :

- Un combustible
- Un comburant
- Une énergie d'activation en quantité suffisante

C'est ce que l'on résume sous le terme de triangle du feu.



Paramètres de l'incendie

Le combustible

Le combustible peut être constitué de n'importe quel matériau capable de brûler.

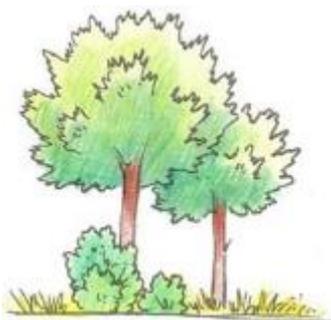
Dans les forêts, les parties les plus facilement inflammables sont les aiguilles, les feuilles mortes et les petites brindilles qui composent la litière, mais aussi les herbes sèches.

Lorsque l'incendie prend de l'ampleur, les parties végétales vivantes de moins de 6 millimètres de diamètre environ participent également à la combustion : broussailles, arbustes, branches basses des arbres, voire cime des arbres dans les feux les plus puissants.

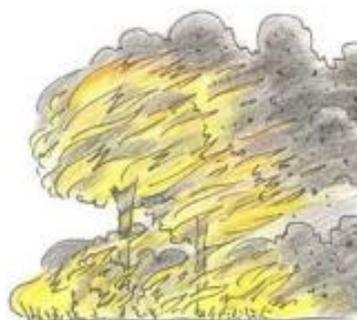
Sous l'effet de la chaleur, ces parties fines vont être transformées en un mélange gazeux – un aérosol - qui va s'enflammer.

Ce combustible est consommé par le feu en quelques minutes.

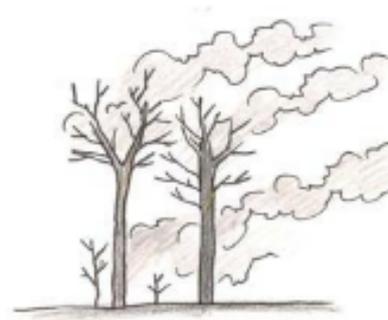
Après le passage du front de feu, les arbres morts qui ont été enflammés peuvent continuer à se consumer pendant plusieurs heures.



Avant



Pendant



Et après le feu

Le comburant

Il s'agit de l'air ambiant, et plus particulièrement de l'un de ses composants principaux, l'oxygène.

Il doit être en quantité suffisante pour alimenter le feu et assurer sa combustion.

Un feu a besoin d'au moins 16% d'oxygène pour s'alimenter sachant que l'air ambiant en contient 20 %. En dessous de ce seuil critique, l'inflammation ne peut avoir lieu.

L'énergie d'activation

Pour qu'un combustible s'enflamme, il doit être suffisamment échauffé, soit par une source de chaleur externe (cigarette, braise tombée d'un barbecue, étincelle provenant d'une disqueuse, etc.), soit par d'autres phénomènes comme par exemple le passage d'un courant électrique (arbres foudroyés, ou végétal en contact avec un vecteur de transport d'électricité).

Le plus souvent, ce sont des éléments végétaux fins, et avec des teneurs en eau faibles (litière, herbacées), qui s'enflamment le plus facilement. Il est donc important de les éliminer à proximité de toutes les sources potentielles d'énergie d'activation, et en particulier dans les parcs de panneaux photovoltaïques de tout point de contact avec un fil électrique, ou de tout point susceptible de générer un court-circuit et des étincelles.

Les phases de la combustion

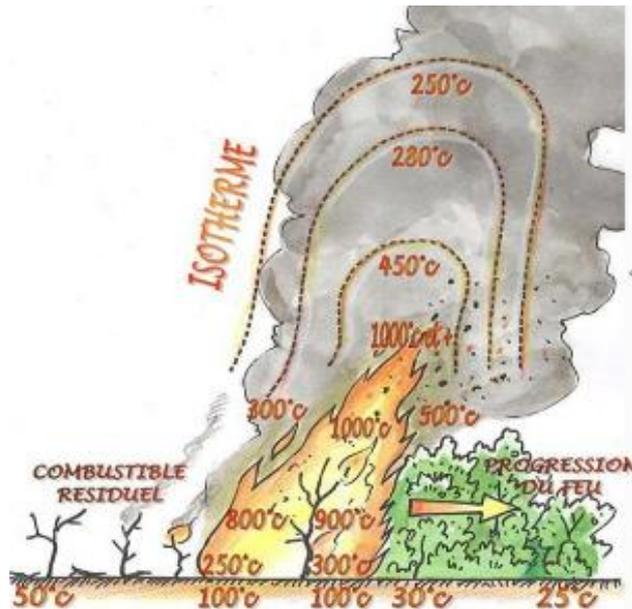
Dès qu'un combustible est soumis à source de chaleur, sa température augmente entraînant sa dégradation thermique selon les phases successives :

- Dessèchement (en dessous de 200 ° C)
L'énergie absorbée par le combustible change sa température et sa teneur en eau (qui baisse)
- Pyrolyse (200 à 280 ° C)

Les combustibles subissent une distillation partielle des gaz qu'ils contiennent (pyrolyse). Jusqu'à 280°C, les produits libérés ne sont pas inflammables

- Inflammation (280 à 500 ° C)
C'est le stade de la décomposition exothermique, l'énergie émise dépasse l'énergie absorbée.
Les produits de pyrolyse vont se mélanger à l'oxygène de l'air et si les conditions le permettent vont s'enflammer ;
- Combustion des résidus charbonneux (500 à 1000 ° C et plus)
Après le passage des flammes, les résidus charbonneux et les derniers restes de combustibles se consomment et continuent à émettre de l'énergie.

Cette production de chaleur permet à la réaction de s'auto-entretenir voire de s'amplifier tant qu'il y a du combustible et de l'oxygène.



Les modes de transfert thermique

La chaleur se transmet selon 3 modes : la conduction, la convection et le rayonnement.



La conduction

C'est un mode de transfert de la chaleur de proche en proche ; c'est un phénomène négligeable pour le bois qui est mauvais conducteur.

La conduction joue cependant un rôle important dans les feux de litière de faible intensité, ou dans les feux d'humus, mais aussi dans l'entretien des foyers résiduels après le passage des flammes (bois mort, souches, etc.).

La convection

Elle transfère la chaleur par les mouvements ascendants des masses gazeuses échauffées.

Elle est liée à la différence de température entre les gaz issus de la combustion et l'air ambiant. C'est le principal agent qui transmet la chaleur depuis la zone enflammée jusqu'à la cime des arbres et qui transporte des éléments incandescents susceptibles de créer de nouveaux foyers.

Ce mode de transfert - très efficace - est en grande partie à l'origine de l'accélération des feux en pente ou en présence de vent.

Le rayonnement

C'est est un phénomène de nature électromagnétique qui transmet la chaleur sous forme d'ondes qui provoque le préchauffage des combustibles en avant du front de flammes.

C'est à cause de lui que l'on peut observer le phénomène d'auto-inflammation. Le rayonnement a une influence majeure sur les éléments fins de combustible, qu'il chauffe facilement (herbes, aiguilles, feuilles, etc.).

Le rayonnement agit sur tous les corps vivants, et donc également sur le corps humain. Selon son intensité, les personnels de secours peuvent être dans l'incapacité d'intervenir, au risque de brûlures, voire d'arrêt cardiaque.

Les facteurs influant sur le développement d'un incendie de forêt

La sensibilité au feu de la végétation

L'inflammabilité

C'est la propriété à s'enflammer que possède un végétal dès qu'une source de chaleur entre en contact avec lui. Ainsi, une touffe d'herbes sèches s'enflammera plus facilement qu'un tronc d'arbre. De plus, elle varie en fonction des différentes espèces végétales.

La combustibilité

C'est la manière dont brûle le végétal une fois qu'il est enflammé. Plus sa combustibilité est élevée, plus il est difficile de l'éteindre. Par exemple, le houppier d'un hêtre aux feuilles naturellement gorgées d'eau s'éteint plus facilement qu'un houppier d'un pin avec ses aiguilles sèches bourrées d'essences naturelles.

Les réserves en eau du sol

La nature du sol

A l'inverse des sols profonds des plaines alluviales par exemple, les sols siliceux ou calcaires sont souvent très caillouteux, et ne parviennent pas à fixer l'eau de façon durable. Ainsi, la légère épaisseur de la couche superficielle possède une faible capacité de rétention d'eau. Il en est de même pour les sols sableux.

La sécheresse

Lorsque les réserves d'eau du sol sont très basses, la plante ne peut plus s'hydrater et se dessèche.

Des phénomènes locaux de rosée matinale, ou de masses d'air marin très humides peuvent très temporairement compenser ce manque d'eau du sol.

Les espèces méditerranéennes sont adaptées à des sécheresses estivales prolongées, et ont développé des stratégies d'adaptation qui leur permettent de survivre, parfois en sacrifiant une partie de leur feuillage. Celui-ci devient alors très sec et très inflammable.

Les facteurs météorologiques

La température (chaleur)

Elle favorise l'évapotranspiration qui va assécher les végétaux et les sols s'il ne pleut pas assez. Pour se protéger de la chaleur et de la sécheresse, la plante bloque l'évapotranspiration et sa photo-synthèse. A défaut d'eau et par excès de chaleur, la végétation libère des gaz inflammables qui stagnent au-dessus de la végétation et qui s'accumulent dans les combes sous certaines conditions. Ils ne seront pas responsables d'un départ de feu mais leur présence va nettement aggraver la situation en cas d'incendie.

L'influence de la température est très marquée dès qu'elle dépasse 30 °C, surtout si elle est associée à des masses d'air sec.

Les retours d'expérience des vagues de chaleur de ces dernières années ont mis en évidence un second seuil au-delà de 40° C sous abri, ce qui correspond en milieu découvert à des températures au sol proches de 60° C.

Les litières et végétaux fins tels que les herbacées notamment deviennent alors extrêmement inflammables (y compris aux brandons transportés lors d'un incendie). On observe alors des feux de forte intensité même par vent faible, avec par exemple en France des sautes pouvant être très longues : plusieurs observations de sautes supérieures à 1 km, quelques cas particuliers de sautes multiples à 2 km.

L'hygrométrie de l'air

Lorsque la masse d'air est très sèche (hygrométrie inférieure à 20 ou 30%), les végétaux morts et fins de la litière ainsi que les herbacées perdent rapidement l'eau qu'ils contiennent, et deviennent très inflammables. Dans ces conditions, toute source de chaleur, même peu intense (en particulier les mégots de cigarette) peut provoquer l'éclosion d'un incendie.

Ainsi, lors de journées à faible hygrométrie en période de sécheresse, on observe souvent une multiplication des départs de feu qui sollicitent fortement les services de secours.

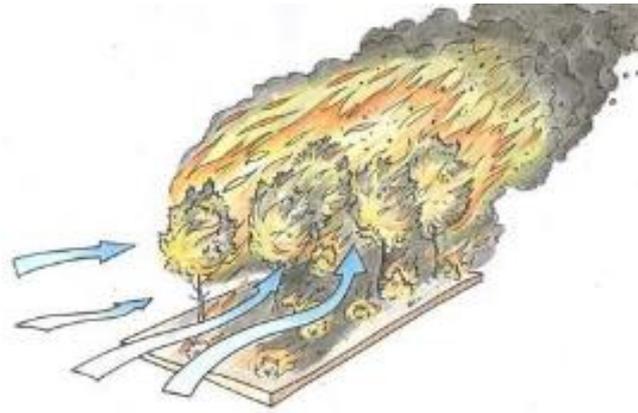
Le phénomène est encore aggravé lors des épisodes d'effet de « foehn », qui se produisent par vent fort, conduisant à un dessèchement local des masses d'air, avec une forte hausse des températures.

En cas de forte chaleur couplée à un sol et un air sec, la propagation d'un feu est nettement accélérée par la facilité d'inflammation de la litière et des herbacées.

Le vent, facteur aggravant

Le vent joue un rôle majeur dans la formation et le développement des incendies car son action est multiple :

- Il augmente, par assèchement, l'inflammabilité et la combustibilité de la végétation ;
- Il agit sur le feu en favorisant le renouvellement de l'oxygène qui sans lui serait rapidement consommé et limiterait sa vitesse de propagation ;
- Il plaque au sol la chaleur dégagée par les flammes du front principal de l'incendie préparant ainsi le terrain de la combustion en asséchant les parties fines et en favorisant l'inflammation des gaz ;

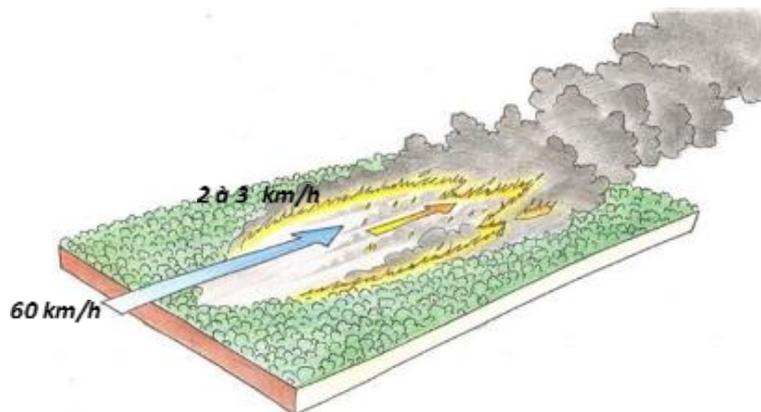


Flammes plaquées au sol par vent violent

Sur un terrain plat, l'incendie de forêt se propage en forme d'ellipse irrégulière étirée, dans l'axe du vent.

Le feu progresse à environ 3 à 8 % de la vitesse du vent selon les terrains (pente, densité et nature de la végétation), le type de végétation, sa teneur en eau et l'hygrométrie de l'air.

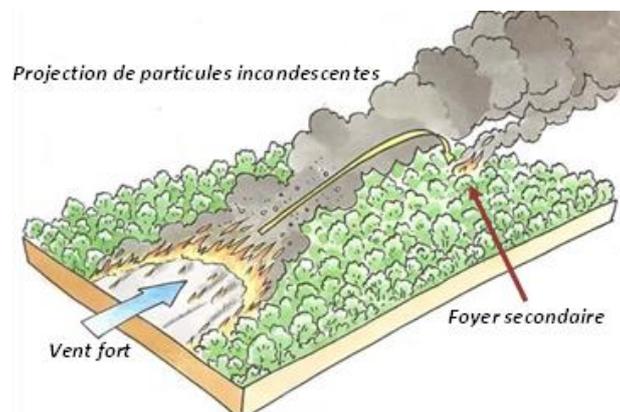
Par exemple, lors d'une journée avec un vent moyen établi à 60 km/h, le feu peut parcourir en moyenne de 2 à 3 km par heure.



La colonne de convection poussée par le vent est également responsable de sautes de feu.

Il s'agit de projections de particules enflammées ou incandescentes - qualifiées de brandons (morceaux d'écorce, cônes de pin, aiguilles, feuilles...) - en avant du front de flammes.

Projetées sur plusieurs centaines de mètres, elles peuvent être à l'origine de foyers secondaires.



Le facteur topographique (relief)

Au problème du vent, de la sécheresse et de la végétation, s'ajoutent les contraintes liées au relief.

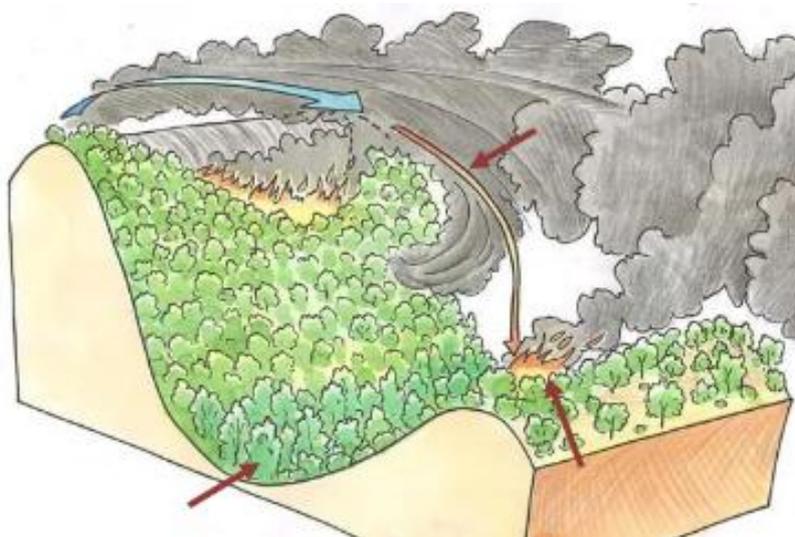
Il joue, en effet, un rôle primordial dans le comportement du feu qui va accélérer dans les versants exposés au vent.

Un feu en montée (feu ascendant) brûle d'autant plus rapidement que la pente est forte, car les flammes et la colonne de convection sont plaquées contre la végétation située au-dessus du foyer.

Passée la crête, en général le vent se calme et les flammes se redressent. Ce phénomène couplé à la descente va ralentir la propagation du feu.

En fond de vallon, si le feu parvient à descendre la pente, il peut rencontrer une végétation relativement plus fraîche moins sensible et moins sujette à sa propagation.

En outre, au-dessus de ces versants abrités, les turbulences du vent créées par le relief vont favoriser le transport des particules incandescentes sur plusieurs centaines de mètres et risquent d'incendier le versant opposé.



Les causes d'incendie de forêt

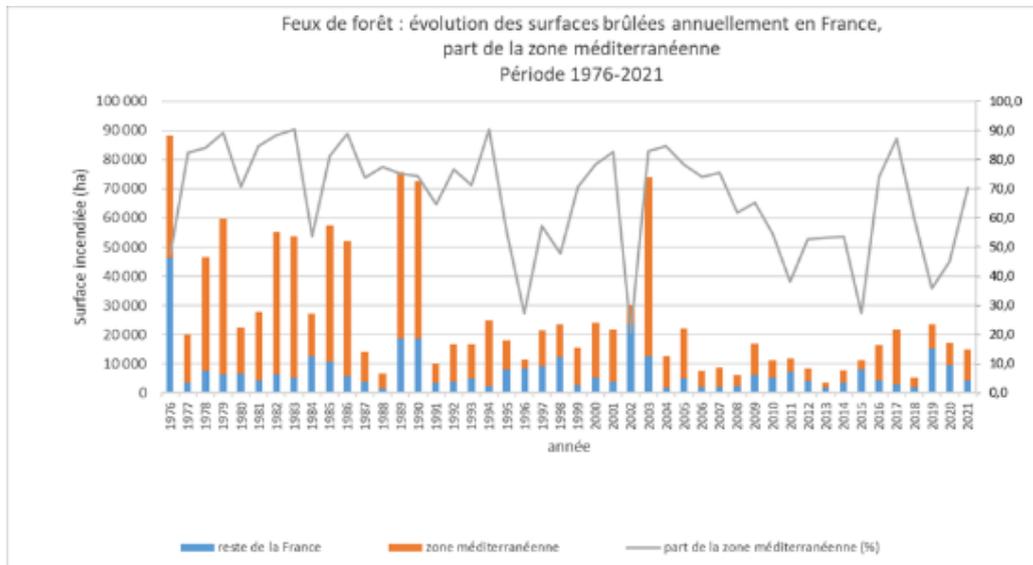
Les causes d'incendies de forêts ne sont que partiellement connues en France, puisque moins de la moitié d'entre-elles sont enregistrées de manière certaine.

Sur la part de causes connues la répartition - variable d'un territoire à l'autre - est en moyenne nationale la suivante :

- Causes naturelles (foudre) 10%
- Causes humaines 90%
 - Causes volontaires (malveillance et pyromanie) 30%
 - Causes imprudences 45%
 - Travaux agricoles et forestiers 30%
 - Imprudences (mégots, barbecue, travaux divers, autres imprudences...) 15%
 - Causes accidentelles 15%
 - Défaut sur infrastructures (lignes électriques, voies de chemin de fer, dépôts ordures, panneaux photovoltaïques...) 13%
 - Reprise d'incendie 2%

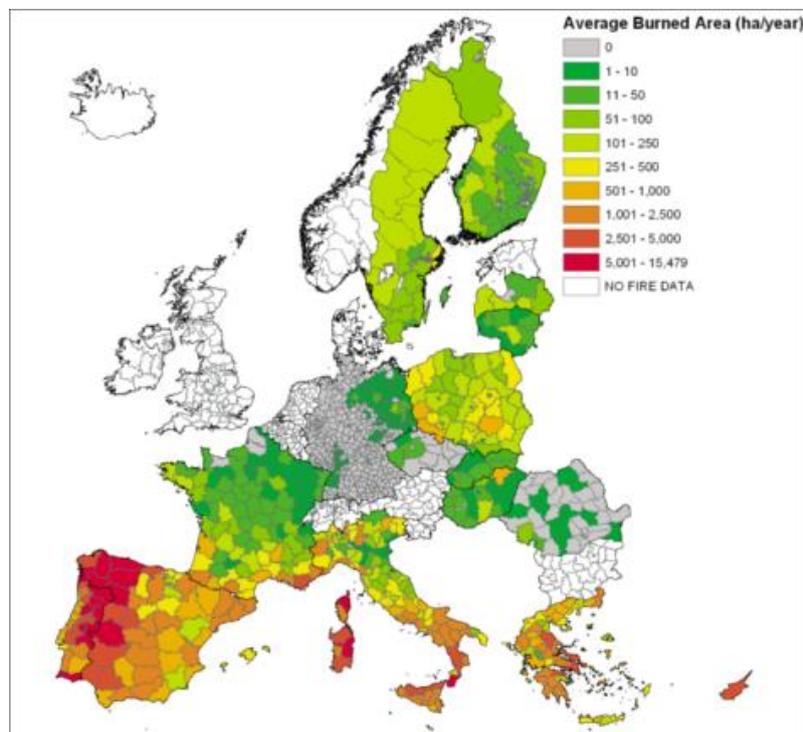
b. Répartition spatiale actuelle et saisonnalité

A l'heure actuelle en France métropolitaine, le risque « feux de végétation » est essentiellement concentré dans la moitié sud du pays et plus particulièrement au sein des départements du bassin méditerranéen qui représente plus des $\frac{3}{4}$ de l'activité opérationnelle annuelle.



Source ministère de l'intérieur - DGSCGC

Au sein de l'Union Européenne, la France fait partie des pays les plus touchés, mais cependant loin derrière l'Espagne, le Portugal, l'Italie et la Grèce.

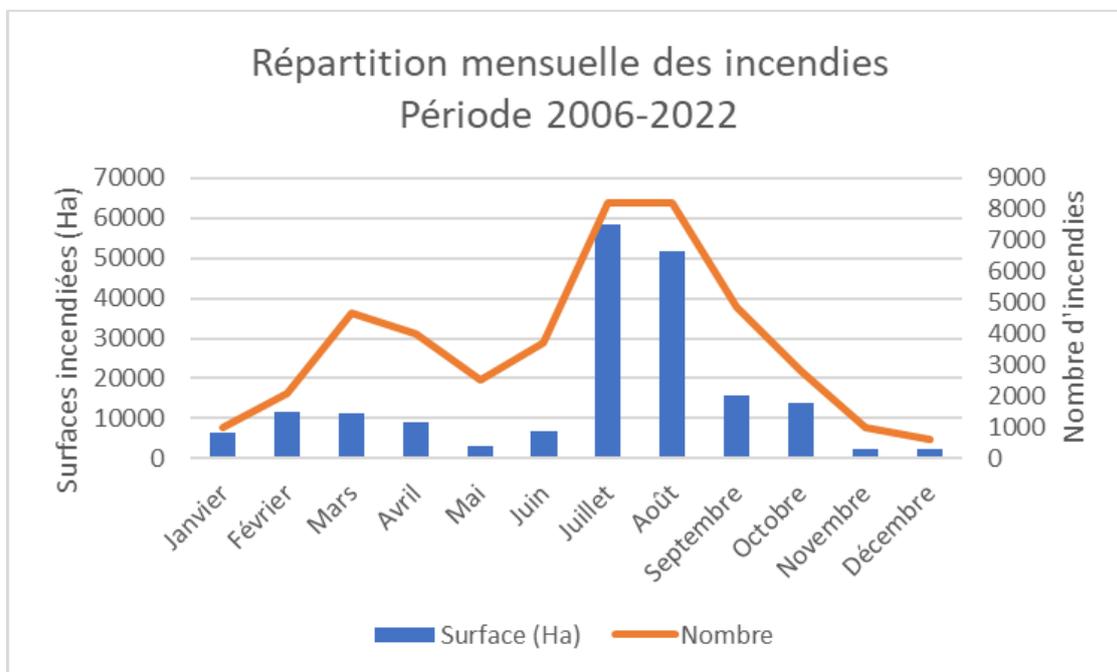


Surface brûlées annuelles par unité administrative en Europe sur 1980-2006 (San Miguel Ayanz and Camia, 2009)

La répartition mensuelle des incendies en France se caractérise par deux pics d'activité, l'un en fin d'hiver/début de printemps (de février à avril), l'autre en été (juillet et août se poursuivant depuis quelques années sur septembre voire octobre).

Les surfaces incendiées les plus importantes sont recensées au cours de la période estivale (environ 70 % du total) avec un second pic en période hivernale (environ 15% du total).

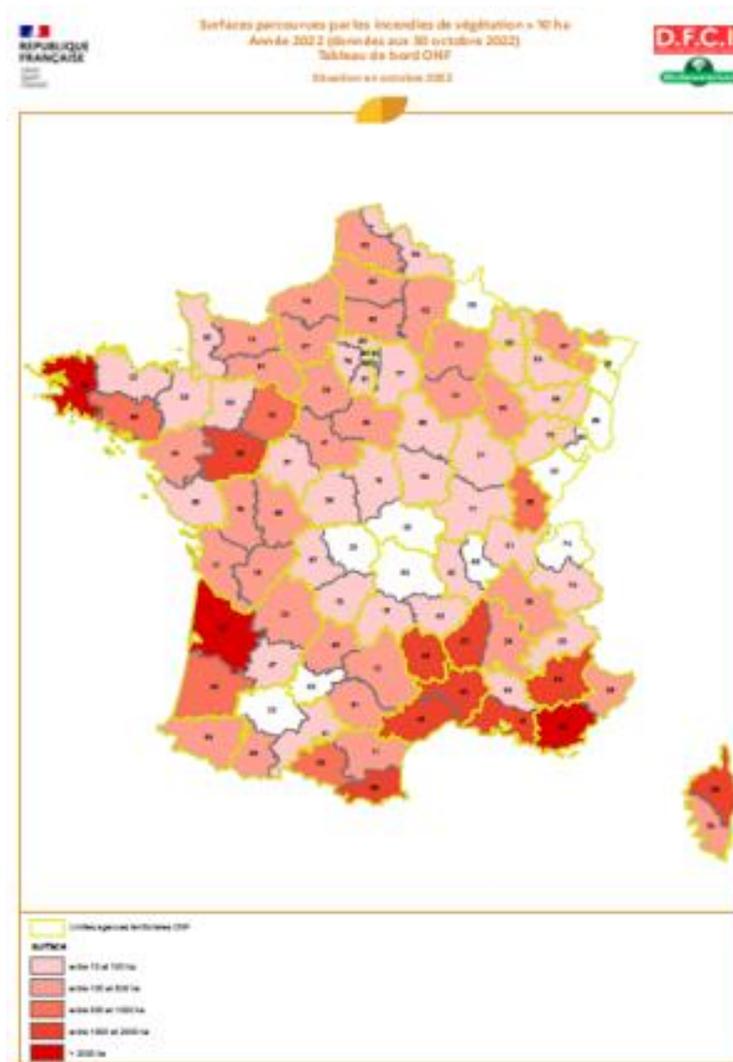
Le schéma ci-après présente cette répartition mensuelle sur la période 2006-2022 au niveau national (source BDIFF).



Les incendies hivernaux ont lieu principalement dans les Pyrénées et les Alpes du sud, en lien avec l'activité pastorale.

Les années les plus sèches, ils peuvent aussi se développer sur des territoires couverts par des sols à faible réserve en eau et fort couvert herbacé (cas notamment des Landes de Gascogne, des massifs siliceux méditerranéens - Corse, Var, Pyrénées-Orientales – ou de certaines landes bretonnes).

Les incendies estivaux sont rares en montagne, mais peuvent se produire ailleurs sur la majorité du territoire national lorsque la sécheresse est forte. Ce fût le cas par exemple en 1976, en 1989-1990, en 2003 et plus récemment en 2022.



Situation pour une année « exceptionnelle » - 2022

Les incendies hivernaux ont lieu en période dormance de la végétation, et trouvent la majorité de leur combustible dans les végétaux fins morts (litière, aiguilles et feuilles mortes, herbacées sèches, notamment fougère et molinie).

Ces éléments fins et morts se comportent comme des éponges et leur teneur en eau dépend essentiellement du nombre de jours sans pluie et de l'hygrométrie de l'air.

Ainsi, lors de périodes de sécheresse avec des airs très secs (périodes relativement communes en montagne), ces végétaux morts sont facilement inflammables.

Les bergers en profitent pour éliminer des refus de pâturage, et parfois le brûlage leur échappe et se transforme en incendie.

Ces derniers peuvent atteindre de vastes surfaces de landes plus ou moins boisées, voire de forêts, et se développer jusqu'aux zones enneigées.

En absence de neige, ils peuvent franchir les cimes et se propager aux vallées voisines.

La réduction du manteau neigeux qui est attendue sous l'effet du changement climatique pourrait donc avoir des impacts très négatifs sur ces feux hivernaux.

De leur côté, les incendies estivaux sont liés aux fortes sécheresses et hautes températures auxquelles est soumise une végétation particulièrement sensible dans le sud de la métropole. Les phénomènes venteux typiques de la région méditerranéenne viennent aggraver la situation.

A ces 3 piliers (végétation, sécheresse, vent), il faut ajouter l'origine quasi systématiquement anthropique des feux pour avoir un panel succinct des entrants de cette problématique.

Pour autant, si le dérèglement climatique a des conséquences sur les feux de végétation, l'évolution de l'aménagement des territoires est un élément incontournable du risque.

Ainsi, à l'augmentation des continuums de végétation générée par les abandons de parcelles (friches) et les nouveaux modes de cultures (plus d'enherbements), vient s'ajouter l'accroissement des interfaces habitat-forêt dû à l'urbanisation à la frontière voire au sein d'espaces naturels.

Ensuite, la forte imbrication d'enjeux humains ou matériels au sein d'espaces végétalisés a tendance à obérer les capacités de lutte des services lors de la survenue d'incendies.

A juste titre, les moyens terrestres et/ou aériens focalisent leurs actions sur la défense des enjeux humains exposés mais leur nombre limité ne leur permet pas toujours de s'attaquer concomitamment à la propagation du sinistre au sein des massifs.

Enfin, les « feux catastrophe » (grande superficie, cinétiques extrêmes, dommages considérables) sont des phénomènes connus.

c. Attendus du changement climatique

Les conditions climatiques de l'année 2022 (comme celles de l'année 2003) donnent un aperçu des effets du changement climatique sur le futur régime des incendies de forêts.

On constate notamment, au cours de cette année exceptionnelle, une forte extension des zones soumises au risque d'incendie, bien au-delà des traditionnels départements du sud.

De premières démarches de simulation de l'extension des zones à risque d'incendie sous l'effet du changement climatique ont été mises en œuvre en 2010 lors d'une mission interministérielle (Rapport dit « Chatry »). Les connaissances ne permettaient alors (et c'est encore le cas aujourd'hui) que de simuler les effets sur la seule période estivale. Une révision de ces travaux est en cours, et les premiers résultats en sont résumés ci-après.

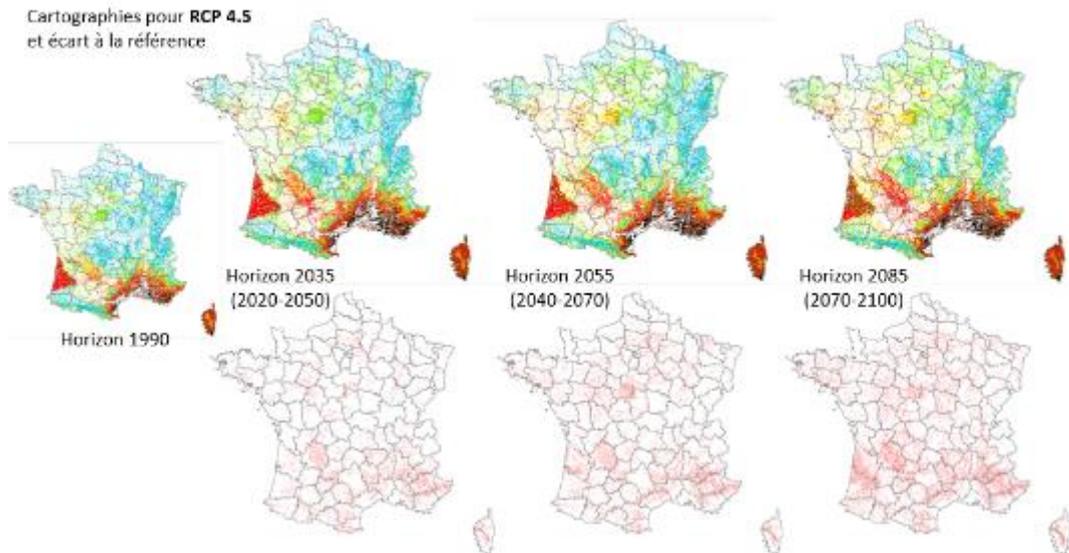
La démarche vise à évaluer la sensibilité aux incendies estivaux de la végétation vivante lorsque la sécheresse atteint un niveau fort.

Une cartographie nationale pour une hypothèse de sécheresse forte homogène sur tout le territoire a été mise en œuvre : elle est qualifiée de carte de sensibilité brute de la végétation aux incendies estivaux.

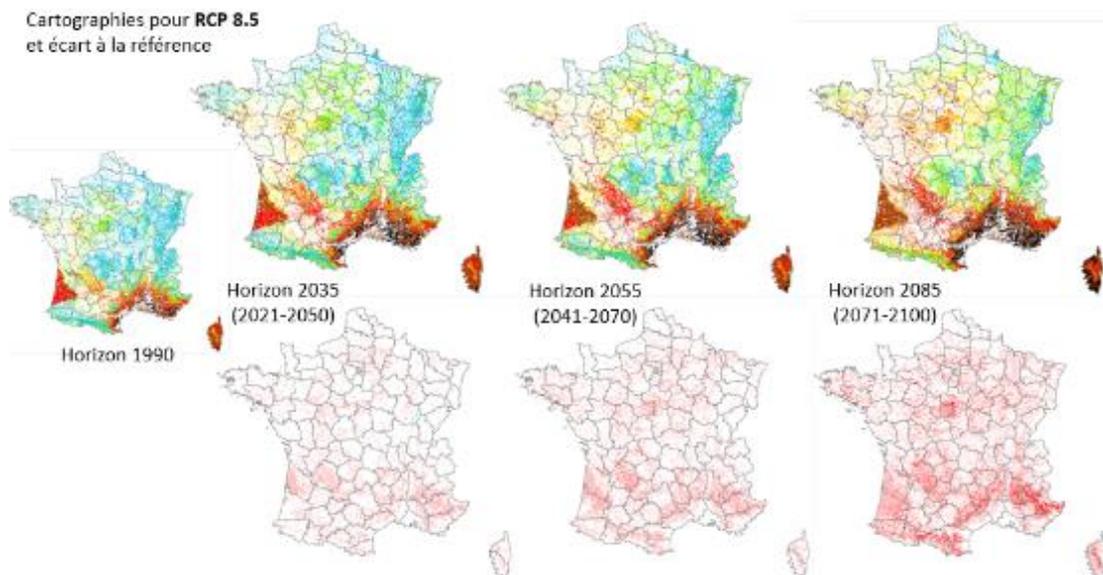
Pour connaître la sensibilité effective de la végétation sous des conditions climatiques de référence et sous des conditions futures simulées, cette sensibilité « brute » est croisée avec un indice traduisant un danger d'incendie (dérivé de la méthode IFM - Indice Feu de Forêt Météo- actuellement utilisée par Météo-France pour les prévisions quotidiennes de danger météorologiques d'incendie).

Les résultats varient selon le modèle d'évolution climatique du GIEC retenu.

Pour le modèle RCP 4.5 (un des plus « optimistes »), les évolutions simulées sont les suivantes :



Pour un modèle intermédiaire, le RCP 8.5, les évolutions sont plus fortes.



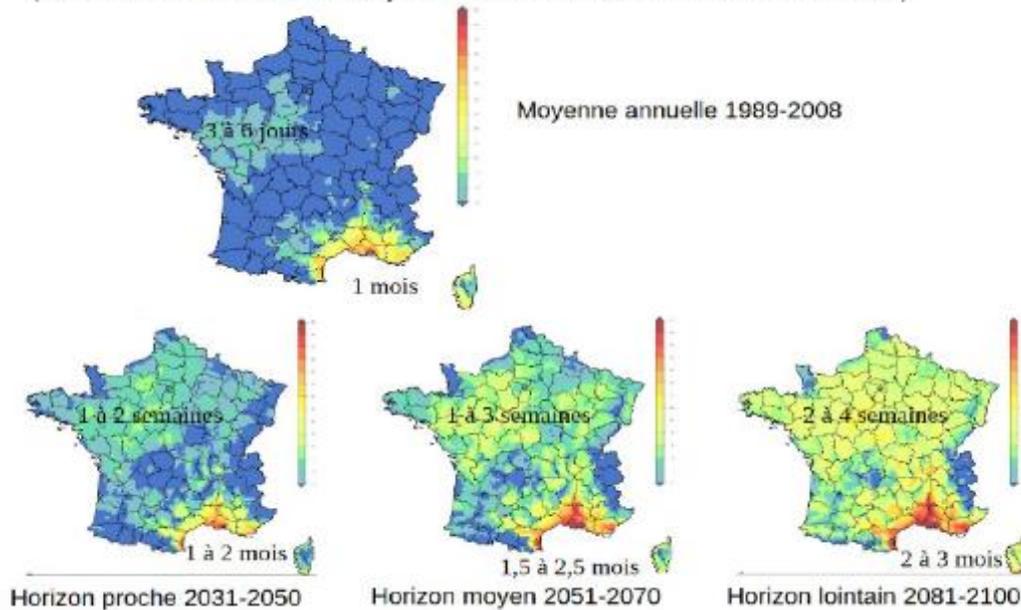
Ces deux schémas montrent l'évolution simulée de la situation de référence actuelle (carte à gauche « horizon 1990 ») des niveaux de sensibilité de la végétation aux incendies estivaux (allant de faible en bleu à très élevée en noir).

Les cartes en dessous donnent les écarts par rapport à la situation 1990 (plus la couleur est rouge foncé plus l'écart – à la hausse- est fort) ;

Au-delà de l'extension géographique du danger estival d'incendie, les simulations produites par Météo-France mettent également en évidence un allongement de la durée de ce danger estival (sur la base de prospectives sur le nombre de jours au cours duquel l'IFM dépasse la valeur de 40, représentative d'un niveau de danger élevé).

Allongement saisons feux de forêt et végétation

(Sensibilité feu météo élevée : nb jours IFM>40 – modèle A2 - scénario SRES/AR4)



Ces simulations montrent une nette augmentation du nombre de jours de danger élevé par rapport à la situation actuelle.

Au-delà de cette augmentation de la période à risque, les simulations font aussi apparaître au sein de cette période à risque une nette augmentation des niveaux de danger, traduisant une hausse probable de l'intensité des incendies.

Concernant les données liées au vent, les modèles climatiques ne peuvent pas décrire les effets locaux typiques d'une région en raison d'une définition peu adaptée à la prise en compte des reliefs de petite échelle.

Aussi, les spécificités d'évolution des « grands feux » à cinétique rapide sont hors champ d'étude.

Enfin, ces simulations n'ont pas pris en compte les feux d'espaces agricoles.

Sur ce dernier point très particulier - puisqu'il ne concerne que la période estivale (céréales avant moissons puis chaumes) - le suivi d'indices spécifiques (nombre de jours sans pluie et IEPx utilisé depuis 2019) sur les secteurs concernés reste pertinent.

3. Description des principaux types d'installations de panneaux photovoltaïques¹

a. Description générale d'un système photovoltaïque

Tout panneau photovoltaïque exposé à la lumière et raccordé à un réseau électrique ou consommateur produit une énergie électrique permanente. Sauf à occulter totalement l'ensemble des panneaux photovoltaïques ou la nuit, il est impossible de couper physiquement cette alimentation électrique dans la partie amont de l'installation (courant continu).

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 la 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 cellules sont 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, le plus souvent une feuille de polymère ou une autre plaque de verre.

Les autres éléments composant le système photovoltaïque sont généralement :

- Le coffret DC : Armoire électrique de regroupement des câbles transportant le courant continu venant des panneaux photovoltaïques, le conducteur sortant alimente l'onduleur.
- L'onduleur : Dispositif électronique permettant de transformer et délivrer des tensions et des courants alternatifs à partir d'une source électrique continue.
- 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) : Appareil 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 supérieure 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.

¹ *GUIDE DE DOCTRINE OPÉRATIONNELLE, Opérations de secours en présence d'électricité, DSP/SDDRH/BDFE/ DATE 2022*

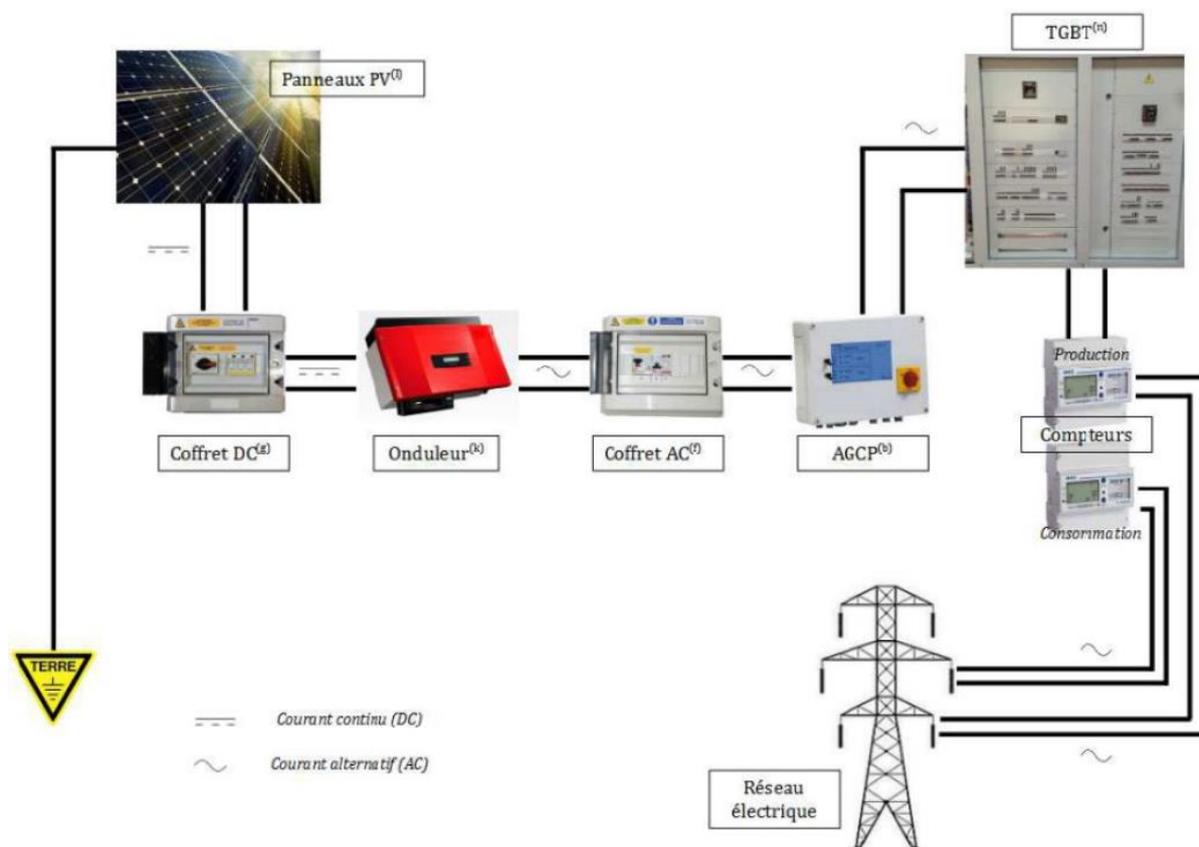


Schéma de principe d'un système photovoltaïque, Guide DGSCGC 2017

b. Détail des éléments constitutifs²

Les différents types de cellules

Deux technologies de cellules photovoltaïques sont actuellement essentiellement utilisées pour les panneaux photovoltaïques classiques, de morphologie rigide ou amorphe :

- La technologie du silicium cristallin,
- La technologie des couches minces (« Thin Film »)

Ces deux technologies sont décrites dans les paragraphes suivants.

Technologie du silicium cristallin

Les cellules en silicium cristallin sont composées de fines tranches coupées à partir d'un seul cristal de silicium (monocristallin) ou d'un bloc de cristaux de silicium (polycristallin). Leur rendement varie entre 12% et 17%. Il s'agit de la technologie la plus répandue, représentant aujourd'hui environ 90% des installations.

² Prévention des Risques associés à l'implantation de cellules photovoltaïques sur des bâtiments industriels ou destinés à des particuliers, Rapport Ineris / CSTB, DRA-10-108218-13522A

Trois principaux types de cellules cristallines peuvent être distingués :

- Monocristallines (Mono c-Si),
- Polycristallines (Poly c-Si),
- Rubans (ribbon c-Si).

Ces modules se distinguent en fonction des technologies de silicium qu'ils utilisent :

- silicium monocristallin : les capteurs photovoltaïques sont à base de cristaux de silicium encapsulés dans une enveloppe plastique.
- silicium polycristallin : les capteurs photovoltaïques sont à base de polycristaux de silicium, notablement moins coûteux à fabriquer que le silicium monocristallin, mais qui ont aussi un rendement un peu plus faible. Ces polycristaux sont obtenus par fusion des rebuts du silicium de qualité électronique.
- silicium amorphe : les panneaux « étalés » sont réalisés avec du silicium amorphe au fort pouvoir énergisant et présentés en bandes souples permettant une parfaite intégration architecturale.

La technologie des couches minces

Les cellules en couches minces sont constituées de très fines couches d'un matériau photosensible déposées sur un support à bas-coût tel que le verre, l'acier inoxydable ou le plastique. Les coûts de production du procédé des couches minces sont inférieurs à ceux de la technologie cristalline qui nécessite davantage de matière première. Cet avantage en termes de prix est toutefois contrebalancé par des rendements généralement moins élevés (entre 5% et 13%).

Quatre types de cellules en couches minces (en fonction de la matière active utilisée) sont actuellement disponibles dans le commerce :

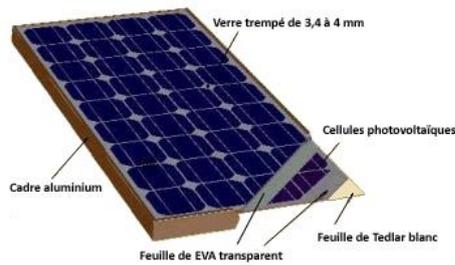
- Silicium amorphe (a-Si),
- Tellure de Cadmium (CdTe),
- Cuivre Indium/Gallium Disulfide / disulfide (CIS, CIGS),
- Cellules multi-jonction (a-Si/m-Si).

Les cellules polymères et les cellules composites organiques/inorganiques sont encore au stade de l'étude.

Les modules

Le terme générique « module » désigne un assemblage de cellules photovoltaïques interconnectées, complètement protégé de l'environnement. Cet assemblage peut être ou non cadré. Ces modules comportent par ailleurs une boîte de connexion d'où sortent deux câbles électriques, dont les extrémités sont généralement équipées de connecteurs électriques. Les différents types de modules actuellement proposés sur le marché sont les suivants :

Module photovoltaïque standard



Source : SYSTEMES SOLAIRE

- Constitué d'un verre en face avant et d'un film polymère en face arrière entre lesquels sont encapsulées des cellules photovoltaïques.
- La sous-face du laminé reçoit par ailleurs une boîte de connexion assurant le raccordement aux câbles électriques qui permettent la connexion des modules entre eux.
- Ce laminé peut ensuite être cadré ou non.

Module photovoltaïque standard

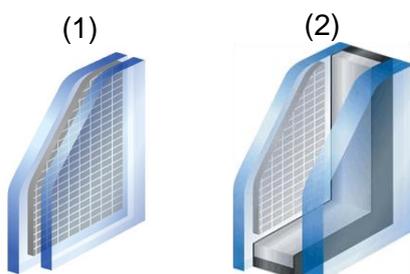
Les compositions « classiques » proposées pour ce type de modules sont :

- Du verre trempé de 3,2 ou 4 mm d'épaisseur,
- Un film polymère de 0,250 à 0,450 mm d'épaisseur, très généralement à base de polyéthylène téréphtalate (PET) et polyfluorure de vinyle (PVF ou Tedlar®),
- Certains films peuvent également être à base d'Ethyl Vinyl Acétate (EVA) ou de polyfluorure de vinylidène (PVFD) associé à du Tedlar®,
- Des cellules photovoltaïques à base de silicium mono ou polycristallin de dimension 125x125 mm ou 156x156 mm d'une épaisseur généralement comprise entre 0,180 et 0,240 mm,
- Une résine d'encapsulation principalement en Ethyl Vinyl Acétate (EVA) d'une épaisseur moyenne de 0,5 mm Le Polyvinyle butyrate (PVB) peut également être utilisé,
- Des fils en cuivre étamé afin de collecter l'électricité produite par les cellules.

Les boîtes de connexions qui sont principalement en matériau synthétique (de composition non révélée), sont collées à l'aide de silicone et présentent des dimensions inférieures à (150x120x30) mm

Dans le cas des modules cadrés, les profilés d'encadrement sont très généralement en aluminium brut ou anodisé.

Vitrage photovoltaïque



Source/ SCHOTT SOLAR

- Vitrage feuilleté (1) ou vitrage isolant photovoltaïque (2).
- Les cellules photovoltaïques sont encapsulées dans une résine et prises en sandwich entre deux feuilles de verre (feuilleté).

Vitrages photovoltaïques

Les compositions « classiques » proposées pour ce type de modules sont :

- Un verre, côté intérieur,
- Un verre, côté extérieur,

- Des cellules photovoltaïques à base de silicium mono ou polycristallin de dimension 125x125 mm ou 156x156 mm d'une épaisseur généralement comprise entre 0,180 et 0,240 mm,
- Une résine d'encapsulage principalement en Ethyl Vinyl Acétate (EVA) d'une épaisseur moyenne de 0.5 mm. Le Polyvinyle butyrate (PVB) peut également être utilisé,
- Des fils en cuivre étamé afin de collecter l'électricité produite par les cellules.

Film photovoltaïque



Source : UNISOLAR

- Constitué en grande partie de feuilles polymère, ces modules ont la propriété d'être souples.
- Les cellules photovoltaïques sont en couches minces (poudre de matériau semi-conducteur déposées sur un substrat).

Films photovoltaïques

Les films les plus couramment rencontrés aujourd'hui sur le marché sont composés de cellules photovoltaïques, à l'état amorphe, déposées sur un substrat en acier inoxydable constituant le pôle négatif puis encapsulées dans un polymère éthylène tétrafluoroéthylène (ETFE ou Tefzel®). L'épaisseur globale est de l'ordre de 0,3 cm.

Les onduleurs

Une grande variété d'onduleurs est proposée sur le marché. Les protections minimales proposées sont IP 21 pour une installation intérieure et IP 44 pour une installation extérieure. Ils doivent par ailleurs être marqués CE selon les Directives 89/336/CEE « Compatibilité électromagnétique » et 73/23/CEE « Equipement basse tension ».

Les câbles et connecteurs

Les câbles électriques équipant les modules photovoltaïques présentent généralement des sections de 2.5 à 4 mm² pour une tension assignée de 1 000 V.

Dans le cadre de l'application de la Directive Basse Tension, un groupe de travail a été amené à rédiger le guide UTE 32-502. Il donne les prescriptions pour les différents types de câbles destinés à être utilisés dans les installations photovoltaïques pour la ou les partie(s) soumise(s) aux mêmes contraintes que celles des panneaux photovoltaïques (rayonnement UV, chaleur, intempéries, ...). Vis-à-vis du comportement au feu, ce guide préconise un essai de propagation de la flamme sur le câble complet selon la norme NF C 32-070 essais n° 1 (C2). Les connecteurs associés sont généralement de classe de sécurité électrique II mais présentant des caractéristiques « IPXX » et des modes de connexion entre eux variables.

A noter cependant que l'utilisation de connecteurs débroschables ou à blocage rotatif permet de simplifier la procédure d'installation, d'assurer la protection contre les contacts directs et d'obtenir un contact bon et durable entre chacune des polarités. Ces types de connecteurs limitent ainsi les risques d'arc électrique.

Le « Guide pratique » édité par l'ADEME et le SER en décembre 2008, préconise par ailleurs l'utilisation de connecteurs :

- De classe de sécurité électrique II.
- De caractéristiques minimales IP54.

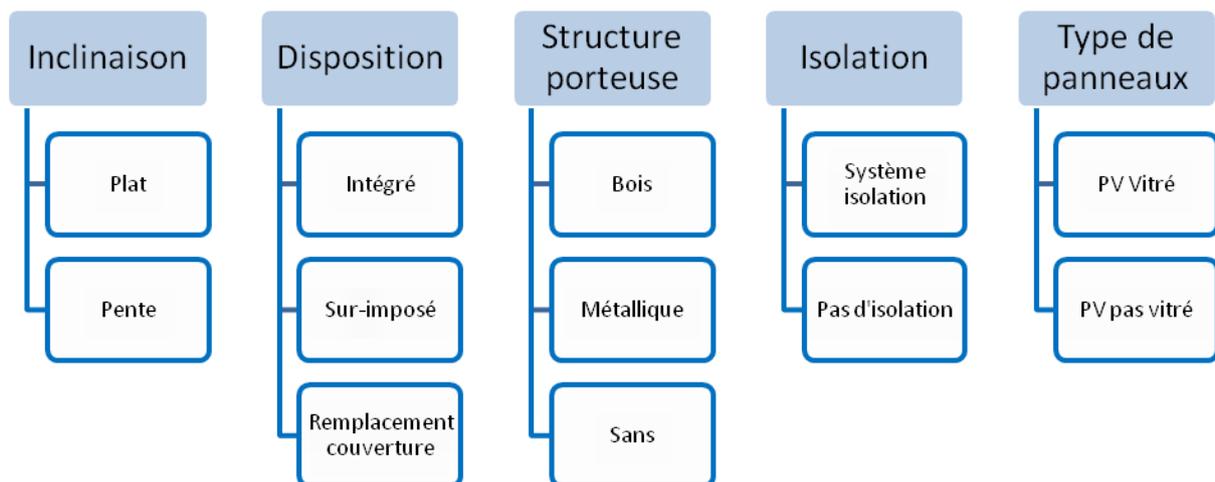
c. Recensement des différentes configurations d'implantation

L'objectif de ce paragraphe est de présenter une cartographie des différentes configurations possibles afin de conduire l'analyse des risques de ces installations en se focalisant plus particulièrement sur le risque incendie.

Pour construire la cartographie, le système peut être décomposé en dispositifs élémentaires :

- La typologie du système de panneaux photovoltaïques (inclinaison, disposition, structure porteuse, isolation, catégorie de panneaux),
- La technologie des panneaux (modèle, type, rendement),
- Le cadre,
- La vitre,
- Le type de fixation,
- Le système d'étanchéité,
- L'isolation,
- La couverture,
- Le type de charpente,
- Le boîtier connectique,
- Les connectiques inter-panneaux,
- Le type de câble solaire,
- L'onduleur.

Ces différents éléments peuvent se regrouper selon les catégories suivantes :



Description du système

Plus de 15 systèmes peuvent ainsi être identifiés. Ils varient en fonction de la configuration et du type de matériaux utilisés. A raison d'un descripteur pour les 5 critères de choix (inclinaison, disposition, structure porteuse, isolation types de panneaux), l'ensemble des combinaisons possibles définissent les 15 systèmes possibles. De ces systèmes, on en dénombre :

- 2 en mode de « sur-imposition », disposé au-dessus de la toiture,
- 7 de type « imposition / intégration », intégré à la toiture,
- Et 6 en « remplacement de couverture ».

L'ensemble de ces systèmes est reporté dans le tableau suivant :

| Système n° | Caractéristiques, indicateurs descriptifs | Implantation | | Exemple |
|------------|---|--------------|-------------|---|
| | | industriel | particulier | |
| 1 | Pente, Sur-imposé, Métallique, Vitré | ✓ | ✓ |  |
| 2 | Plat, Sur-imposé, Métallique, Sans isolation, Vitré | ✓ | |  |
| 3 | Pente, Imposé, Bois, Isolation, Vitré | | ✓ |  |
| 4 | Pente, Imposé, Bois, Sans isolation, Vitré | | ✓ |  |
| 5 | Pente, Imposé, Bois, Isolation, Pas vitré | | ✓ |  |
| 6 | Pente, Imposé, Métallique, Isolation, Vitré | | ✓ |  |
| 7 | Pente, Imposé, Métallique, Sans isolation, Vitré | | ✓ |  |
| 8 | Plat, Imposé, Bois, Isolation, Pas vitré | ✓ | ✓ |  |

| | | | | |
|----|---|---|---|---|
| 9 | Plat, Imposé, Bois, Sans isolation, Pas vitré | ✓ | ✓ |  |
| 10 | Pente, Remplacement couverture, Bois, Isolation, Vitré | | ✓ |  |
| 11 | Pente, Remplacement couverture, Bois, Sans isolation, Vitré | | ✓ |  |
| 12 | Pente, Remplacement couverture, Métallique, Isolation, Vitré | ✓ | ✓ |  |
| 13 | Pente, Remplacement couverture, Métallique, Sans isolation, Vitré | ✓ | |  |
| 14 | Plat, Remplacement couverture, Métallique, Sans isolation, Vitré | ✓ | |  |
| 15 | Plat, Remplacement couverture, Métallique, Isolation, Pas vitré | ✓ | |  |

Identification des différents systèmes

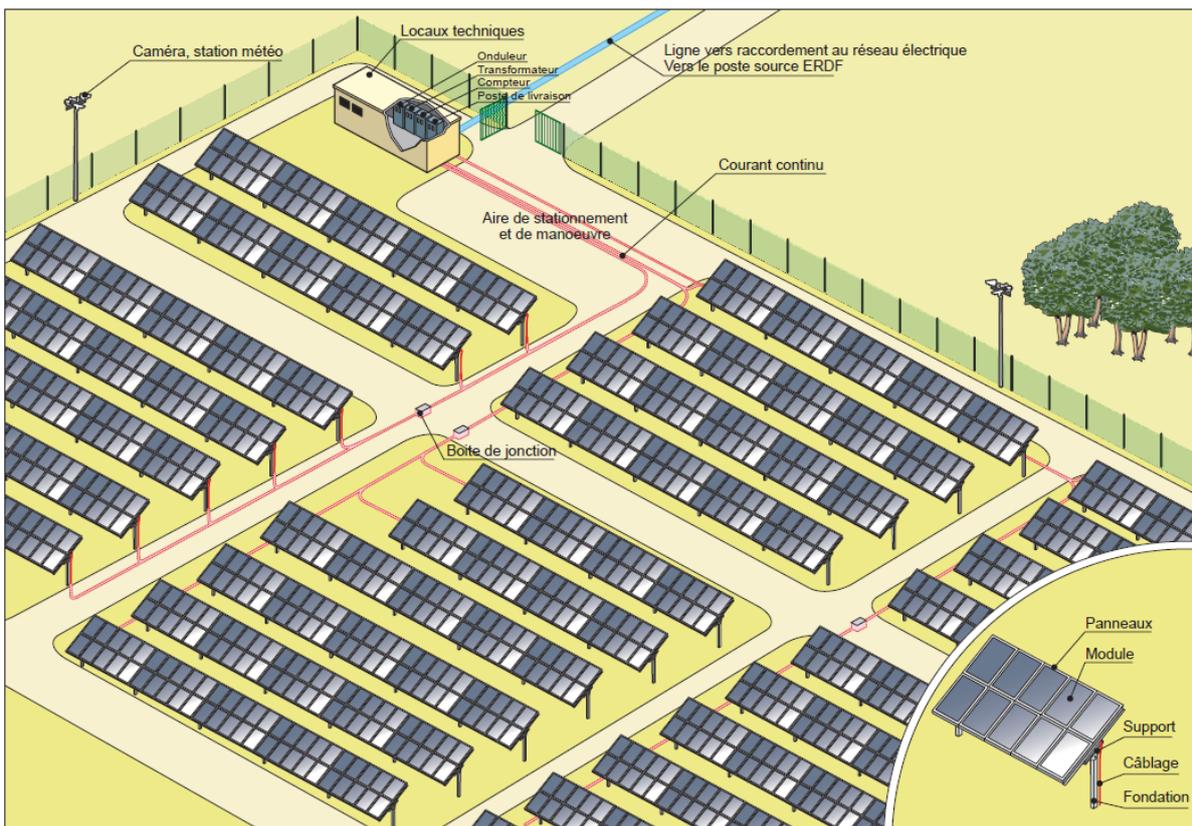
Ces configurations sont utilisées pour déterminer l'intervalle des différentes charges calorifiques associées à chacune d'entre elles, en retenant une configuration favorable et une configuration défavorable.

d. Particularité des installations au sol³⁴

De manière générale, les parcs photovoltaïques au sol sont des projets de grande envergure. Les terrains favorables sont de préférence plats et dégagés, sur plusieurs hectares, faciles d'accès et pouvant être clôturés. La distance de raccordement au poste source le plus proche fait également partie des critères de sélection d'un terrain. La compatibilité du projet avec le document d'urbanisme et les éventuelles protections et servitudes applicables est également un critère de sélection. Les parcs photovoltaïques n'ont pas vocation à occuper des terres arables qui doivent, du point de vue du développement durable, être réservées à la production de nourriture dans une perspective de relocalisation de l'agriculture et de réduction de l'empreinte écologique des systèmes alimentaires.

Les éléments constitutifs

Un parc photovoltaïque est constitué de plusieurs éléments : le système photovoltaïque, les câbles de raccordement, les locaux techniques, la clôture et les accès.



Exemple de parc photovoltaïque

³ www.photovoltaique.info

⁴ « Installations photovoltaïques au sol – Guide de l'étude d'impact », Ministère de l'Ecologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, Direction générale de l'Energie et du Climat. www.developpement-durable.gouv.fr

Les tables

Dans les parcs au sol, les modules sont fixés sur des tables. Celles-ci sont soit en position fixe, généralement inclinées vers le sud, soit mobiles sur des structures couramment appelées « trackers » ou suiveurs de soleil, qui s'orientent en fonction de la course du soleil selon un ou deux axes.

Les tables fixes comportent généralement 3 à 6 rangées de modules dans le sens de la hauteur sur 10 à 20 modules dans le sens de la longueur. Le bas des modules est à environ 80 cm du sol et le haut des tables se situe entre 2 m 50 et 4 m. Au début des années 2020, la majorité des installations photovoltaïques au sol installées ou en cours de construction sont de cette configuration.



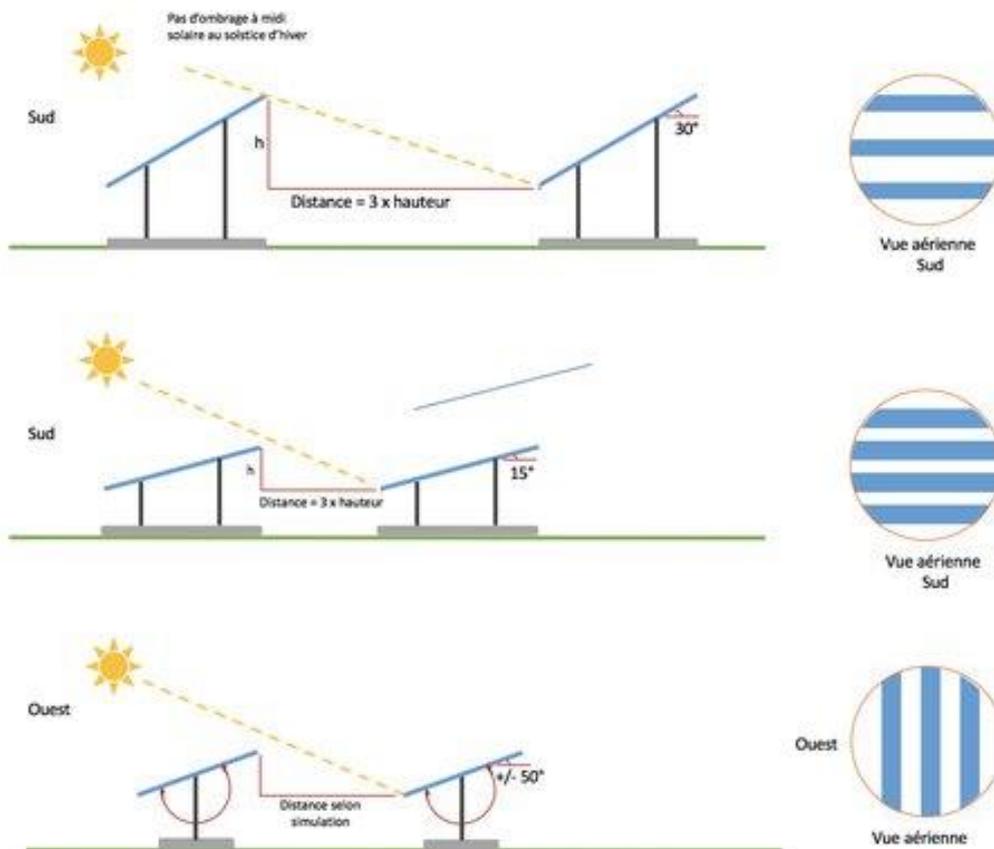
Les trackers à axe unique horizontal forment des rangées nord-sud pour pouvoir pivoter d'Est en Ouest, généralement sur une largeur de module. Ils sont ainsi orientés à l'Est le matin à une inclinaison de 50° par rapport à l'horizontale, positionnés à l'horizontale à midi, et inclinés à l'Ouest à 50° le soir. Leur débattement ne dépasse pas 2 m 50 de haut. Ils sont équipés de moteurs répartis par rangées ou actionnant plusieurs rangées à travers un axe.



Les trackers deux-axes, qui s'orientent d'Est en Ouest au cours de la journée mais également du Nord au Sud en fonction des saisons, sont réservés aux cellules photovoltaïques à concentration. Celles-ci sont constituées d'une lentille de Fresnel en face avant de chaque cellule de silicium, pour lesquelles l'incidence du rayonnement solaire doit être normale à tout instant.



Le choix de la hauteur des structures dépend de l'impact paysager du parc et des possibilités d'ancrage (de la nature du sol). L'espacement entre les rangées de modules est calculé en fonction de l'ombrage mutuel d'une rangée ou d'un tracker sur l'autre.



Les boîtes de jonction et câbles de raccordement

Tous les câbles issus d'un groupe de panneaux photovoltaïques rejoignent une boîte de jonction d'où repart le courant continu, dans un seul câble, vers le local technique. Les câbles issus des boîtes de jonction sont posés côte à côte sur une couche de 10 cm de sable au fond d'une tranchée dédiée, d'une profondeur de 70 à 90 cm.

Les câbles haute tension en courant alternatif sont également enterrés et transportent le courant du local technique jusqu'au réseau d'Electricité réseau distribution France (ERDF).

Les voies d'accès

Sans préjuger des contraintes supplémentaires que pourrait nécessiter la lutte incendie, des voies d'accès sont prévues pour que l'exploitation de la centrale photovoltaïque se déroule dans les meilleures conditions et pour faciliter le déplacement des différents intervenants au sein du parc. Les pistes d'exploitation sont aménagées selon les besoins des équipes de maintenance à l'intérieur du site. La conception du parc est faite pour que la circulation entre les rangées de panneaux soit également possible, afin que l'intervention des techniciens et l'entretien des panneaux soient simplifiés.

Dans certains cas, des aménagements paysagers peuvent être envisagés en complément, en fonction de l'environnement du site et des contraintes d'intégration.

La sécurité du site

Pour préserver le parc photovoltaïque des intrusions, des clôtures sont installées. Elles permettront de délimiter la centrale et serviront aussi bien à protéger les installations que les personnes. La sécurisation du site passe également par la mise en place de caméras de surveillance ainsi que d'un système d'alarme afin de limiter au mieux les intrusions.

En fonction des préconisations des services de secours, les besoins en eau dédiés à la lutte incendie devront également être assurés.

Les locaux techniques

Les locaux techniques sont répartis de façon homogène au sein du site. Ils permettent d'optimiser la production d'électricité. À l'intérieur de ces locaux se trouvent les onduleurs et les transformateurs qui permettent l'utilisation du courant produit et le transfert vers le réseau électrique. Le poste de livraison qui fait le lien entre la centrale et le réseau abrite les compteurs de la production électrique.

Stockages d'énergie

Certains projets s'accompagnent dorénavant de la mise en place de systèmes permettant de stocker l'énergie produite. Il s'agit généralement de container de stockage, abritant des ensembles de batteries Li-ion. En cas de besoin, ceux-ci peuvent être déportés par rapport au parc, afin de les intégrer dans un environnement adapté aux risques qui leurs sont propres, et notamment le risque incendie.

Cycle de vie

En dehors de son exploitation à proprement parler, la vie d'une ferme photovoltaïque est également caractérisée par sa phase de construction, et sa phase post-exploitation. Comme indiqué ci-après, ces étapes de la vie d'un parc photovoltaïques entraînent des interventions majeures. Celles-ci ne sont donc pas marginales en regard du risque incendie qu'elles sont susceptibles de générer.

Les différentes phases de construction d'une installation photovoltaïque au sol

La construction d'une installation photovoltaïque au sol se réalise généralement selon les phases suivantes :

- aménagement éventuel des accès (lorsque les pistes sont inexistantes ou de gabarit insuffisant) ;
- préparation éventuelle du terrain (nivellement et terrassement) ;
- réalisation de tranchées pour l'enfouissement des câbles d'alimentation ;
- pose des fondations des modules. Selon la qualité géotechnique des terrains, des structures légères (pieux en acier battus dans le sol) ou des fondations plus lourdes (semelles en béton par exemple) seront mises en place ;
- montage des supports des modules ;
- pose des modules photovoltaïques sur les supports ;
- installation des équipements électriques (onduleurs et transformateurs, poste de livraison), puis raccordements ;
- travaux de sécurisation (clôture, surveillance) ;
- essais de fonctionnement.

La fin de vie d'une installation photovoltaïque au sol

Tous les constructeurs proposent aujourd'hui des garanties de production sur 25 ans (la production est encore de 90 % de la production initiale après 10 ans et de 80 % après 25 ans). Les installations existantes montrent que les modules peuvent produire pendant 30 ans. En fin de vie de l'installation, deux choix s'offrent donc à l'exploitant :

- soit la continuité de l'activité qui nécessite le remplacement des modules de production par des modules de nouvelle génération et la modernisation des installations annexes (sous réserve de l'obtention de nouvelles autorisations administratives et du renouvellement du bail du terrain) ;
- soit la cessation d'activité qui requiert la déconstruction des installations et la remise en état du site.

4. Analyse générique des risques liés à l'implantation de panneaux photovoltaïques

a. Incidents/accidents recensés et analyse du retour d'expérience

Des différents accidents répertoriés, diverses causes possibles peuvent entraîner un départ de feu, puis l'incendie des panneaux voire des installations situées à proximité. L'incendie des panneaux photovoltaïques peut être dû à une agression extérieure, à un défaut technique, à une erreur d'installation et de maintenance ou à d'autres éléments externes.

Cette analyse ne prend pas en compte les parcs de panneaux photovoltaïques, dont le retour d'expérience est spécifiquement traité plus loin dans l'étude.

| Date | Lieu | Situation | Cause du sinistre | Remarques et illustrations |
|----------|-----------------------------|---|---|--|
| 08/04/08 | Bremen, Allemagne | Maison | Onduleur |  |
| 28/02/09 | Saint-Pierre, France | Entrepôt, Société SCE | Feu d'entrepôt |  |
| 04/09 | Bakersfield, Californie | Panneaux de type silicium en configuration sur-imposé | Arc électrique |  |
| 21/06/09 | Bürstadt, Allemagne | Dépôt, Modèle Saturn 7: BP Solar | Hot Spots (surchauffe) |  |
| 18/10/09 | Bastia, France | Hangar | Foudre | Le feu est provoqué par l'impact de la foudre sur le toit du hangar contenant des bottes de foin |
| 22/12/09 | Goldern, Allemagne | Grange | Inconnu |  |
| 05/01/10 | Schlotheim, Allemagne | Dépôt de 3 200m ² | Paille dans le dépôt a pris feu |  |
| 14/01/10 | Val De Reuil, France | Panneau TENESOL | L'origine de ce feu est une faute de l'entreprise extérieure qui a enfreint les règles et consignes données |  |
| 20/03/10 | Old Greenbelt, Maryland USA | Panneaux de type sur-imposé (silicium) | Arc électrique, présence de feuilles mortes |  |
| 14/04/10 | Tours-Nord, France | Maison | | Combles de l'habitation et panneaux complètement détruits |

| Date | Lieu | Situation | Cause du sinistre | Remarques et illustrations |
|----------|---------------------------------|-------------------|---|---|
| 28/04/10 | Dampiere-au-Temple (Marne) | | Concernant l'origine du sinistre, tous les regards convergeaient vers ces panneaux d'où le feu semblait être parti. | La moitié de la toiture est couverte par ces installations. Des panneaux posés par des professionnels et contrôlés par EDF. |
| 09/05/10 | Lahrer Scheffel, Allemagne | Ecole | Feu sur le toit d'un lycée : l'onduleur du panneau solaire s'enflamme |  |
| 26/05/10 | Saint-Antoine, Perdigon, France | Maison | L'installation a pris feu provoquant un incendie qui a détruit la toiture de la maison |  |
| 12/06/10 | Bastia, France | Grange | Foudre ? |  |
| 13/07/10 | Roeschwoog | Bâtiment agricole | 120 m ² de panneaux photovoltaïques sur 1 600 m ² prennent feu | Les pompiers n'agissent pas sur le sinistre qui s'éteint de lui-même |
| 23/01/11 | Belmont-de-la-Loire | Maison | Un défaut d'isolation électrique ou thermique est soupçonné. | L'installation ne produisait que 3 V lors du sinistre pour 100 V en journée |
| 04/05/11 | Le Palais-Sur-Vienne | Maison | Élément inconnu du système panneaux photovoltaïques au niveau de la toiture | Même une fois tombés au sol, continuent de produire de l'électricité |
| 16/07/11 | Orange | Maison | Élément inconnu du système panneaux photovoltaïques au niveau de la toiture | |

| Date | Lieu | Situation | Cause du sinistre | Remarques et illustrations |
|----------|------------------|-----------------------|---|--|
| 10/02/12 | Sept-Frères | Etable | Elément inconnu du système panneaux photovoltaïques au niveau de la toiture | |
| 05/06/12 | Chiche | Exploitation agricole | Coffret de protection de l'installation photovoltaïque | Les dégâts sont limités au coffret |
| 17/07/12 | Bonnac-La-Côte | Maison | Elément inconnu du système panneaux photovoltaïques au niveau de la toiture | |
| 27/03/13 | Polignac | Maison | Elément inconnu du système panneaux photovoltaïques au niveau de la toiture | |
| 28/10/13 | Narbonne | Hypermarché | Coffret électrique au sol des panneaux photovoltaïques | |
| 05/04/14 | Samazan | Hangar | Câbles électriques | Les panneaux photovoltaïques étaient en cours d'installation |
| 08/06/14 | Rodelle | Etable | Elément inconnu du système panneaux photovoltaïques au niveau de la toiture | |
| 16/09/14 | Gréoux-Les-Bains | Centre équestre | ? | |

| Date | Lieu | Situation | Cause du sinistre | Remarques et illustrations |
|----------|--------------------------|-----------------------|---|---|
| 28/11/15 | Anneyron | Entreprise de meubles | Court-circuit d'un des panneaux photovoltaïques | panneaux photovoltaïques installés en ligne sur des distances importantes, panneaux photovoltaïques connectés électriquement entre eux, présence d'un isolant sous les panneaux |
| 17/04/16 | Ecully | Maison | Foudre | |
| 13/09/16 | Digne-Les-Bains | Commerce | boîtier de protection électrique | situé entre l'onduleur et le réseau d'électricité |
| 14/09/16 | Uhrwiller | Bâtiment agricole | Elément inconnu du système panneaux photovoltaïques au niveau de la toiture | 10 m ² sur 1 200 m ² touchés |
| 24/01/18 | Thiers | Entrepôt logistique | Suspicion d'un boîtier électrique des panneaux photovoltaïques | |
| 10/05/19 | Montoir-De-Bretagne | Stockage de céréales | Suspicion d'un câble reliant la chaîne | |
| 04/06/19 | Le Canet-Des-Maures | Exploitation viticole | Elément inconnu du système panneaux photovoltaïques au niveau de la toiture | |
| 15/06/19 | Baignes-Sainte-Radegonde | Exploitation viticole | Elément inconnu du système panneaux photovoltaïques au niveau de la toiture | |

| Date | Lieu | Situation | Cause du sinistre | Remarques et illustrations |
|----------|--------------------------|-------------------|--|-------------------------------|
| 10/08/19 | Plaisance-du-Touch | Entrepôt | Elément inconnu du système panneaux photovoltaïques au niveau de la toiture | |
| 10/03/20 | Port-Bail-Sur-Mer | Menuiserie | Onduleur | Situé dans un local technique |
| 05/08/20 | Mehun-Sur-Yevre | Bâtiment agricole | Elément inconnu du système panneaux photovoltaïques au niveau de la toiture | |
| 29/09/20 | Belleville-En-Beaujolais | Entrepôt | Suspicion défaillance électrique de panneaux photovoltaïques | |
| 13/10/20 | L'Etang-Sale | Entrepôt | Suspicion onduleur | Situé dans un local technique |
| 28/03/21 | Saint-Frégan | Bâtiment agricole | Suspicion élément inconnu du système panneaux photovoltaïques au niveau de la toiture (Presse) | |
| 14/04/21 | Gignac | Maison | Elément inconnu du système panneaux photovoltaïques au niveau de la toiture | |
| 11/08/21 | Bonneval | Auvent agricole | Une cellule ou un fusible présent au niveau des panneaux photovoltaïques en toiture de l'auvent aurait pris feu provoquant un court-circuit électrique qui a généré l'incendie | |

| Date | Lieu | Situation | Cause du sinistre | Remarques et illustrations |
|----------|-------------|--|---|----------------------------|
| 03/09/21 | Montesquiou | Bâtiment agricole | Suspicion surchauffe panneaux photovoltaïques | |
| 14/01/22 | Monthlery | Entreprise de réparation d'équipements électriques | Container batteries Li-Ion | |
| 04/04/22 | Siegen | Elevage | Suspicion élément inconnu du système panneaux photovoltaïques au niveau de la toiture | |

Accidents survenus en Europe

Les accidents présentés dans le tableau ci-dessus sont, soit induits par le système photovoltaïque, soit ont impliqué les panneaux représentant une charge combustible potentielle.

Les différentes causes d'incendie des panneaux photovoltaïques sont :

- la présence possible d'arcs électriques de par l'intensité du courant produit par les installations,
- une agression externe de type départ d'incendie dans le bâtiment,
- l'impact de la foudre,
- un contact avec des éléments incandescents (lanterne céleste), ou encore une défaillance technique (panneaux, câbles, onduleur).

Dans ces situations, les conséquences peuvent être importantes, tant du point de vue humain, touchant à la sécurité des pompiers, que du point de vue financier, allant jusqu'à la destruction totale du bâtiment.

Il ne se dégage toutefois pas de configuration plus sensible que d'autres, la répartition entre départ au niveau des équipements électriques et départ au niveau des installations externes étant à peu près égale.

Il convient de noter que la production photovoltaïque aurait été démultipliée ces dernières décennies, avec un nombre important de particuliers équipées de panneaux solaires. Des organismes professionnels et institutionnels tendraient vers plus de sécurité lors de la mise en place des panneaux ; en effet, un décret rend obligatoire depuis 2010 le contrôle de la conformité de ces installations chez des particuliers. Selon certains organismes chargés de ces certifications, le nombre d'installations hors normes serait en hausse, la majeure partie des incidents constatés étant liés à des poses mal réalisées et non aux panneaux en eux-mêmes.

b. Comportement au feu des Panneaux Photovoltaïques

Les informations synthétisées dans ce chapitre sont issues d'une étude menée conjointement par l'Ineris et le CSTB référencée : « *Prévention des Risques associés à l'implantation de cellules photovoltaïques sur des bâtiments industriels ou destinés à des particuliers, Rapport Ineris / CSTB, DRA-10-108218-13522A* ». Les résultats détaillés sont notamment disponibles sur le site de l'Ineris.

L'objet de cette étude réalisée en 2010 était l'approfondissement des connaissances des risques liés à l'implantation de cellules photovoltaïques sur des bâtiments industriels ou destinés à des particuliers.

Les systèmes étudiés dans le cadre de cette étude sont définis par les cellules photovoltaïques proprement dites auxquelles s'ajoutent toutes les liaisons électriques jusqu'au compteur électrique. Un des principaux risques étudiés est le risque incendie et plus particulièrement d'une part les risques d'inflammation au niveau du système et d'autre part la réponse de ce système lorsqu'il est soumis à une agression de type incendie.

Au cours de cette étude, trois types d'essais ont été réalisés pour mieux appréhender le comportement des panneaux photovoltaïques en situation d'incendie :

- Des essais à l'échelle du laboratoire au calorimètre FPA (Fire Propagation Apparatus) dont l'objectif principal était d'évaluer d'une part l'inflammabilité de certains produits et d'autre part leur propension à dégager des fumées toxiques.
- Des essais normalisés suivant la norme NF EN 13823 à l'aide d'un essai dit Single Burn Item (SBI) afin de qualifier leur comportement dans des conditions expérimentales reconnues internationalement.
- Des essais à grande échelle afin d'évaluer le comportement de systèmes couramment rencontrés soit sur des sites industriels (entrepôts) soit sur des habitations individuelles.

Enseignements des essais à l'échelle du laboratoire (FPA et SBI)

Les principaux enseignements relatifs aux essais à petite échelle sont les suivants :

- Un flux incident supérieur à 25 kW/m² est nécessaire pour initier l'inflammation. Avec un flux incident de 25 kW/m², une phase assez longue de pyrolyse est observée avant inflammation. Mais lorsque cette dernière intervient, elle conduit à une combustion plus vive.
- Une vitesse de combustion de l'ordre de 25 g/m²/s est observée.
- Un Pouvoir Calorifique Supérieur Moyen (PCS(Moyen)) de l'ordre de 30 MJ/kg est observé. La connaissance du PCS et de la quantité d'encapsulant permettant de définir l'apport énergétique propre d'un panneau photovoltaïque.
- Les températures relevées sous les échantillons sont de nature à enflammer les combustibles présents en champs très proche, et ainsi favoriser la propagation d'un incendie.

Enseignements des essais à moyenne et grande échelles

Les principaux enseignements relatifs à ces essais sont les suivants :

- Les panneaux photovoltaïques constitués de module standard (cadre en aluminium) posés sur des tôles métalliques ne présentent pas de danger pour la propagation d'un feu de l'extérieur vers l'intérieur d'un bâtiment.
- Les variations mesurées au niveau de la puissance électrique résultent à la fois de la destruction d'une partie des panneaux et de la présence de fumées qui ont réduit le flux solaire.
- Même en présence d'une étanchéité combustible à proximité, le produit s'est révélé très résistant.
- Côté intervention, le caractère résistant des panneaux constitue un handicap car les panneaux vont continuer à produire de l'électricité même après l'incendie.
- La présence du panneau a un rôle négatif sur les températures observées en partie inférieure.
- Les préconisations ne doivent pas être limitées au panneau photovoltaïque lui-même mais à l'ensemble du dispositif constituant la structure.
- En utilisation industrielle, les panneaux photovoltaïques couches minces (classé Broof (T3)) s'avèrent plus performants que l'étanchéité utilisée couramment sur le plan de la propagation au feu. De ce point de vue, la présence de panneaux photovoltaïques ne favorisera pas la propagation du feu.

Conclusions en regard de la mise en œuvre relative à la présente étude

Bien qu'adaptés à des configurations d'installation en toiture, sur des bâtiments industriels ou des habitats privés, cette étude permet néanmoins de tirer des conclusions quant au comportement au feu des panneaux photovoltaïques indépendamment de leur destination. Il peut ainsi être mis en avant que :

- Le flux incident nécessaire à l'inflammation d'un panneau (environ 25 kW/m²) est relativement élevé en regard des seuils généralement retenus pour la prise en compte d'effets domino (8 kW/m²) en milieu industriel ;
- Les panneaux photovoltaïques, s'ils sont combustibles, ne sont pas de nature à engendrer des puissances de feu suffisantes pour propager un incendie au-delà du champ proche (au-delà de quelques mètres) ;
- En cas de départ de feu sur un panneau photovoltaïque, les éléments combustibles situés sur sa partie inférieure et à proximité sont en position critique vis-à-vis du risque d'inflammation ;
- La présence de panneaux photovoltaïques favorise la propagation horizontale d'un incendie déclaré ;
- Le choix des matériaux constitutifs du système de panneaux photovoltaïques peut nettement contribuer à limiter la charge calorifique disponible.

c. Analyse des risques

Compte tenu de la diversité de configurations identifiées précédemment, une analyse des risques classiques de type APR (Analyse Préliminaire des Risques) ne peut pas être mise en œuvre de façon exhaustive. Le parti a donc été pris de procéder à une démarche similaire mais en recherchant plutôt les situations de dangers génériques, l'objectif étant de déterminer pour chacun des éléments constituant le système de panneaux photovoltaïques, toutes les situations de danger potentielles liées à une défaillance du système de panneaux photovoltaïques qu'elle soit interne ou externe au système de panneaux photovoltaïques en

en identifiant les causes potentielles et les dispositifs de sécurité susceptibles de prévenir l'occurrence de ces situations de danger.

La recherche de ces situations de dangers s'appuie sur le retour d'expérience évoqué précédemment et sur les risques inhérents aux produits employés ou aux fonctions assurées (production d'électricité). Certains moyens de prévention et de protection existants pour ces différentes situations de danger ont été recherchés.

Concernant les panneaux proprement dit, plusieurs événements ont été identifiés pouvant conduire à :

- Un départ de feu provoqué par :
 - Des travaux par point chaud lors d'une maintenance par exemple,
 - Un défaut de conception ou de montage qui conduit à une surchauffe sur le panneau (diode, mauvais contact, soudure),
 - Un impact de foudre peut à la fois endommager le panneau et provoquer son inflammation immédiate, voire retardée en cas d'endommagement partiel,
 - Un arc électrique peut être provoqué par un court-circuit au niveau du panneau (vieillessement),
 - Une erreur de montage des panneaux lors de leur installation,
 - L'agression par un feu extérieur,
 - Une maintenance mal effectuée, que ce soit au niveau du panneau en lui-même, de sa structure porteuse ou de son environnement (présence de combustible indésirable, végétal ou non, à proximité du panneau).

- Une détérioration du matériel, pouvant aboutir, in fine, à un risque d'électrisation pour le personnel d'intervention :
 - L'agression mécanique due à des conditions météorologiques extrêmes (tempête, grêle),
 - L'agression mécanique due à la chute d'un objet (cheminée, branche d'arbre...) ou à l'intervention proprement dite.

Concernant les équipements électriques, boîtiers, onduleurs et connectique, les risques identifiés pouvant aboutir à un départ de feu sont :

- La présence d'un point chaud (travaux),
- L'apparition d'un arc électrique, usure des connexions ou conditions météorologiques extrêmes,
- Agression par un feu extérieur au bâtiment,
- Agression par un feu se développant dans le bâtiment,
- Impact de foudre,
- Choc mécanique qui peut conduire à une détérioration du matériel et donc in fine soit à un risque d'électrisation pour le personnel d'intervention soit à un départ de feu,
- La présence d'éléments combustibles (y compris végétaux) au contact direct d'éléments sous tension.

Les principales dispositions de prévention ou de protection existantes sont :

- Le respect des normes électriques qui sont rappelées ci-après,
- Un classement au feu des matériaux utilisés au contact des panneaux le plus performant possible et respectant à minima les exigences réglementaires détaillées au chapitre 5,
- Une détection incendie au niveau de l'onduleur et la présence de moyens d'extinction à proximité si la configuration le permet
- La présence d'un dispositif de coupure (mise en court-circuit ou d'interrupteur thermique) comme ceux décrits dans le paragraphe suivant,
- L'obligation d'avoir un permis de travail par point chaud pour les entreprises intervenant sur ces équipements ou à proximité de ces équipements,
- La mise en place de protection contre la foudre.

Cette liste n'est pas exhaustive et elle devra faire l'objet d'une analyse particulière en fonction de la particularité de chaque projet.

Exemple de barrières techniques possibles

Le problème majeur des installations de panneaux photovoltaïques est lié au fait que le procédé de transformation de l'énergie solaire en électricité est continu. Cette contrainte devient notamment un risque accru pour les forces d'intervention en cas de départ de feu et d'incendie. Les grandes installations industrielles peuvent atteindre une tension jusqu'à 1 000 V et un courant atteignant les 8 A en courant continu. Une tension de l'ordre de 120 V peut déjà avoir des effets mortels pour l'homme.

Pour répondre à cette exposition au risque électrique, les dispositifs de coupure ont bien été identifiés par les producteurs comme des éléments de sécurité importants, et la recherche de dispositifs performants reste d'actualité. Elle n'a pour l'instant pas réussi à faire émerger un dispositif dont la fiabilité aurait été démontrée.

A titre d'exemple, deux dispositifs de coupure sont décrits par la suite sans préjuger de leur fiabilité.



Thermo fusible pour panneaux photovoltaïques

Ce thermo fusible pour panneaux photovoltaïques se déclenche à partir d'une température de 250°C. Par le ressort intégré, le contact est interrompu immédiatement pour éviter un arc électrique. Le contact peut être aussi interrompu sous l'application d'une force mécanique (coup de hache, marteau, etc.).

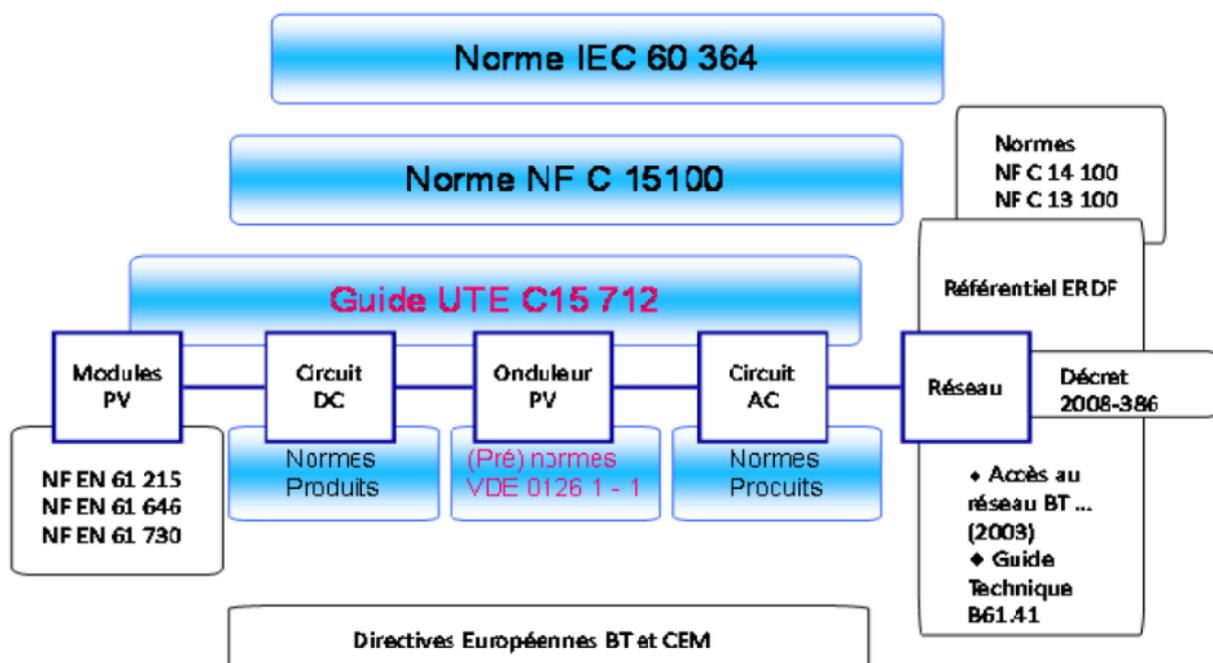
La photographie suivante présente un interrupteur de secours de panneaux photovoltaïques qui est positionné à proximité des panneaux. Il est actionné en direct ou à l'aide d'une télécommande en distance. Une fois actionnée les panneaux photovoltaïques sont mis en court-circuit.



Interrupteur secours panneaux photovoltaïques

Normes applicables :

Le schéma ci-après précise l'imbrication des différentes normes existantes.



Affectation des normes existantes

Matériels

Pour les modules, le « Guide pratique à l'usage des bureaux d'études et installateurs – Spécifications techniques relatives à la protection des personnes et des biens dans les installations photovoltaïques raccordées au réseau » édité par l'ADEME et le SER en décembre 2008, préconise :

- Les modules doivent respecter les normes « CEI 61215 » et « CEI 61646 » selon leur conception.
- Les modules doivent justifier d'une classe de sécurité électrique II (« CEI 61730-1 ou 2 », « NF EN 61140 » et « UL 1703 »).

Onduleur

DIN VDE 0126-1-1 (« Dispositif de déconnexion automatique entre un générateur et le réseau public basse tension »).

Pour la sécurité de l'onduleur la norme de référence est l'IEC 60950.

Câbles

Les câbles de type U100R2V - H07RN-F sont employés suivant la norme UTE C 32 502. Ces câbles ont les propriétés suivantes :

- Constitution de l'âme IEC 60228 Classe 5,
- Température ambiante IEC 60216-2 : +90°C (durée d'utilisation de 25 ans),
- Sans halogène (EN 50267-2-2),
- Résistance à l'ozone (EN 50396),
- Tenue aux intempéries et aux UV (HD 605/A1),
- Tenue à l'acide et à la saumure (EN 60811-2-1),
- Tenue à la flamme IEC 60332-1 et IEC 60332-3,
- Gaz émis IEC 60754-1 et IEC 60754-2,
- Fumées émises IEC 61034-2.

Installation entre onduleur et compteurs

NF C15-100 (« réglementation des installations électriques en basse tension en France »).

Installation du champ de panneaux photovoltaïques

L'installation doit être conforme à la norme NF C 15-100 (« réglementation des installations électriques en France »)

L'installation doit également suivre les guides :

- UTE : Guide UTE C15-712 ADEME/SER : Guide « Protection contre les effets de la foudre dans les installations photovoltaïques raccordées au réseau »,
- ADEME : Guide « Rédaction du cahier des charges techniques de consultation à destination du maître d'ouvrage ».

Depuis février 2008, le guide UTE C15-712 définit des règles essentielles de mise en œuvre des systèmes de panneaux photovoltaïques, sur le plan de la protection des biens et des personnes.

A noter que le CEN-TC127-WG5 travaille actuellement sur ce sujet. Les résultats de ces réflexions ne sont pas à ce jour disponibles.

Installateur

Souscription à la charte de qualité QualiPV (appellation pour la qualité d'installation des systèmes solaires photovoltaïques raccordés au réseau.)

5. Synthèse des RETEX (Orienté lutte) pertinents pour l'étude

L'implantation de parcs photovoltaïques en forêt ou à proximité immédiate est relativement récente.

Il est actuellement très difficile de connaître le nombre de parcs installés en forêt en fonctionnement, et à fortiori l'ensemble des incidents qui s'y sont produits et ont induit une éclosion d'incendie même très limitée.

Seuls les incidents majeurs sont plus ou moins connus et recensés dans la base de données ARIA.

Cette base de données, exploitée par le ministère de la transition écologique recense essentiellement les événements accidentels qui ont, ou qui auraient pu porter atteinte à la santé ou la sécurité publique, l'agriculture, la nature et l'environnement. Elle ne vise, de ce fait, pas l'exhaustivité des événements.

Au 31 mars 2023, elle ne contenait que 7 événements, dont deux concernant des conteneurs de batteries Lithium-Ion et un une centrale flottante.

Seuls 4 événements portent directement sur des parcs terrestres en activité.

Les recueils de données complémentaires effectués par les services chargés de DFCI ont permis de recueillir 11 autres événements (dont 1 concernant des conteneurs de batteries Lithium-Ion déjà sinistrés l'année précédente et 1 étant survenu au mois d'avril 2023).

Les analyses ci-après ne portent donc que sur 14 incendies éclos ou ayant menacé un parc photovoltaïque au contact d'une forêt.

La liste de ces 14 cas analysés est fournie en annexe au présent document.

Cela ne permet pas de tirer la moindre statistique sur le sujet ; seules les tendances majeures seront exposées.

De plus, cette relative faible ancienneté des parcs en forêt ne permet pas d'apprécier les effets de leur vieillissement sur les risques de départ de feux que génèreront les plus vétustes d'entre eux.

a. Incendie éclos dans le parc

Dans plus de la moitié des cas analysés, l'incendie s'est déclaré à l'intérieur du parc, soit du fait d'une anomalie de fonctionnement d'un des éléments de l'installation, soit du fait de travaux au sein du parc (maintenance ou travaux de débroussaillage).

Les services de secours font état de plusieurs difficultés pour maîtriser ces incendies :

- Délai important pour accéder à l'intérieur du parc du fait du périmètre totalement clôturés et de portails verrouillés sans système d'ouverture accessible directement aux secours (accès au parc à l'arrivée du gestionnaire du parc ou de son représentant).

- Possibilité à l'arrivée du gestionnaire (donc avec délai - plus d'une heure dans certains cas) de couper les réseaux au-delà des onduleurs, mais les panneaux continuent de produire du courant résiduel continu, ce qui limite fortement les possibilités d'intervention du fait du risque important d'électrocution des intervenants par l'emploi d'eau pour l'extinction (distance de retrait d'au moins 5 mètres par rapport aux panneaux pour un arrosage en jet diffusé moins efficace qu'un jet droit selon le volume de combustible au sol).
- Distance des panneaux aux voies de circulation interne parfois insuffisante pour permettre une attaque du feu avec la distance de retrait à partir de ces voies. Dans ce cas, pas de possibilité de stopper le feu à l'intérieur du parc ce qui reporte les actions de lutte sur la piste périmétrale extérieure au parc, avec risque de propagation de l'incendie au sein du parc sur des surfaces importantes.
- Selon les parcs, présence au sol d'un tapis herbacé épais (voire même de débris de fauchage laissés sur place) et de zones végétalisées au sein de ceux-ci (haies, bosquets denses, etc.) qui permet à l'incendie de se propager sur toute la surface du parc (avec des vitesses élevées lorsque les conditions météorologiques sont défavorables, notamment vent fort et températures élevées). Localement, des pics d'intensité peuvent être élevés.

Ce mode de gestion est parfois imposé aux gestionnaires au titre de mesures environnementales ; il est toutefois très pénalisant pour la gestion de l'incendie.

Selon les parcs, le débroussaillage ne portait pas, ou pas en totalité sur la profondeur réglementaire de 50 m au-delà de leurs limites, ce qui s'est révélé très pénalisant lorsque l'incendie a franchi les limites du parc et s'est développé en zone forestière non débroussaillée.

Au moins dans un cas, l'incendie a parcouru quasiment toute la surface du parc et plus de 100 ha à l'extérieur de celui-ci.

- Pas de possibilité de largages par des avions bombardiers d'eau au sein du parc (l'impact de la charge en eau ou du produit retardant écraserait les panneaux avec des risques de dommages très importants – selon le type d'aéronef, la trace de largage couvre environ de 1500 à 5000 m²).
- Pour les parcs de grande superficie, les véhicules d'intervention sont susceptibles de travailler à l'intérieur du parc, à partir des voies internes ou d'une voie périmétrale interne. Si l'incendie se propage à l'extérieur du parc, les secours peuvent se retrouver bloqués par la clôture, et doivent parfois faire plusieurs kilomètres pour accéder à la tête du feu située hors du parc, qui de plus n'est pas toujours accessible (ce qui met en évidence la nécessité de disposer d'une voie périmétrale externe et de portails pas trop éloignés les uns des autres donnant sur cette voie externe).

A noter : pour le cas des Landes de Gascogne, les pistes doivent être mises hors d'eau en toutes saisons, ce qui implique qu'elles soient bordées de canaux de drainage ; un ouvrage de franchissement de ces canaux est indispensable au droit des portails.

b. Incendie éclos hors du parc

Incendie de faible intensité menaçant le parc

Il s'agit dans les cas analysés d'incendie éclos à proximité immédiate des parcs, qui ont abordé ceux-ci avec une faible intensité.

Ils ont pu être rapidement maîtrisés à l'extérieur et en bordure des parcs qui disposaient d'une voie périmétrale externe.

La stratégie retenue était alors celle de maîtrise d'un incendie au stade initial, avec une attaque de front avec des moyens relativement limités.

A noter :

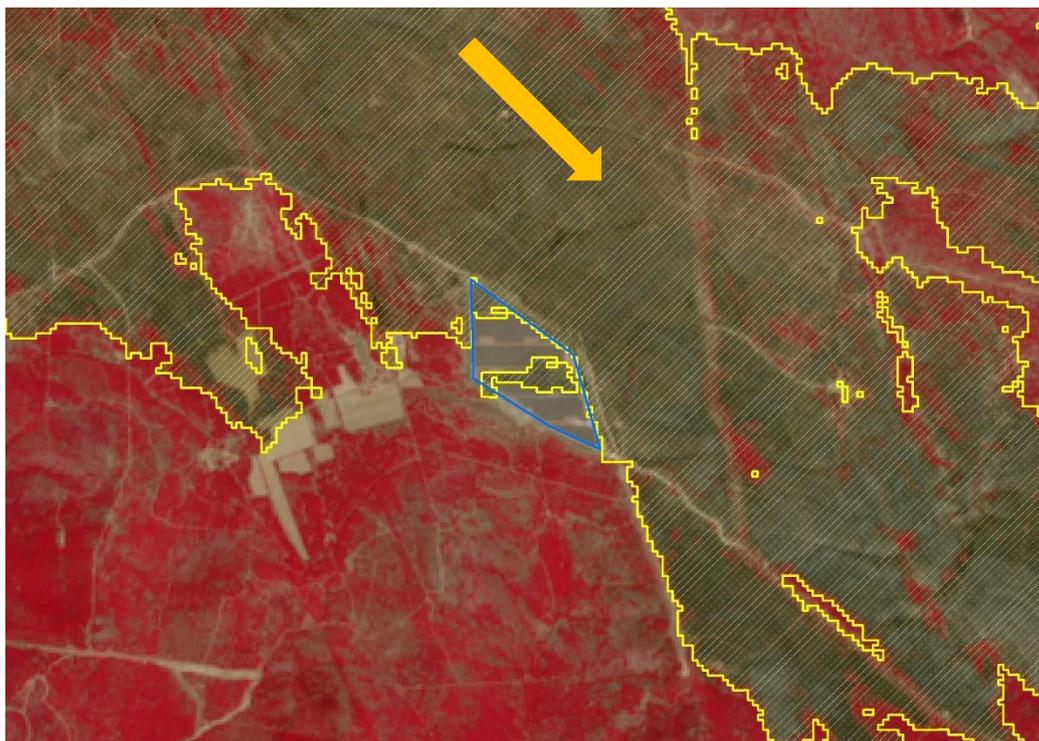
- Du fait de la faible intensité, l'incendie a généré peu de sautes au sein des parcs (contrairement aux incendies de forte intensité examinés ci-après), ce qui a facilité l'extinction depuis l'extérieur du parc
- La présence de la piste externe s'est révélée un facteur très favorable. En l'absence de cet accès, les secours auraient dû pénétrer dans le parc pour déployer leurs manœuvres avec tous les délais inhérents. Dans cette hypothèse, ils auraient eu à combattre un feu plus étendu, avec les contraintes de sécurité vis-à-vis des panneaux à respecter.

Incendie de forte intensité menaçant le parc

Plusieurs cas ont été recensés d'incendies majeurs ayant parcourus plusieurs dizaines (voire des centaines) d'hectares avant d'arriver à proximité des parcs, notamment dans le Var en 2017 et en Gironde en 2022.

Var, 2017

Dans le cas du parc de Rians (Var) menacé par un incendie en 2017 (feu d'Artigues du 24/07), les services de secours se sont servi des équipements extérieurs au parc (zones débroussaillées, piste externe) pour contenir l'extension de l'incendie sur le flanc abordant le parc pour éviter qu'il ne s'élargisse (manœuvres d'attaque de flanc).



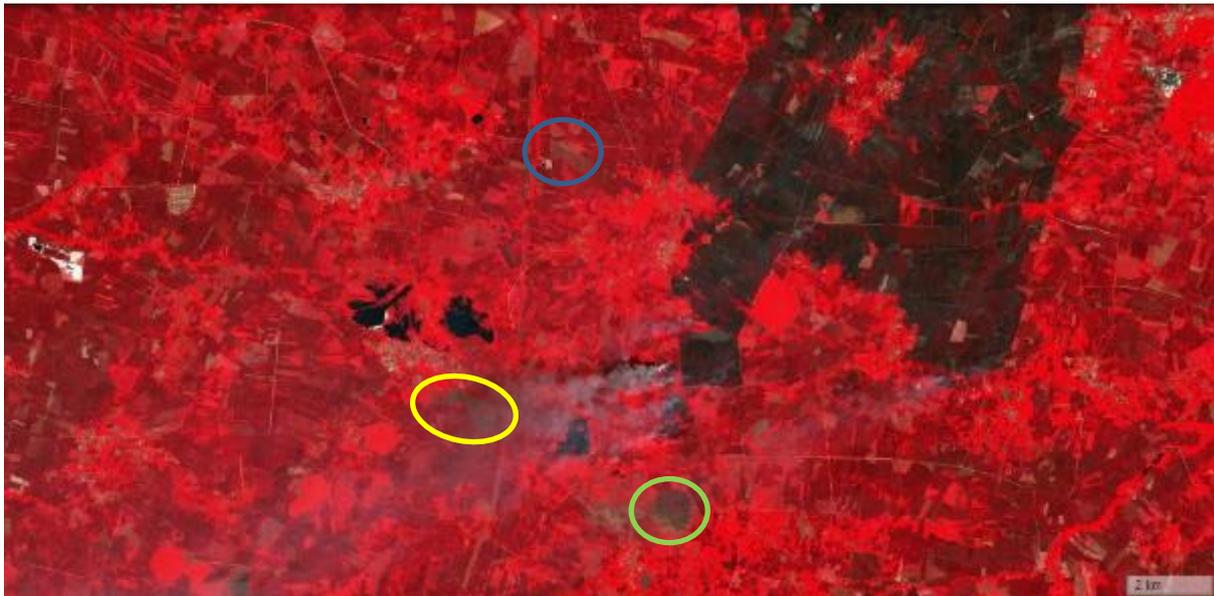
Rians 2017 – En bleu le parc, en orange, axe de propagation de l'incendie

L'intervention des secours a permis de limiter la propagation à la pointe nord du parc, mais plusieurs sautes se sont développées au sein du parc et ont brûlé une bande au cœur de ce dernier.

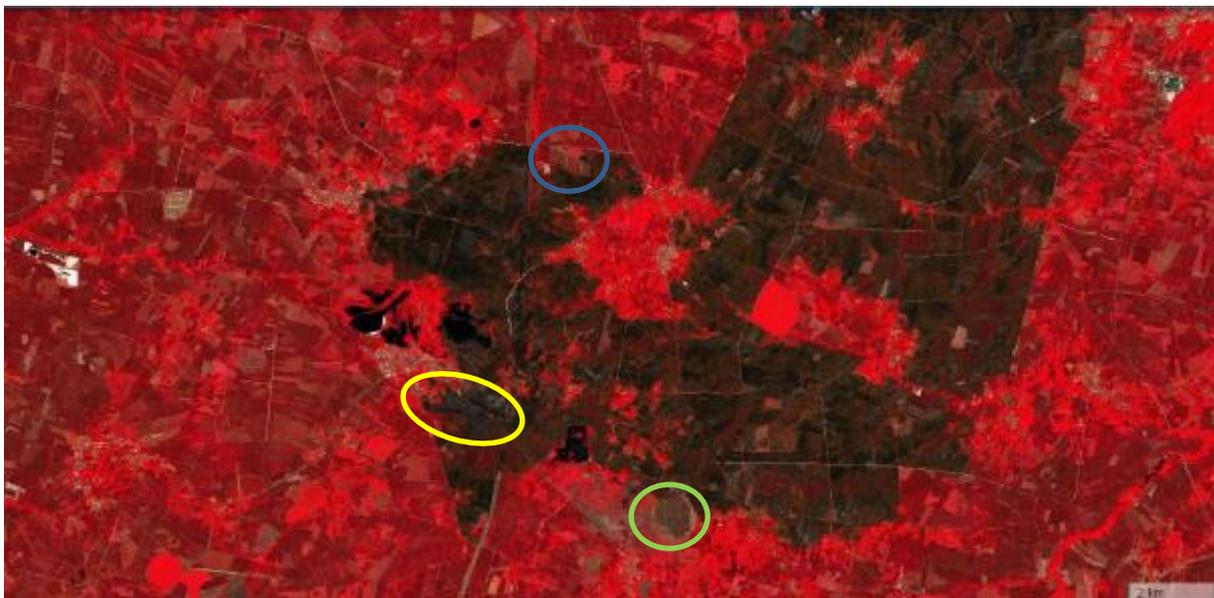
Gironde, 2022

Au mois de juillet 2022, 3 parcs ont été menacés en Gironde lors de l'incendie de Landiras éclos le 12/07.

Il s'agit des parcs de Hostens, Louchats et Saint-Symphorien (respectivement cerclés de jaune, bleu et vert sur les images satellites ci-après).



Situation de l'incendie de Landiras le 17 juillet (source Sentinel 2)

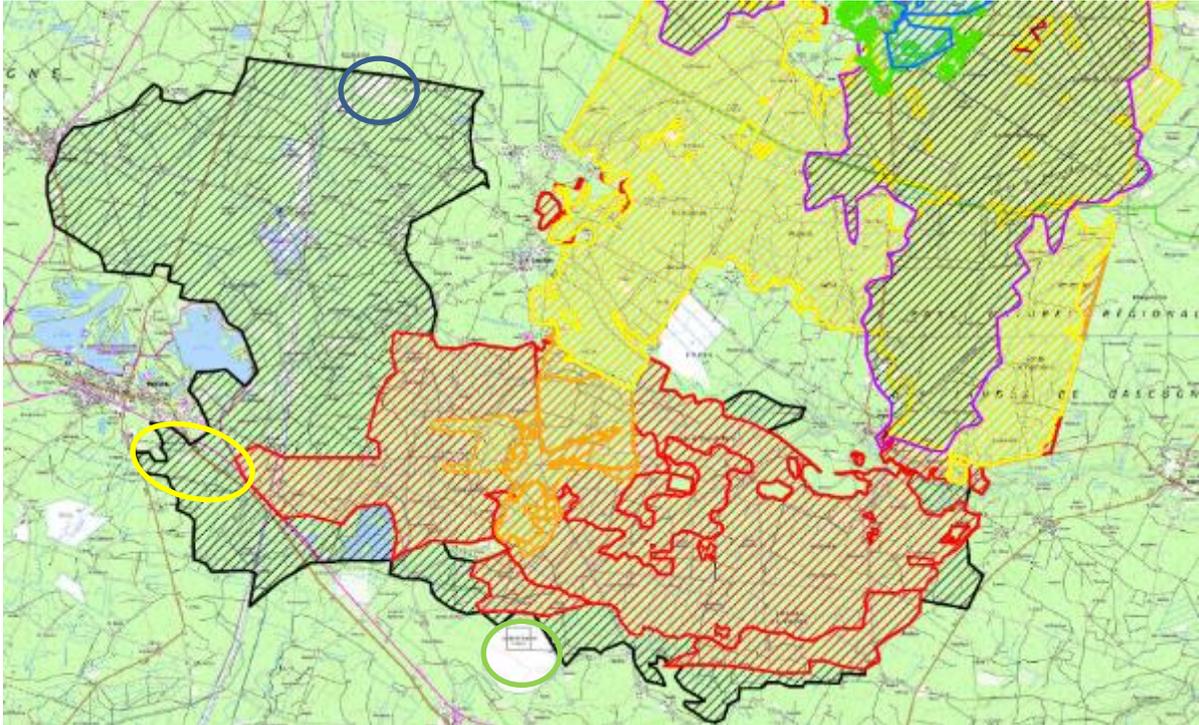


Situation l'incendie de Landiras le 1er août (source Sentinel 2)

Les retours d'expérience sur ces 3 parcs sont difficiles à mener, car l'incendie s'est déroulé du 12 au 20 juillet pour sa phase de propagation principale. Il a changé à de multiples reprises de direction et d'intensité, puis a connu de multiples reprises de moindre surface jusqu'à la mi-août, dont l'une a concerné le parc de Louchats le 30 juillet en fin d'après-midi.

Du fait de l'étendue du sinistre et de ses évolutions, les témoignages sur les caractéristiques de l'incendie lors de son arrivée au contact des parcs sont très fluctuants et doivent donc être considérés avec prudence.

Les éléments retenus pour le présent retour d'expérience sont de ce fait les mains courantes des opérations, et les cartes des points chauds repérés par les satellites (qui sont horodatés) et des contours intermédiaires sommaires de l'incendie.



Carte des contours intermédiaires de l'incendie de Landiras : en rouge, progression du 18 juillet et noir celle du 19 juillet.

Le 18 juillet, poussé par un vent d'est (variant essentiellement du 90 au 105 degrés), l'incendie a surtout progressé vers l'ouest.

Dans la nuit du 18 au 19 juillet, le vent a basculé au sud, puis au sud-ouest jusqu'en fin de matinée, provoquant une importante propagation vers le nord et le nord-ouest.

Puis il s'est établi à l'ouest, et enfin au nord-ouest dans l'après-midi, induisant de multiples reprises sur le flanc sud de l'incendie et des extensions vers le sud-est.

Parc d'Hostens

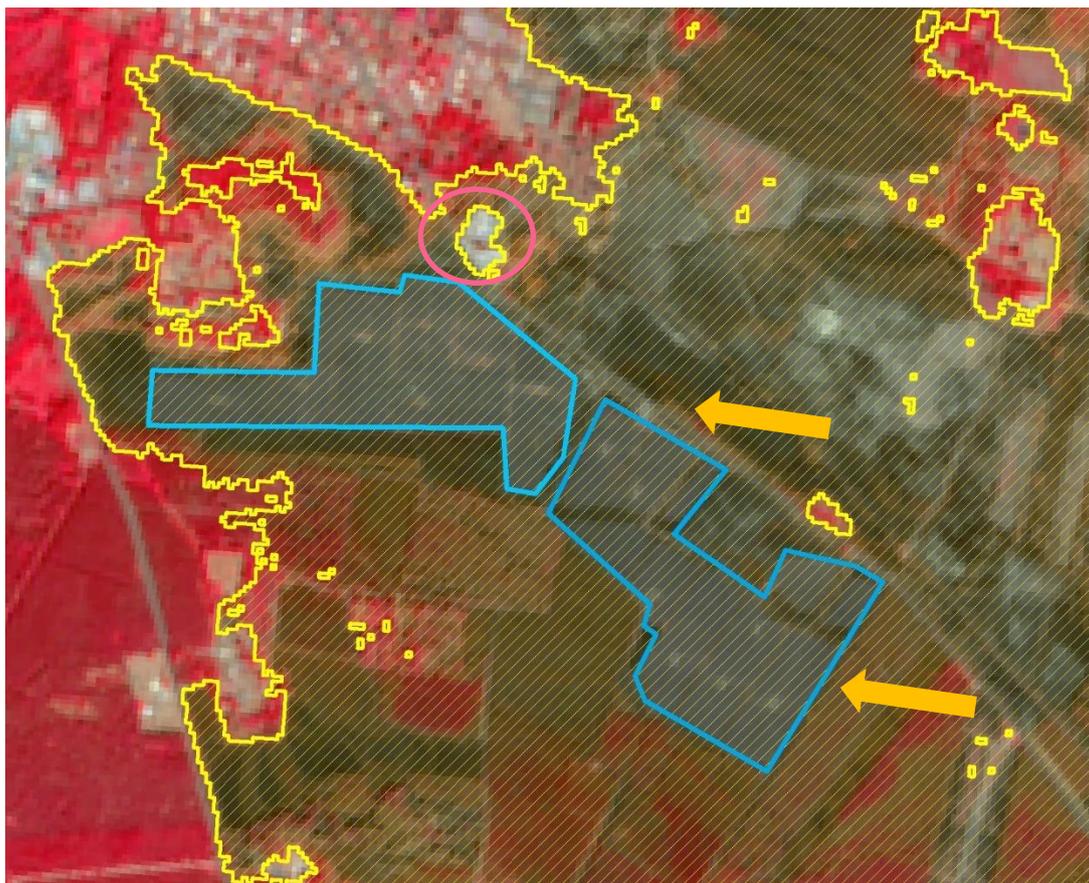
Dans le cas du parc d'Hostens, l'incendie en propagation sur un axe est/sud-est vers l'ouest/nord-ouest est arrivé face aux lisières sud et nord du parc avec une intensité forte, générant des sautes de feu sur des centaines de mètres le 18 juillet en fin d'après-midi (à 18 h, le poste ENEDIS face au parc est signalé comme directement menacé).

Les secours, qui étaient fortement mobilisés par ailleurs en particulier pour la protection du village d'Hostens, n'ont pas considéré ce parc comme un enjeu prioritaire à protéger.

L'incendie est entré dans le parc à la fois par une propagation au sol et par des sautes.

Le parc d'Hostens a été totalement parcouru et l'incendie a poursuivi sa propagation au-delà du parc.

Des mesures spécifiques de protection de ces lieux doivent être prises pour éviter leur contamination par un incendie de forêt.



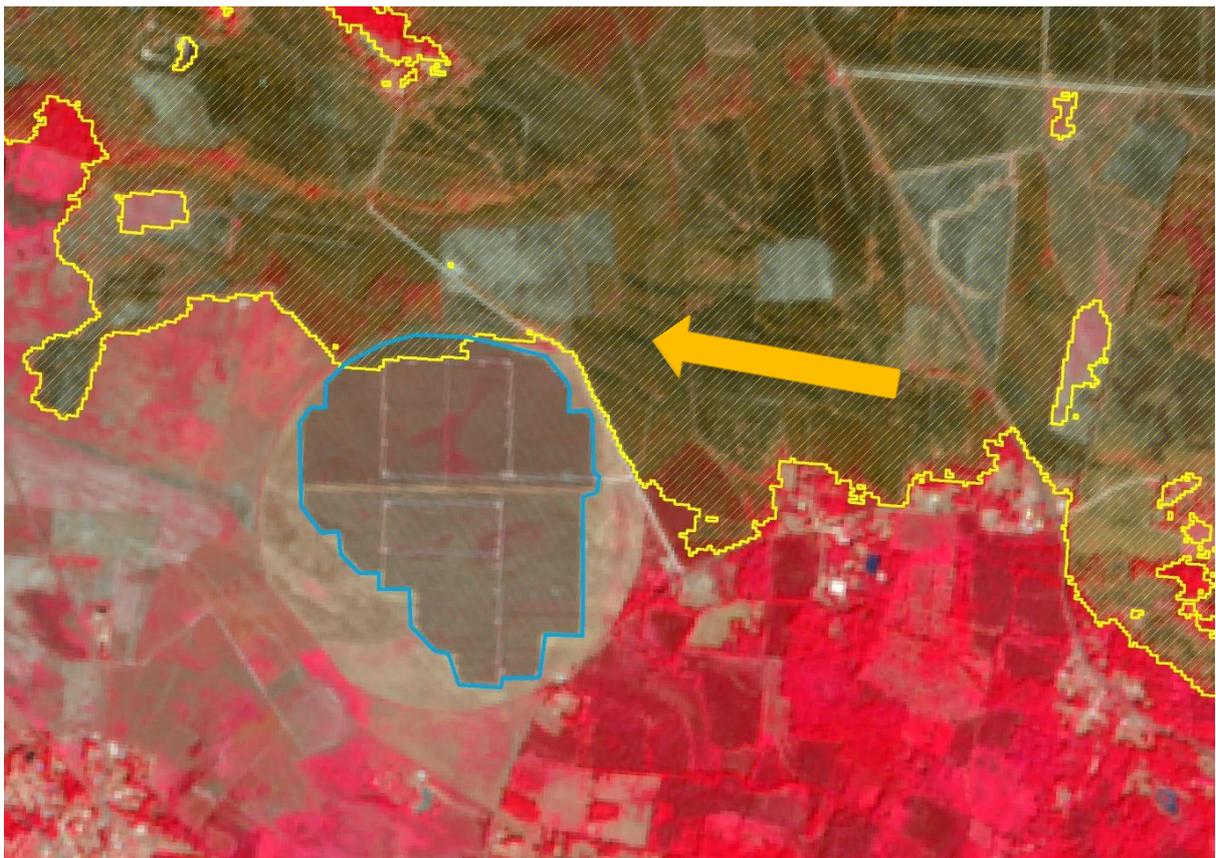
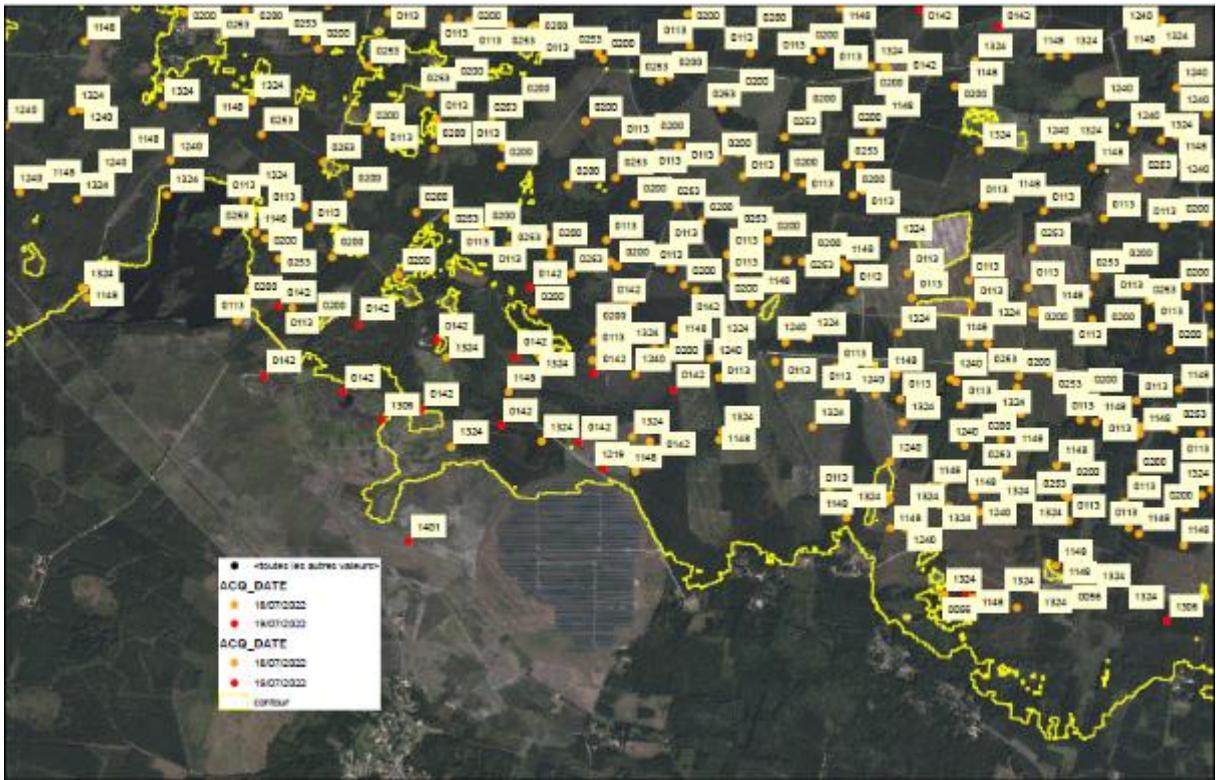
*Parc d'Hostens entouré en bleu et poste ENEDIS cerclé en rose.
En noir les zones brûlées, la flèche orange indiquant la direction estimée de l'incendie
abordant le parc*

Parc de Saint-Symphorien

Dans le cas du parc de Saint-Symphorien, l'incendie est passé juste au nord du parc lors de la phase de propagation est-ouest du 18 juillet (on note de nombreux points chauds repérés par le satellite entre 12 et 14 h ce 18 juillet aux abords nord du parc – voir la carte des points chauds satellites ci-après : les étiquettes donnent l'heure locale).

Une très légère bande a brûlé au nord en bordure du parc, mais il est difficile de dire si elle a brûlé le 18 après 14 h (le passage suivant des satellites a lieu vers 1 h du matin) ou lors des reprises sous vent d'ouest du lendemain.

En tout état de cause, l'incendie n'a fait que longer le parc sur sa lisère nord qui a brûlé sur une étroite bande et on ne peut tirer de conclusion fiable du comportement de ce parc face à un incendie l'abordant sur sa totalité.



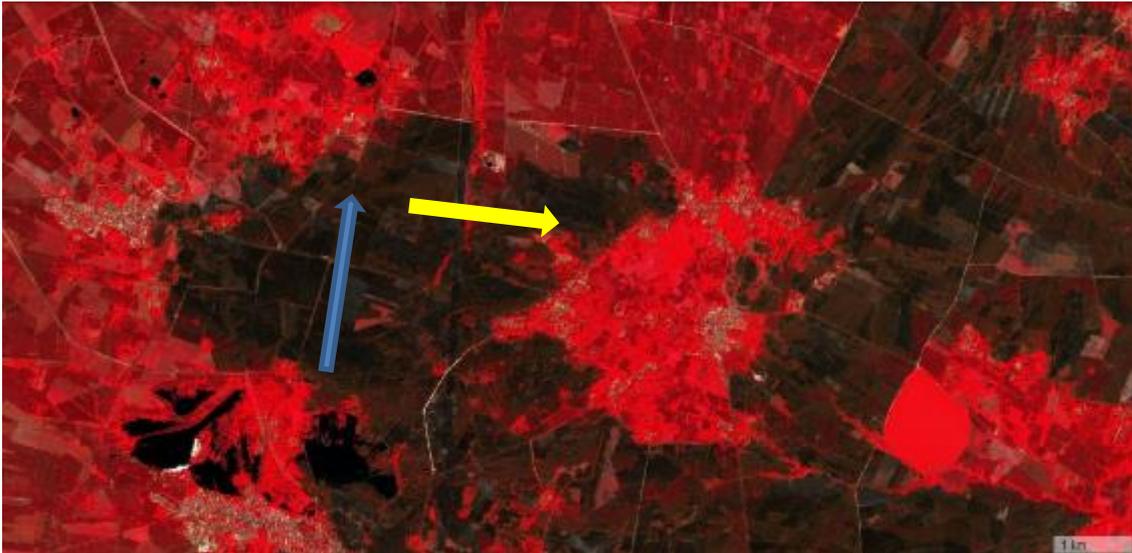
Flèche orange sens de propagation de l'incendie estimé pour le 18 juillet après-midi

Parc de Louchats

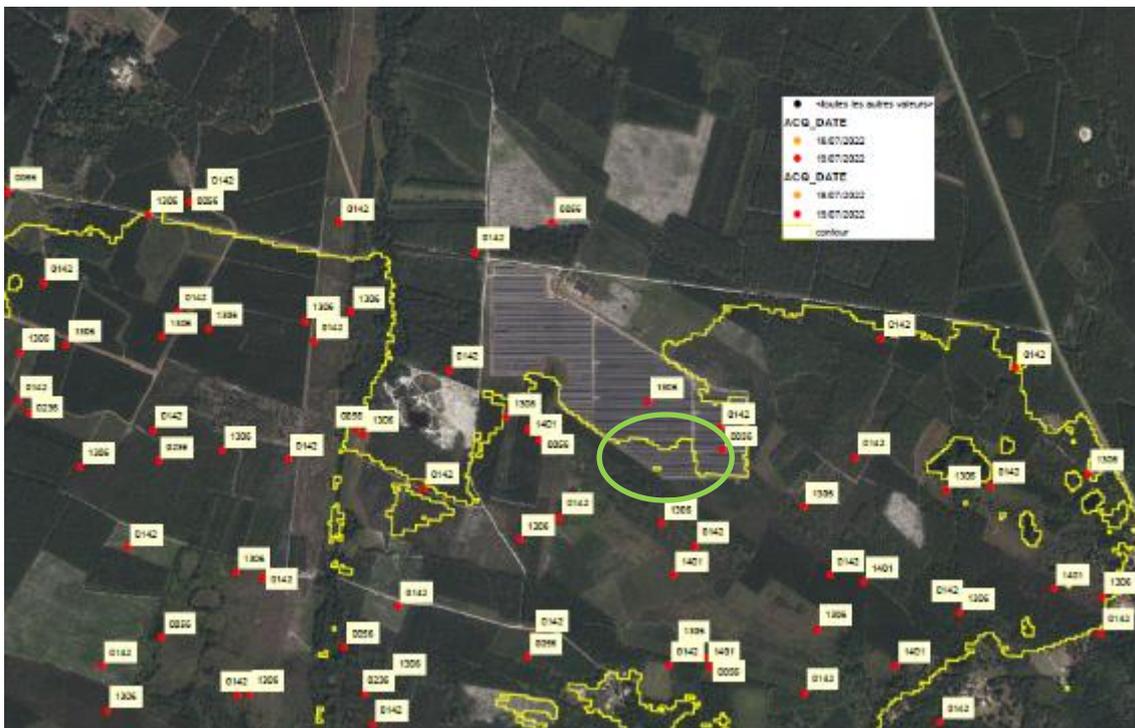
Pour le cas du parc de Louchats (Barrat blanc), la situation est également complexe.

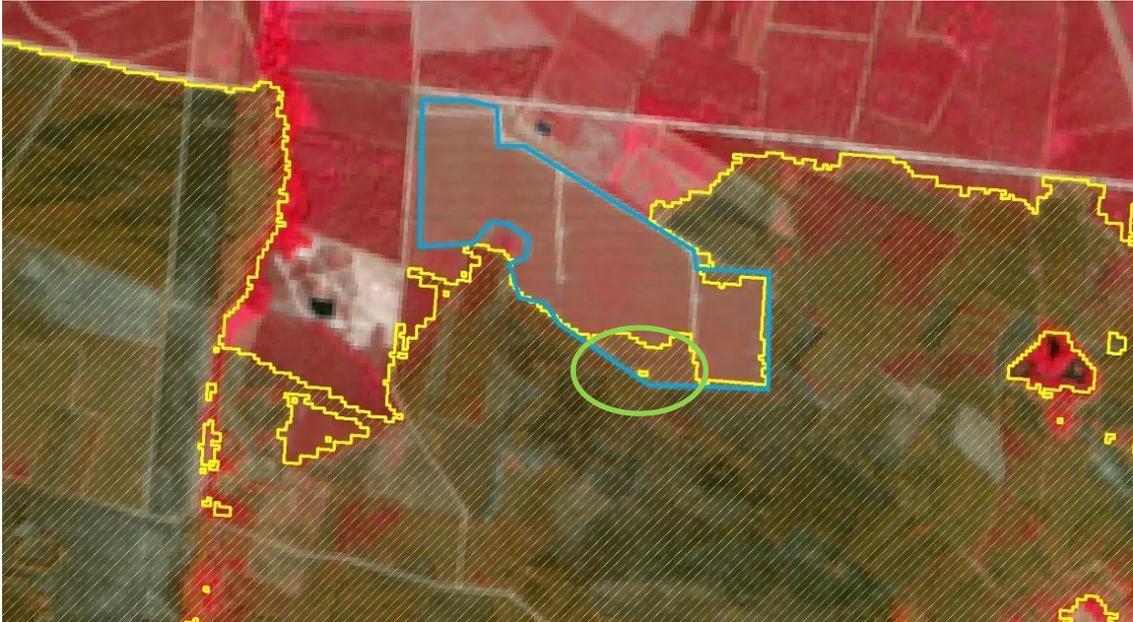
Le parc a été menacé par la propagation de la nuit du 19 juillet du sud vers le nord. Vers 2 h du matin, l'incendie a atteint sa limite nord quasi définitive (de nombreux points chauds à 1 h 42 sur la limite nord).

On note 2 points chauds dans le parc à 0 h 56 et 1 h 42 (mais à relativiser, car la partie la plus chaude peut être dans la colonne de fumée, induisant un décalage avec la source effective de combustion).



En bleu, axe de propagation estimé pour la nuit du 18 au 19 juillet et en jaune pour l'après-midi du 19 juillet





En jaune, contour final et en cerclé vert la zone qui a probablement brûlé le 30 juillet

Selon les sources, les conditions de menaces du parc par l'incendie divergent.

L'hypothèse la plus probable est que l'incendie soit arrivé au contact du parc dans la nuit du 18 au 19 juillet entre minuit et 2 heures du matin.

La météo indiquait alors un vent du sud de 13 km/h (rafales à 25) avec une hygrométrie remontant entre 50 et 75 % et des températures autour de 26 à 27 degrés.

L'intensité de l'incendie devait donc être modérée, ce qui pourrait expliquer que le front de feu n'est pas entré dans le parc, concerné uniquement par des sautes de feu.

En début d'après-midi des reprises ont eu lieu, d'abord sur un axe ouest/est, puis nord-ouest/sud-est.

Il semble selon certains témoignages que l'incendie ait alors menacé le parc par sa bordure sud et qu'il ait alors été protégé par les secours renforcés par 5 canadiens (article de sud-ouest citant un témoignage du maire) qui ont probablement effectué leurs largages à l'extérieur de la piste périmétrale du parc.

Le parc aurait alors été sauvegardé.

C'est une reprise qui a eu lieu le 30 juillet à l'intérieur du parc en fin d'après-midi qui a brûlé une petite bande au sud du parc (quelques hectares).

A noter que le parc était alors fermé, et le gestionnaire avait un délai d'arrivée d'une heure.

Synthèse

Dans tous les cas analysés, le feu est entré dans les parcs. Il n'y a pas eu d'intervention à l'intérieur de ceux-ci qui ont été soit totalement parcourus, soit seulement touchés par des sautes ou langues de feu.

En conclusion, lors d'incendies majeurs abordant un parc photovoltaïque, les points à retenir sont les suivants :

- Les secours terrestres et aériens n'interviennent pas à l'intérieur des parcs à l'arrivée du front de feu.
- Ce sont les équipements DFCI extérieurs aux parcs qui peuvent être utilisés (voies périmétrales et zones débroussaillées, mais aussi réserve d'eau). Ces équipements extérieurs sont alors pris en compte comme une coupure de combustible « classique » mise en œuvre en application d'un plan de massif DFCI pour le déploiement des stratégies d'intervention.

L'intérêt de ces équipements est qu'ils ne comportent aucun obstacle au déroulement des manœuvres (pas de clôture ni de portail, pas de danger électrique inhérent à la présence de panneaux) qui de ce fait peuvent être mise en œuvre de manière identique à tout équipement DFCI.

Leur bon dimensionnement et leur bon état d'entretien sont des facteurs importants conditionnant leur possible utilisation.

- Selon la forme et l'orientation du parc par rapport à l'axe de propagation de l'incendie (et son intensité) et la qualité de ces équipements, ces stratégies seront différentes :
 - Cas d'un incendie arrivant sensiblement perpendiculairement à un des côtés du parc
 - Si les équipements DFCI sont en bon état d'entretien (piste et bande débroussaillée externes), la mise en œuvre d'une ligne d'appui sur le côté externe opposé au sens d'arrivée du feu est envisageable. Un appui des moyens aériens sur cette bande externe (donc sans panneaux photovoltaïques) est également envisageable. L'incendie aura préalablement traversé tout le parc, avec une intensité modérée si le parc est correctement entretenu
 - Cas d'un incendie arrivant sensiblement parallèlement à la plus grande longueur du parc (jusqu'à environ 30 degrés d'inclinaison, ce qui limite le risque de sautes de feu à l'intérieur du parc)
 - Si les équipements DFCI situés du côté de l'arrivée de l'incendie sont en bon état d'entretien (piste et bande débroussaillée externes), la mise en œuvre d'une attaque de flanc sur le côté extérieur face à l'arrivée du feu est envisageable, de même si les conditions s'y prêtent que la mise en œuvre d'un feu tactique.
Un appui des moyens aériens sur cette bande externe (donc sans panneaux photovoltaïques) est également envisageable).
Si la manœuvre réussit l'incendie ne s'élargira pas et n'affectera pas le parc, ou seulement au travers de quelques sautes de feu.
 - Si les équipements DFCI situés du côté de l'arrivée de l'incendie ne sont pas en bon état d'entretien (piste et bande débroussaillée externes), la

mise en œuvre d'une attaque de flanc sur le côté externe face à l'arrivée du feu ne sera pas envisageable.

Si par contre les équipements DFCl situés du côté opposé à l'arrivée de l'incendie sont en bon état d'entretien (piste et bande débroussaillée externes), la mise en œuvre d'une attaque de flanc sur le côté extérieur à l'opposé de l'arrivée du feu est envisageable.

Un appui des moyens aériens sur cette bande externe (donc sans panneaux photovoltaïques est également envisageable).

Si la manœuvre réussit l'incendie ne s'élargira pas, mais le parc pourra être parcouru en tout ou partie.

- Cas d'un incendie arrivant selon un axe de propagation en position intermédiaire par rapport aux deux situations précitées
 - Une analyse au cas par cas, en fonction de la taille et de la forme du parc, mais aussi des conditions météorologiques et de la situation opérationnelle permettra d'évaluer les stratégies envisageables, toujours à l'extérieur du parc.

A noter : la présence de haies, ou de bosquets arbustifs mis en place en bordure de certains parcs ou entre 2 parcs contigus (pour satisfaire des exigences paysagères ou environnementales) est un facteur très limitant pour la mise en œuvre des actions décrites ci-dessus. Ces écrans seraient susceptibles d'amplifier l'intensité du feu et de créer des propagations par effet de mèche.

De plus, la présence d'une couverture herbacée continue (dans certains cas « enrichie » de résidus de fauchage) augmente fortement le risque de propagation par sautes et la diffusion de l'incendie au sol.

c. Incendie de locaux abritant des batteries Lithium-Ion

L'usage de batteries Lithium-Ion pour stocker temporairement une partie de l'électricité produite sur les parcs photovoltaïques est très récente, mais on recense déjà 3 cas d'incendie dans des locaux abritant de telles batteries.

On se trouve alors non plus dans le cadre d'un incendie de végétation, mais dans un incendie chimique, qui fait appel à des manœuvres d'intervention totalement différentes, et de plus émet des fumées toxiques (3 sapeurs-pompiers ont été hospitalisés du fait d'inhalation de ces fumées sur le dernier événement survenu le 6 avril 2023 en Haute Corse à Poggio di Nazza).

Le risque majeur proviendrait d'un tel incendie de batteries, lui-même engendré par l'incendie de forêt se propageant au sein d'un parc jusqu'à ces lieux de stockage qui pourraient dès lors être considérés comme points sensibles à défendre (pour limiter les conséquences).

6. Rappel de la stratégie de PFCI française et de ses conséquences vis-à-vis des installations photovoltaïques (ONF/DGSCGC)

a. Stratégie générale et doctrine opérationnelle

La stratégie nationale de DFCl

La doctrine française de protection des forêts contre les incendies se fonde du niveau national vers les niveaux locaux sur un corpus de guides, d'ordres d'opération et plans de protection des forêts contre l'incendie (PFCI).

Le guide de stratégie générale de PFCI publié en 1995 par le Ministère de l'Intérieur fixe deux grands principes (approche globale et anticipation) et 4 objectifs prioritaires (empêcher les feux, maîtriser les éclosions au stade initial, limiter les développements catastrophiques et réhabiliter les espaces incendiés).

A noter : à la date de rédaction de la présente note, une proposition de loi visant à renforcer la prévention et la lutte contre l'intensification et l'extension du risque d'incendie a été votée en première lecture par le Sénat.

Elle prévoit en son titre 1er (article 1er) « qu'une stratégie nationale et interministérielle de défense des forêts et des surfaces non boisées contre les incendies est élaborée par les ministères chargés de la forêt, de l'environnement et de la sécurité civile [...] ».

Chaque année, un ordre d'opérations national feux de forêts émanant du Ministère de l'Intérieur fixe les modalités de mise en œuvre du dispositif d'intervention aéro-terrestre mobilisé par ce ministère (direction générale de la sécurité civile et de la gestion des crises – DGSCGC) pour renforcer l'action des sapeurs-pompiers dans leurs missions de lutte contre les feux de forêts.

Il est ensuite décliné au sein de toutes les zones de défense et de sécurité et dans les départements les plus concernés par ce risque.

Les tactiques et manœuvres permettant l'emploi des différentes composantes des forces de lutte contre les incendies sont détaillées dans deux documents publiés par le ministère de l'intérieur (direction générale de la sécurité civile et de la gestion des crises – DGSCGC) :

- Le Guide de Doctrine Opérationnelle (GDO) pour les feux de forêts et d'espaces naturels de 2021 ;
- Le Guide de Technique Opérationnelle (GTO) de lutte contre les feux de forêts et d'espaces naturels de 2021.

Par ailleurs, dans chacun des 32 départements du sud de la France soumis à un risque élevé d'incendie de forêt, est élaboré un plan départemental (ou interdépartemental) de Protection des Forêts Contre les Incendies (PDPFCI). Celui-ci, en déclinaison de la doctrine nationale et de ces guides d'emploi, fixe les priorités de l'Etat pour atteindre les objectifs précités.

Finalement, à l'échelle des territoires, les collectivités locales (ou leurs groupements) peuvent établir et mettre en œuvre des plans de protection des massifs forestiers contre les incendies. C'est au sein de ces plans adaptés à chaque massif et à leur contexte que les stratégies les plus pertinentes sont précisées, et que les moyens pour les atteindre sont recherchés.

En particulier, ces plans précisent le type et la localisation des équipements DFCl nécessaires à la protection du massif, et notamment les voies de DFCl, les réserves d'eau DFCl et les coupures de combustible (également nommées « pares-feux ») qui sont des zones desservies par une piste DFCl (ou, dans certains cas particuliers, par un tronçon de voie publique

identifié), débroussaillées sur une largeur suffisante pour y permettre d'y déployer une manœuvre de lutte contre un incendie établi.

L'implantation de parcs photovoltaïques au sein ou à proximité de massifs forestier est susceptible d'impacter la mise en œuvre de la stratégie de protection contre les incendies et de sa déclinaison dans les plans de massif existants ou à venir.

La présente étude a de ce fait pour objectif d'analyser cette stratégie, d'identifier les éventuelles difficultés ou impossibilités de mise en œuvre inhérentes à l'installation de parcs photovoltaïques et, si nécessaire, de proposer des mesures permettant la poursuite de la stratégie initiale avec le même niveau de sécurité et d'efficacité, ou de proposer des stratégies alternatives permettant d'atteindre un niveau de protection du massif au moins équivalent au niveau actuel sans installation photovoltaïque.

L'objectif de réhabilitation des espaces incendiés, indépendant de la présence ou absence de parcs de panneaux photovoltaïques, n'est de ce fait pas abordé dans la présente étude.

Les trois objectifs principaux de la doctrine nationale (et les stratégies et manœuvres qui en découlent) à analyser sont donc les suivants :

- Empêcher les feux
- Maîtriser les éclosions au stade initial
- Limiter les développements catastrophiques

Il convient de noter que l'emploi des moyens aériens entre dans la déclinaison de deux de ces trois objectifs au travers de 4 stratégies :

- Maîtriser les éclosions au stade initial
 - Guet aérien armé
 - Traitement prioritaire des feux naissants
- Limiter les développements catastrophiques
 - Sécurité des personnes (combattants et population), des biens et de l'environnement
 - Efficacité de la lutte (stratégie agressive et mobile, frappe combinée air/terre massive et dynamique).

Comme le précise le guide d'emploi des moyens aériens en feux de forêts, la valeur ajoutée de ces moyens aériens est la résultante de la balance entre leurs atouts et leurs contraintes. Au titre des atouts, on peut notamment citer leur vitesse, leur capacité à s'affranchir des problèmes d'accessibilité terrestre ainsi que l'utilisation possible de produits retardants. Au titre des contraintes, on trouve en particulier leurs limites d'emploi liées aux conditions sur zone (vent, relief, visibilité – dont nuit) et aux obstacles à proximité des lieux d'intervention (les parcs photovoltaïques font partie de ces obstacles limitant les possibilités d'intervention).

L'implantation de parcs photovoltaïques à proximité ou dans un massif soumis à un risque d'incendie élevé peut avoir les impacts suivants :

- Risque de départ de feu inhérent aux installations photovoltaïques elles-mêmes : c'est un cas rare (mais constaté), qui peut avoir des conséquences très importantes notamment s'il se produit par vent fort,
- Risque de départ de feu lié aux travaux de construction ou aux opérations de maintenance sur les installations photovoltaïques, voire sur les ouvrages de transport d'électricité,
- Risque de départ de feu lié aux ouvrages de transport d'électricité eux-mêmes (négligeable si les lignes de transport sont enterrées jusqu'à l'extérieur du massif),

- Augmentation des enjeux à protéger pouvant mobiliser les secours en cas de feu important se propageant aux abords immédiats des parcs photovoltaïques,
- Obstacle aux possibilités d'intervention des hélicoptères et avions bombardiers d'eau dans leur environnement du fait du risque d'endommagement des panneaux lors des largages.

La doctrine opérationnelle

En fonction du comportement du feu, de la disponibilité des moyens de secours et de leur temps d'accès sur le site d'intervention, plusieurs manœuvres sont envisageables. Ces manœuvres sont décrites d'une part dans le guide de technique opérationnelle et d'autre part dans le guide d'emploi des moyens aériens en feux de forêt.

Elles ne sont pas détaillées dans la présente étude.

b. Dispositifs de surveillance et de première intervention (dont répartition spatiale et temporelle), moyens de lutte terrestres et aériens

Comme cela a été rappelé ci-dessus, la stratégie française de protection des forêts contre les incendies comporte 3 objectifs opérationnels (et un quatrième de réhabilitation des espaces incendiés).

Le premier objectif est d'empêcher les feux, en prenant des mesures pour éviter les éclosions. Dans le cas des installations photovoltaïques, cela se traduit par 2 axes d'action :

- Limiter autant que possible les facteurs d'éclosion accidentelle inhérents aux installations de tous types (panneaux, connexions, câbles de transport, transformateurs ...)
- Limiter autant que possible les causes accidentelles d'éclosion lors des travaux d'aménagements et de maintenance des parcs (utilisation d'outils générateurs potentiels d'étincelles ou de sources de chaleur, comportement des intervenants ...).

Le second objectif vise à maîtriser les éclosions au stade initial.

Pour y parvenir, il faut détecter l'éclosion le plus rapidement possible, puis attaquer le feu le plus rapidement possible après sa détection (objectif d'attaquer le feu avant qu'il n'atteigne 1 ha, soit en conditions de risque élevé moins de 10 minutes après son éclosion).

Pour y parvenir, il faut d'une part des moyens de détection efficaces, et d'autre part des vecteurs d'intervention rapide.

Selon les moyens et les organisations départementales, des dispositifs de guet de plusieurs types sont mis en œuvre (en général lors des périodes à risque d'incendie uniquement) :

- Par des moyens aériens, dont certains disposent de capacité de largage d'eau ou de produit retardant
- Par des vigies terrestres, armées par des personnels spécialisés, ou dotées de caméras (de détection automatique ou de confirmation)
- Par des patrouilles au sein ou en bordure des massifs forestiers, dont certaines disposent de capacité de première intervention (le plus souvent groupe hydraulique avec une réserve de 600 litres d'eau).
- Par le maillage préventif mis en place par certains Services d'Incendie et de Secours.

Pour les départements ne disposant pas de tels dispositifs, ou en compléments à ceux-ci, aujourd'hui beaucoup d'alertes sont données par le public grâce au réseau de téléphonie mobile.

Ces alertes sont toutefois souvent peu précises et nécessitent d'être vérifiées et mieux géolocalisées par les dispositifs publics.

A noter : la plupart des parcs de panneaux photovoltaïques sont dotés de caméras de surveillance contre les intrusions ; il serait très utile de faire évoluer ces dispositifs de caméras afin qu'ils contribuent à la détection des éventuels départs de feu au sein des parcs situés en forêt ou à proximité de celles-ci.

La disponibilité de moyens d'intervention rapides dépend elle aussi des capacités et des organisations départementales.

Certains départements peuvent bénéficier de la présence des avions bombardiers d'eau de la sécurité civile (DASH 8 ou Canadair), qui sont placés en patrouilles aériennes lors des périodes à plus haut risque et peuvent intervenir dès qu'ils détectent un incendie.

Dans les autres cas, il s'agit d'hélicoptères bombardiers d'eau ou d'avions bombardiers d'eau légers (loués par certains SDIS ou de la sécurité civile) qui décollent une fois l'alerte donnée.

Les dispositifs de patrouilles par des véhicules terrestres n'existent que dans certains départements parmi les plus exposés.

Ils peuvent combiner des moyens publics (Etat et ses établissements publics ou collectivités locales, ASA de DFCI) ou des moyens privés et bénévoles.

Ils sont composés de véhicules de surveillance et de contrôle des réglementations DFCI (armés par un ou plusieurs personnels assermentés) et de véhicules de surveillance et de première intervention dotés de groupes hydrauliques (armés par 2 personnels).

En sus de ces moyens qui se déplacent dans les massifs lors des périodes à haut risque, certains SDIS mettent en alerte des véhicules ou groupes d'intervention, au plus près des forêts, prêts à intervenir en cas d'alerte.

Enfin, lorsque les ressources en eau le permettent, une possibilité d'autoprotection des parcs est envisageable en y disposant des asperseurs déclenchables à distance en cas de départ de feu par le gestionnaire du parc, soit sur la totalité du parc, soit à minima le long de la clôture périmétrale pour éviter qu'un feu éclos au sein du parc puisse en sortir.

Le troisième objectif vise à limiter les développements catastrophiques.

Lorsque l'incendie n'a pu être stoppé lors du stade initial, il se développe rapidement, avec des intensités élevées.

Lorsque les conditions météorologiques sont défavorables, l'incendie n'est plus maîtrisable sur de vastes surfaces boisées.

Les services de secours sont de ce fait contraints à des priorités pour assurer la sécurité des personnes (combattants et population) des biens et de l'environnement.

Pour la sécurité des personnes et des biens, ils sont tenus par la localisation de ceux-ci et programment des manœuvres en conséquence.

Pour l'environnement, et en particulier la forêt, ils vont rechercher des zones favorables (moins combustibles, moins exposées au vent...) pour essayer de limiter la propagation du feu par des stratégies agressives et mobiles, combinant des moyens terrestres et aériens (s'ils en disposent) avec des frappes massives et dynamique).

En particulier, les coupures de combustibles constituent des zones privilégiées pour déployer ces stratégies.

A noter : lors de ces phases de limitation des développements catastrophiques, les secours vont en général se concentrer sur la protection des personnes, puis des biens et avec leurs moyens résiduels de l'environnement et de la forêt.

Pour ne pas compliquer leur tâche et réduire encore les moyens consacrés à la protection des forêts, il est impératif que les parcs de panneaux photovoltaïques soient autoprotégés vis-à-vis des incendies et ne mobilisent qu'un nombre aussi restreint que possible d'engins de secours pour les protéger dans ces situations.

De plus, du fait des difficultés d'extinction des départs de feu au sein des parcs et du risque de propagation de l'incendie vers le massif forestier, il faudrait éviter d'installer des parcs en zone boisée des piémonts des massifs dans le sens du vent dangereux dominant.

7. Analyse d'un scénario d'éclosion d'un incendie au sein d'une installation photovoltaïque

Ce scénario prend pour hypothèse une éclosion à l'intérieur d'un parc photovoltaïque au cours d'une journée présentant des conditions climatiques qui conduisent à un danger d'incendie élevé.

Dans ces conditions, toute source de chaleur mise en contact avec des végétaux fins morts (débris végétaux fin de broyage, feuilles ou brindilles mortes, herbacées desséchées...) peut conduire à un départ de feu.

Ce feu peut se transformer en incendie s'il trouve autour de son point d'éclosion une continuité végétale, qui va lui permettre de se propager plus ou moins rapidement, et avec une intensité plus ou moins élevée selon les caractéristiques de cette couverture végétale.

Si cette couverture est continue, l'incendie va se propager jusqu'à ce qu'il rencontre une zone dépourvue de végétaux, ou si les conditions climatiques changent, ou si des actions sont menées pour l'éteindre.

Son intensité dépend de la quantité de combustible disponible (en général, tous les végétaux morts et les végétaux vivants de moins de 6 mm de diamètre).

Dans les parcs photovoltaïques elle doit réglementairement être réduite par des travaux de débroussaillage, mais dans certaines situations, des îlots de végétation sont maintenus au sein des parcs, voire des haies, ou le broyat de débroussaillage.

Toute accumulation de combustible fin aura pour effet d'augmenter l'intensité de l'incendie et d'en rendre la maîtrise plus difficile.

A noter : le débroussaillage a pour objectif de réduire la quantité de combustible disponible et ainsi de réduire l'intensité de l'incendie.

Mais dans la majorité des cas, le débroussaillage va favoriser le développement des herbacées, réduire les ombrages au sol, et ainsi augmenter l'inflammabilité de la végétation en place.

Le maintien d'un couvert herbacé continu, surtout si les débris de fauchage sont laissés avec des vitesses de propagation élevées.

Pour faire face à un départ de feu dans un tel contexte, il faut donc engager les opérations d'extinction le plus rapidement possible.

Les facteurs de succès sont les suivants :

Détection et alerte rapide

Les systèmes de détection d'incendie publics qui couvrent de grandes surfaces arrivent à détecter un point chaud ou une fumée une fois que ces derniers ont atteint une certaine intensité, c'est-à-dire lorsqu'ils déjà consommé une quantité de végétation conséquente, ce qui peut prendre quelques minutes.

La mise en place de système de détection interne à l'installation (soit par analyses d'images, soit par analyses des anomalies d'exploitation) permettrait de gagner un temps précieux.

Intervention rapide

Disponibilité des secours

Elle dépend d'abord de la disponibilité des moyens de secours (que ceux-ci soient sur leurs bases ou en patrouille), et de leur éloignement par rapport au parc photovoltaïque.

Il est difficile de faire varier ce facteur, sauf à augmenter le nombre de patrouilles.

Ouverture des portails

Par hypothèse le départ de feu ayant lieu à l'intérieur du parc, le second facteur crucial va être le délai nécessaire pour pénétrer dans le parc une fois arrivé sur site.

Ce délai dépend des systèmes d'ouverture des portails, et s'ils ne peuvent être ouverts par les secours du délai d'arrivée du gestionnaire de parc.

Pour réduire ces délais, il faut prévoir des systèmes d'ouverture des portails à distance, ou des systèmes normalisés accessibles aux moyens des SDIS avec le matériel en dotation normale dans les véhicules d'intervention (clé tricoise, clé fédérale, voire coupe-boulon ou tout autre dispositif validé par le SDIS local).

Coupures des circuits

Enfin, si le feu a pris un peu d'ampleur à l'arrivée des secours, il faudra aussi couper tous les circuits à partir des onduleurs (seuls ne doivent rester en tension que les panneaux et les circuits des panneaux aux onduleurs).

Pour réduire des délais de coupures de circuits, il serait utile de mettre en place des dispositifs généraux accessibles aux services de secours sans attendre le gestionnaire du parc.

Organisation du parc

Une fois dans le parc et celui-ci mis hors tension (hors panneaux), il faut que les véhicules de secours puissent accéder au plus près de la zone qui brûle, puis que les personnels d'intervention puissent faire usage de leurs lances (ce qui impose à minima une distance entre le porte-lance et les panneaux de 5 mètres).

Pour y parvenir, il faut des voies de circulation interne desservant des îlots de surface modérée ayant un gabarit suffisant pour les engins de secours et une distance plateforme panneaux d'au moins 5 mètres.

Si les conditions ci-dessus sont réunies, ou au moins partiellement satisfaites, l'objectif sera de maîtriser l'incendie au stade initial, si possible à l'intérieur du parc.

La tactique privilégiée sera une attaque de front, qui pourra en principe être mise en œuvre avec des moyens relativement peu importants.

Si un des éléments de la chaîne précitée n'est pas satisfait, selon la taille du parc et la localisation de l'éclosion au sein du parc, à l'arrivée des premiers secours dans le parc, l'incendie pourra déjà se trouver en bordure de celui-ci ou avoir franchi la clôture.

Ces premiers secours vont en principe mener une attaque de front sur la zone en feu à l'intérieur du parc.

Si malgré cette première intervention l'incendie se propage vers l'extérieur du parc, il faut que les engins de secours puissent rapidement passer à l'extérieur du parc pour poursuivre l'extinction de l'incendie.

Pour y parvenir, il faut que la clôture soit dotée de portails régulièrement espacés et pas trop éloignés les uns des autres, et reliés à une piste périmétrale externe.

S'ils parviennent à se positionner sur cette voie périmétrale, ou si ce sont des moyens en renforts qui les suppléent, ceux-ci vont tenter de mettre en œuvre une ligne d'appui le long de ladite voie.

Si la manœuvre réussit, l'incendie est maîtrisé, et il reste à parfaire son extinction au sein du parc, à partir des voiries internes.

Si la manœuvre échoue, l'incendie continue sa propagation en forêt.

8. Analyse d'un scénario de menace d'une installation photovoltaïque par un FDF majeur éclos à distance

Ces scénarios prennent pour hypothèse une éclosion et la propagation d'un incendie à l'extérieur et à une certaine distance d'un parc photovoltaïque au cours d'une journée présentant des conditions climatiques qui conduisent à un danger d'incendie élevé. L'incendie va de ce fait arriver à proximité du parc avec une intensité assez élevée et une largeur de front importante.

a. Installation photovoltaïque en interface avec massif forestier

L'incendie se propageant du massif forestier vers le parc qui se situe entre le massif et une zone non forestière (agricole, urbaine...) ne pourra se développer au-delà du dit parc même si ce dernier est totalement brûlé.

Selon son niveau d'autoprotection et la disponibilité des moyens de secours, le parc risque d'être parcouru en tout ou partie par le feu.

Dans le cas particulier d'un parc se situant au contact, non pas du massif forestier proprement dit, mais de l'interface forêt habitat (avec les zones de débroussaillage obligatoires liées au parc mais aussi aux constructions des interfaces limitrophes), les effets pour le parc seront identiques à ceux décrits ci-dessus.

En revanche, la biomasse étant nettement moins importante au sein du parc et de sa zone débroussaillée externe que dans le massif, l'intensité du feu y sera moindre. De ce fait, la menace pesant sur l'interface forêt-habitat sera réduite.

b. Installation photovoltaïque sur un ouvrage DFCI (coupure de combustible, pistes et points d'eau associés)

Comme cela a été explicité dans les chapitres précédents, il n'est pas possible de mettre en œuvre des manœuvres efficaces tout en garantissant la sécurité des personnels pour limiter les effets de l'incendie au sein du parc proprement dit, c'est-à-dire la zone clôturée entourant l'installation photovoltaïque : risque d'électrocution, déplacements contraints par les panneaux et les clôtures, pas d'appui aérien possible, etc.

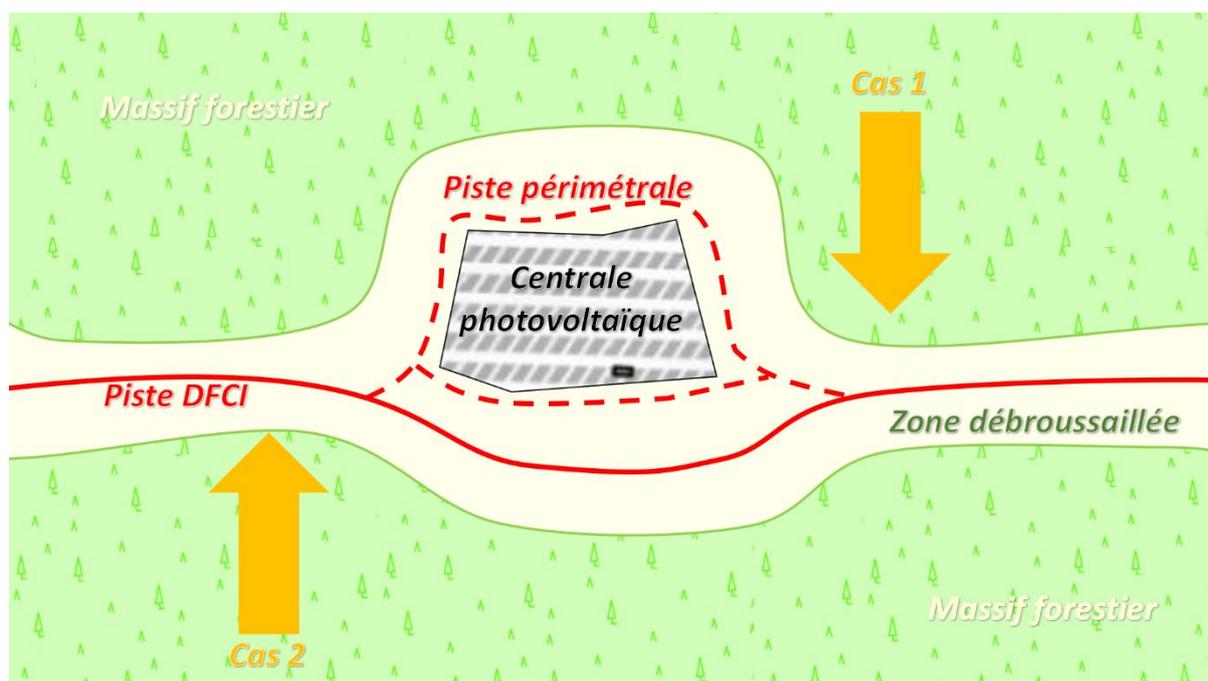
Il est donc totalement exclu de positionner un parc photovoltaïque sur un ouvrage DFCI qui a été créé en déclinaison d'un plan de massif DFCI et sur lequel des manœuvres aéroterrestres sont envisagées.

Un tel ouvrage doit être composé d'une voie DFCI, et entourée d'une bande débroussaillée d'au moins 50 m, et dotée de points d'eau, le tout libre de toute obstacle et de toutes contraintes.

Par contre, comme les retours d'expérience l'ont mis en évidence, un parc construit en continuité le long d'un ouvrage DFCI peut dans certaines circonstances en faciliter l'usage.

Dans ce cas, l'ouvrage DFCI peut être constitué au moins en partie de la piste périmétrale du parc, de la bande débroussaillée périmétrale (obligatoire dans les départements à risque d'incendie) sur une profondeur de 50 m et de certains points d'eau.

Dans la mesure du possible, une seconde voie DFCI sera implantée à une dizaine de mètres de la bordure de la zone débroussaillée du côté opposé à la clôture.



Les flèches représentent la direction d'arrivée du front de feu au contact du parc dans les 2 cas décrits ci-après (Cas 1, et Cas 2)

Le scénario d'une installation photovoltaïque sise au sein d'un massif forestier et adossée à un ouvrage DFCI est analysé au point ci-après.

c. Installation photovoltaïque au sein du massif forestier en appui sur un ouvrage DFCI

Installation photovoltaïque entre l'ouvrage DFCI et le front de l'incendie (cas 1)

Le parc étant dans cette configuration considéré comme une zone débroussaillée élargissant l'ouvrage DFCI, si le front de feu est puissant à l'arrivée au contact du parc, il n'y aura pas de manœuvre pour le protéger. Selon son niveau d'autoprotection, le parc risque d'être parcouru en tout ou partie par le feu.

Selon la disponibilité des moyens (fonction de la situation opérationnelle), la mise en œuvre d'une ligne d'appui avec appui aérien sur la piste secondaire située dans la zone débroussaillée abritée derrière le parc est envisageable dans un objectif de stopper la propagation de l'incendie au moins sur ce tronçon.

Ouvrage DFCI entre l'Installation photovoltaïque et le front de l'incendie (Cas 2)

Le parc étant également, dans cette configuration, considéré comme une zone débroussaillée élargissant l'ouvrage DFCI, si le front de feu est puissant à l'arrivée au contact du parc, il n'y aura pas de manœuvre pour le protéger. Selon son niveau d'autoprotection, le parc risque d'être parcouru en tout ou partie par le feu.

Selon la disponibilité des moyens (fonction de la situation opérationnelle), la mise en œuvre d'une ligne d'appui avec appui aérien sur les tronçons de piste périmétrale non directement exposés au front de feu (dans la zone débroussaillée autour du parc) est envisageable dans un objectif de stopper la propagation de l'incendie au moins sur ces tronçons.

d. Installation photovoltaïque au sein du massif forestier

Dans ce scénario, le parc photovoltaïque n'est pas situé à proximité d'un ouvrage DFCI. Le parc représente à la fois un enjeu économique et une zone de moindre combustibilité.

Selon le comportement de l'incendie l'abordant et de la stratégie définie au cas par cas par le commandant des opérations de secours, une intervention des secours à proximité du parc est possible, soit pour protéger le parc, soit pour abriter les secours à l'abri d'une zone de moindre combustibilité au sein du massif forestier.

Selon son niveau d'autoprotection, le parc risque toutefois d'être parcouru en tout ou partie par le feu.

En fonction de la forme et des dimensions du parc, celui-ci peut dans certaines situations constituer un obstacle à la propagation de l'incendie, notamment s'il se situe au contact d'une voie de circulation publique.

Si le parc a une forme allongée sensiblement orientée dans le sens de propagation de l'incendie (jusqu'à environ 30 degrés d'inclinaison), il peut être intégré dans une stratégie d'attaque de flanc de l'incendie (afin de limiter l'extension latérale de celui-ci).

Dans ce cas, la ligne d'appui sera établie sur la piste périmétrale du parc (ou sur le tronçon de voie publique le bordant), soit à l'abri du parc si l'orientation de l'incendie le permet, soit à défaut en utilisant la zone débroussaillée périmétrale de 50 mètres.

Selon l'aérologie et les conditions météorologiques lors de l'arrivée du front de feu aux abords de la piste périmétrale, dans cette situation, la mise en œuvre d'un feu tactique est également une stratégie envisageable.

Dans toutes les autres situations, ce sont des analyses au cas par cas menées au cours des opérations qui permettent d'apprécier les possibilités d'appui sur un parc photovoltaïque.

9. Contraintes actuelles sur la maintenance des champs de panneaux photovoltaïques

a. Contraintes temporelles

Dans la plupart des départements réputés sensibles aux incendies, les préfets de départements ont pris des arrêtés limitant l'accès aux massifs forestiers, et les travaux, les jours où le niveau de danger d'incendie est élevé ; cela peut limiter les possibilités de procéder à des opérations de maintenance au cours de ces journées.

b. Contraintes inhérentes à des problématiques environnementales ou paysagères

Dans la plupart des cas, en sus des contraintes inhérentes à la DFCI, la construction et la maintenance des parcs photovoltaïques est également soumise au respect de mesures environnementales et paysagères, dont certaines peuvent être contradictoires avec celles préconisées au titre de la DFCI.

Parmi ces mesures, on peut citer :

- Restrictions calendaires pour la réalisation de certains travaux, notamment de débroussaillage, à réaliser en dehors de la période de reproduction de certaines espèces (oiseaux, insectes, reptiles...) ce qui peut très fortement réduire les périodes exploitables.
- Mesures obligatoires intégrées aux décisions autorisant la création des parcs portant :
 - Sur l'implantation de haies, en bordure des parcs, et parfois internes (vecteurs de feu sur de longues distances)
 - Sur le maintien au sein des parcs ou des zones débroussaillées périmétrales de certaines espèces, ou de bosquet de broussailles augmentant la combustibilité du milieu et l'intensité d'un feu s'y propageant
 - Sur les techniques de travaux de débroussaillage, dont certaines obligent les gestionnaires de parcs à maintenir des strates herbacées assez hautes, voire même à laisser sur place les débris de fauchage, ce qui augmente de manière très significative le risque d'éclosion (végétation très inflammable) et de propagation rapide au sol en cas de vent fort (même si l'intensité est faible, le feu peut alors se reprendre dans le parc, rendant les opérations de lutte compliquées et dangereuses).

10. Recommandations dans les zones soumises à un risque d'incendie élevé

Avant de formuler des recommandations, il est utile de rappeler les obligations existantes parfois négligées lors de la conception des projets et qui peuvent se révéler difficiles à mettre en œuvre une fois le projet validé (tant sur le plan administratif que financier) :

- L'interdiction d'implanter des parcs photovoltaïques de plus de 25 ha (soumis à autorisation de défrichement) dans les zones forestières (article L 111-33 du code de l'urbanisme instauré par la loi ENR n° 2023-175 du 10 mars 2023)
Cette disposition est applicable aux projets déposés à partir du 10 mars 2024 sur tout le territoire national.

- Le débroussaillage est obligatoire dans tous les départements et massifs réputés ou classés à risque d'incendie (soit les 32 départements du sud de la métropole et quelques autres départements en Bretagne, Val de Loire et région parisienne essentiellement).

Les parcs photovoltaïques sont considérés au sens du code forestier comme des « installations de toute nature » qui doivent être débroussaillées jusqu'à une profondeur de 50 m au-delà de leur limite (soit de leur clôture).

Selon la taille et la forme des parcs, la superficie à débroussailler hors de l'emprise du parc proprement dit peut être importante.

A titre d'exemple, pour un parc « compact » théorique carré de 25 ha (soit 500 m sur 500 m), la bande de débroussaillage externe de 50 m de profondeur représente une surface de 11 ha ; mais pour un parc « très allongé » de la même surface de 25 ha (de 2500 m sur 100 m), la surface externe à débroussailler est de 27 ha, soit plus que la surface du parc proprement dit.

Ces travaux de débroussaillage doivent donc bien être intégrés au projet **dès sa conception** pour en prévoir les coûts, s'assurer de leur maîtrise foncière, et les prendre en compte dans les études d'impact.

A noter : le débroussaillage est une opération sylvicole ; elle ne nécessite pas d'autorisation de défrichement.

La superficie maximale de 25 ha précitée ne vise donc que le parc proprement dit (jusqu'aux clôtures) mais pas la zone à débroussailler externe.

- Certaines communes sont dotées d'un plan de prévention des risques d'incendie de forêts, qui interdisent l'implantation de parcs photovoltaïques dans les zones à plus haut risque (zone rouge), notamment du fait du risque d'aggravation des éclosions.

a. Sur les contraintes relatives aux travaux de construction des installations

- La mise en œuvre des moyens de prévention et de protection exigibles à termes, doit être effective dès le début du chantier de construction. Cette contrainte est applicable tant sur les moyens d'accès aux services de secours que sur les moyens en eau disponible ou sur les dispositifs de surveillance.
- Sans préjudice de la réglementation applicable en la matière, notamment les dispositions particulières prises par les préfets, l'exploitant réalise tous travaux de construction sur le site en dehors de la période à plus haut risque, allant dans la plupart des cas du 1^{er} juin au 30 septembre, en privilégiant des journées de vent faible.

b. Sur la localisation des installations vis-à-vis des zones à risque d'incendie

La loi récente loi relative aux énergies renouvelables instaure un dispositif de planification territoriale des énergies renouvelables pour faciliter l'approbation locale des projets et assurer leur meilleur équilibre dans les territoires. Ce dispositif vise à terme à identifier et cartographier à l'échelle de chaque département des zones d'accélération favorables à l'accueil des installations notamment de parcs photovoltaïques.

Le risque d'incendie sera intégré à cette réflexion territoriale, et à terme il est recommandé de positionner les projets de parcs de manière privilégiée dans ces zones ainsi cartographiées.

En attente de la finalisation de ces cartes, il reste conseillé d'éviter de positionner des parcs photovoltaïques dans des massifs à risque élevé d'incendie, car comme cela a été explicité dans le présent document, l'exploitation de ces parcs peut générer des départs de feu (certes rares, mais avec des conséquences pouvant être très fortes), mais également du fait que ces parcs dans la majorité des situations d'incendies majeurs parcourant ces massifs à risque ne peuvent être protégés et de ce fait peuvent subir des dégâts importants.

Dans l'hypothèse d'une implantation dans un massif à risque d'incendie, il est recommandé aux gestionnaires des parcs :

- De prendre toutes mesures pour limiter le danger d'éclosion et pour assurer l'autoprotection de leurs installations face à un incendie majeur,
- De positionner ces parcs plutôt en lisière de massif, sur la lisière opposée à la direction d'arrivée probable des incendies majeurs (afin d'éviter en cas d'éclosion au sein du parc de menacer tout le massif situé en aval par rapport à la propagation prévisible de l'incendie, et les enjeux humains et environnementaux qui s'y trouvent).
 - Tous les points d'accès au site doivent être accessibles en moins de 10 minutes par les services d'intervention (moyens de sécurité civile, dispositifs préventifs forestiers, etc.).

L'appréciation du respect de ce temps d'accès fera l'objet d'une analyse spécifique lors de l'instruction du dossier par les services de l'Etat, avec le support du SDIS et de l'autorité compétente en matière de DFCI pour intégrer toutes les composantes du contexte local.
 - Sur ces lisières, sur les secteurs dans lesquels les populations locales y adhèrent, privilégier une localisation au contact des interfaces forêt-habitat.

c. Sur la localisation des installations vis-à-vis des ouvrages DFCI

Comme cela a été démontré dans le présent document, la présence de tout obstacle ou contrainte sur un ouvrage DFCI nuit au déploiement des manœuvres d'extinction de l'incendie sur ce dernier, en en réduisant l'efficacité et la sécurité des personnels engagés.

L'implantation de parcs photovoltaïques sur les ouvrages DFCI doit donc être totalement exclue.

Dans l'hypothèse où un parc devrait s'étendre pour tout ou partie sur un ouvrage DFCI, le porteur de projet devrait assurer à ses frais la reconstitution d'un ouvrage DFCI de qualité équivalente relié au réseau de desserte du massif concerné.

Il est toutefois envisageable d'implanter des parcs photovoltaïques en appui sur ces ouvrages DFCI, sans pour autant empiéter sur ceux-ci.

Lors de l'élaboration des plans de DFCI des massifs forestiers ou de leur révision, il serait

pertinent d'identifier les ouvrages DFCI susceptibles de recevoir un parc photovoltaïque en appui.

Des prescriptions techniques particulières devront être respectées dans ces cas (guides techniques à rédiger en distinguant le cas des massifs sur terrains à faible relief et sol meuble ou sableux du cas des massifs sur terrains caillouteux à relief accentué).

Dans cette hypothèse, il est recommandé de privilégier des parcs de forme plutôt allongée le long de l'ouvrage DFCI et positionnés du côté de l'arrivée probable des incendies majeurs du massif.

Si plusieurs parcs (à terme chacun de moins de 25 ha) sont positionnés le long d'un tel ouvrage, une bande débroussaillée de 50 à 100 mètres (correspondant au cumul des bandes débroussaillées externes de deux parcs contigus) dotée d'au moins une piste DFCI devra être réservée entre les clôtures de deux parcs successifs pour permettre aux services de secours d'accéder rapidement aux parcelles forestières.

d. Sur la conception et l'organisation des installations photovoltaïques

Maîtrise foncière

Il est fortement recommandé que le porteur du projet dispose dès le dépôt de sa demande d'autorisation administrative de la maîtrise foncière - en pleine propriété ou via un bail - de l'emprise totale du parc proprement dit jusqu'aux clôtures. Le porteur de projet doit également avoir la maîtrise de la bande périmétrale dans laquelle il devra mettre en œuvre les travaux imposés par les réglementations nationales (débroussaillage au moins sur une profondeur de 50 m) ou par la décision d'autorisation (pistes périmétrales, bandes à sable nu le long des clôtures dans certains départements, fossés de drainage le long des pistes, point d'eau DFCI...). Cette maîtrise sera assurée par une servitude de passage, d'aménagement et d'entretien, ou par des autorisations pérennes des propriétaires couvrant les mêmes droits.

Il est également fortement recommandé que le porteur de projet dispose de la maîtrise foncière du tracé des câbles de transport de l'électricité produite jusqu'au réseau de transport public, ainsi que des droits de circulation sur les voies publiques (respect des tonnages notamment) et privées devant desservir les installations.

Dimension et organisation spatiale des parcs photovoltaïques

Comme cela a été rappelé dans le préambule, à terme (mars 2024) les parcs situés en forêt ne pourront dépasser une superficie de 25 hectares.

Il est de ce fait probable que les porteurs de projets envisagent dans les zones d'accélération favorables à l'accueil des installations d'implanter plusieurs parcs proches les uns des autres, voire contigus.

Il est dans cette hypothèse recommandé de séparer les parcs contigus par une bande de 50 mètres au minimum à 100 mètres au maximum entre les clôtures de chacun d'eux et de d'assurer une continuité débroussaillée entre eux ; cette bande devra être dotée d'une voie de circulation sensiblement à égale distance des clôtures.

En dehors du cas particulier des parcs installés en appui sur des ouvrages DFCI qui devront préférentiellement être de forme allongée le long de ces ouvrages, il est recommandé pour les parcs installés en forêt ou en lisière de forêt de privilégier des formes « compactes » pour réduire autant que possible la longueur du périmètre de contact avec la forêt.

Pour compléter les exemples précités sur les surfaces externes à débroussailler, un parc (installé au milieu du massif) « compact » de 25 hectares de 500 m sur 500 m aura une longueur de lisière de contact avec la forêt de 2 000 mètres.

A l'opposé, le parc « très allongé » de 2 500 m sur 100 m aura une lisière de contact de 5 200 mètres.

Pour les projets de parcs dont le dossier sera instruit pendant la période transitoire qui nous sépare du 10 mars 2024, des prescriptions sur la forme desdits parcs seront formulées au cas par cas par les services chargés de DFCI.

A minima, il faut prévoir, surtout pour les parcs de grande superficie de segmenter ces derniers en unités de taille modérée (25 ha peut être un objectif raisonnable) en prévoyant entre toutes les unités des voies internes permettant la circulation et le croisement des engins de secours (bande de roulement de la voie et largeur circulaire adjacente) et un retrait d'au moins 5 mètres des panneaux par rapport au bord extérieur de la plateforme de ces voies,

Prescriptions techniques

Des guides ou cahiers de prescriptions techniques ont d'ores et déjà été élaborés par les SDIS dans la plupart des départements à risque fortement sollicités pour l'installation de parcs photovoltaïques.

Il est envisageable à l'issue de la présente étude de rédiger un cadre type de prescriptions pour la conception des parcs et de leurs annexes reprenant les mesures principales figurant dans les documents existants (en distinguant le cas des massifs sur terrains à faible relief et sol meuble ou sableux du cas des massifs sur terrains caillouteux à relief accentué).

Ce cadre type pourrait être utile aux départements ne disposant pas de doctrine à l'heure actuelle, et pourrait être repris dans les départements déjà dotés en le complétant des mesures adaptées à leur contexte local.

Ce document pourrait également traiter de manière particulière le cas des parcs situés le long d'un ouvrage DFCI.

Les prescriptions générales minimales sont les suivantes :

Accessibilité du site par les moyens de lutte

- Assurer la desserte du parc depuis une voirie publique par une voie permettant la circulation et le croisement à distances régulières (au moins tous les 500 mètres) des camions citernes feux de forêt et dont les abords doivent être débroussaillés sur une profondeur fixée par le préfet de chaque département (ne pouvant dépasser 10 mètres).
- Assurer la desserte interne du parc par une (ou plusieurs) voie(s), permettant le croisement des camions citernes feux de forêt (bande de roulement de la voie et largeur circulaire adjacente).

Les abords de cette desserte interne sont dépourvus de panneaux photovoltaïques sur une profondeur d'au moins 5 mètres de part et d'autre de la voie (distance minimale de sécurité pour les personnels mettant en œuvre les lances incendies en jet diffusé).

Ces voies doivent permettre de quadriller le parc (rocares et pénétrantes) et de desservir toutes les constructions (locaux onduleurs, transformateurs, locaux techniques, etc.) de telle sorte d'atteindre tous les aménagements (y compris panneaux) à moins de 100 mètres.

- Doter le parc d'une desserte périmétrale externe (et si le relief le permet interne en sus) par une voie (ou plusieurs) permettant la circulation et le croisement permanent des camions citernes feux de forêt et reliée aux ouvrages DFCI en cas d'appui sur l'un d'eux, soit une voie d'une largeur circulaire stabilisée d'au moins 6 mètres (s'entendant comme la bande de roulement de la piste ainsi que les accotements sur lesquels un camion-citerne peut rouler, dont bandes dépourvues de végétation).

- Doter le parc de portails régulièrement répartis sur tout leur pourtour avec un écartement entre portails d'au plus 500 mètres et un minimum de 2 portails.
- Implanter des réserves d'eau DFCI en quantité adaptée à la dimension du parc en bordure des voies périmétrales, à proximité d'un portail (au moins une réserve d'eau d'au moins 30 m³ chacune pour une capacité disponible minimale de 120 m³ par tranche de 25 ha).
Ces réserves d'eau doivent être accessibles aux services de secours à l'extérieur du parc, en bordure de la piste périmétrale (en dehors de son emprise) sur une aire de retournement d'au moins 200 m² et d'une largeur minimale de 8 m
- Ces réserves d'eau devront avoir une durée de vie supérieure ou égale à la durée d'exploitation du parc (de ce fait, les citernes souples sont très fortement déconseillées) et être dotées de dispositifs de reprise d'eau bien positionnés et compatibles avec les raccords des services de secours.
- Apposer une signalétique fixe à proximité immédiate de chaque portail à l'usage des secours indiquant l'emplacement des dispositifs de coupures, des différents locaux, ainsi que les cheminements internes et externes au parc.

Débroussaillage

Dans toutes les zones exposées à un risque d'incendie élevé au sens du code forestier, il convient de respecter les obligations réglementaires décrites en préambule du présent chapitre.

Au-delà des obligations réglementaires, il est recommandé de prévoir systématiquement le débroussaillage intégral de la totalité du parc (zone comprise à l'intérieur de la clôture périmétrale) et d'une bande d'au moins 50 m autour du parc et de sa clôture, si le projet est localisé dans un secteur identifié, par les autorités compétentes, comme étant à risque notable de feux de forêt et de végétation, selon des modalités de débroussaillage respectant les dispositions locales. En particulier, aucun îlot de broussaille ou de haie ne doit se trouver au sein ou en bordure immédiate du parc, les herbacées doivent être tondues au plus court avant la (ou les) saison(s) à risque. Dans la mesure du possible, les rémanents de coupe seront éliminés hors du parc (pas d'épandage ou dispersion sur place). Une zone dépourvue de toute végétation doit être créée sur une profondeur de 3 mètres autour de tous les bâtiments, une bande totalement dépourvue de végétation (si le sol le permet) d'une largeur d'au moins 5 mètres, à l'intérieur de la clôture périmétrale du site et, si besoin selon le contexte, d'au moins 5 mètres à l'extérieur de la piste périmétrale doit être créée.

En toutes hypothèses, lorsque deux implantations de parcs voisins sont possibles, chacune d'une superficie de 25 ha, elles sont implantées de manière à ce que la distance minimale entre tous les points des deux clôtures périmétrales soit d'au moins 50 mètres et d'au plus 100 mètres.

Mesures constructives et techniques particulières

- S'assurer du respect strict des normes en vigueur.
Par exemple et de manière non exhaustive, la mise en œuvre des installations (onduleurs, câbles, ...) doit être conforme à la norme NFC 15100 et UTE C15-71261. Une certification par un organisme notifié pourra être exigée.
- Intégrer des matériaux à moindre pouvoir calorifique dans la conception de la centrale photovoltaïque,

- Equiper les locaux techniques de dispositifs d'isolation thermique et d'imperméabilisation et des mesures constructives permettant le non-perçement par le feu de l'enveloppe du bâti pendant 30 minutes (pare-feu ½ h),
- Créer des zones totalement incombustibles d'au moins 3 mètres autour de tous les sites sensibles (transformateurs, stockage de batteries...) et d'au moins 5 mètres entre la clôture et la piste périmétrale externe,
- Enterrer les câbles de raccordement électrique, et les câbles de transport jusqu'au réseau public (en privilégiant le passage sous les voiries),
- Equiper le site de dispositifs de protection contre la foudre,
- Equiper l'installation de détecteurs d'incendie (capteurs de détection de fumées, capteurs de température) permettant de surveiller tous les éléments susceptibles de s'enflammer en cas de défaillance, notamment au niveau de l'onduleur, et si la configuration le permet de moyens d'extinction à proximité des onduleurs.

e. Sur la construction, l'exploitation et la maintenance des installations photovoltaïques

Sans préjudice de la réglementation applicable en la matière, notamment les dispositions particulières prises par les préfets, l'exploitant réalise tous travaux sur le site (installation, maintenance et entretien) en dehors de la période à plus haut risque d'incendie, qui dans la plupart des départements s'étale allant du 1er juin au 30 septembre, en privilégiant des journées de vent faible.

Les équipes chargées des travaux sont formées à la prévention des éclosions et à leur maîtrise au stade initial. Elles sont dotées de matériels permettant d'éteindre un départ de feu provoqué par leur action.

Il est recommandé de commencer le chantier d'installation du parc par la mise en œuvre des ouvrages de desserte et de protection contre l'incendie (réserve d'eau, débroussaillage) afin de permettre une intervention efficace des secours en cas d'incendie déclenché pendant cette phase de travaux.

Il est recommandé aux gestionnaires des parcs de prendre toutes mesures de maintenance de toutes leurs installations afin de réduire au maximum le risque d'occurrence d'une anomalie de fonctionnement susceptible de déclencher un départ de feu.

Il est également recommandé aux gestionnaires des parcs de veiller à ce que leurs employés et sous-traitants respectent les consignes de sécurité et éventuelles réglementations locales lors de travaux de maintenance avec des matériels pouvant produire des étincelles, des projections de particules incandescentes, ou de grande quantité de chaleur (soudure, emploi de disqueuse, débroussailleuse et tout autre outil thermique...), et ce tout particulièrement pendant la période à risque d'incendie.

En particulier, ils veillent à l'obligation d'avoir un permis de travail par point chaud pour les entreprises intervenant sur ces équipements ou à proximité de ces équipements.

Enfin, comme cela a été mis en évidence par les retours d'expérience, certaines mesures de gestion de la végétation imposées aux gestionnaires de parcs au titre de mesures environnementales ou paysagères peuvent conduire à des situations à haut risque, d'une part d'éclosion d'incendie (d'autre part de rapide propagation (par exemple maintien d'une couverture herbacée continue et des broyats de fauchage sur place), avec des « spots » de forte intensité.

D'autres peuvent conduire à l'impossibilité d'utiliser les équipements DFCl (en particulier piste

interne ou périmétrale) à certaines périodes de l'année à risque (cas du maintien de zones humides dans les Landes de Gascogne, qui peut réduire fortement l'usage des pistes en mars-avril, qui est une période à risque dans cette région).

Ces mesures dont l'intérêt pour la préservation de l'environnement n'est pas remis en cause sont antinomiques avec la protection des forêts contre les incendies.

Dans la continuité de cette étude et des directives transmises aux échelons préfectoraux, il pourrait être utile que l'autorité qui supervise ces deux aspects de la protection de l'environnement analyse les avantages et inconvénients de chacune de ces mesures et indique à ses services quelles sont les priorités, ou les adaptations possibles (tenant compte des particularités ou contextes locaux – par exemple, les mesures pourraient être différentes dans les parcs situés en appui des ouvrages DFCI).

f. Sur l'installation de batteries Lithium/Ion dans les parcs

Comme cela a été souligné dans tout le document, les parcs photovoltaïques doivent le moins possible mobiliser les secours pour les protéger en cas d'incendie les menaçant. Ils doivent donc être conçus pour assurer leur autoprotection.

Même dans les cas où une partie de leur surface est sinistrée, les effets de l'incendie sur les installations (panneaux et annexes) produisent relativement peu de dégagements toxiques.

Ce n'est toutefois pas le cas des stockages de batteries Lithium/Ion qui, d'une part, peuvent s'enflammer lors d'incidents d'exploitation, mais également lors du passage d'un incendie, et dans ce cas produire des gaz très toxiques (dangereux pour les secours mais aussi pour les populations avoisinantes).

De plus, l'extinction de feu dans ces installations fait appel à d'autres techniques et matériels que ceux adaptés aux incendies de forêts, et peut durer plusieurs jours.

Il est donc exclu en l'état des connaissances et jusqu'à nouvel ordre d'installer de tels stockages dans les parcs situés en appui des ouvrages DFCI pour ne pas entraver les manœuvres sur ces ouvrages et dans les parcs situés en contact des interfaces forêt-habitat (risque pour les populations sous le vent des gaz toxiques en cas d'incendie).

Dans les autres cas, des mesures particulières sont fortement recommandées pour prévenir la mise à feu des batteries, et permettre si besoin des manœuvres d'extinction adaptées à ce type de combustible.

11. Conclusion

Dans les zones exposées à un risque d'incendie élevé (délimitées en application des articles L 132-1 et L. 133-1 du code forestier), l'autorité administrative compétente de l'Etat élabore un plan départemental ou interdépartemental de protection des forêts contre les incendies, définissant des priorités par territoire constitué de massifs ou de parties de massif forestier.

Ce plan est décliné pour chacun de ces territoires.

Dans l'intérêt de la sécurité des personnes, des biens, des activités économiques et sociales et des milieux naturels, le plan a pour objectifs la diminution du nombre de départs de feux de forêt et la réduction des surfaces brûlées ainsi que la prévention des risques d'incendies et la limitation de leurs conséquences

Les thématiques qu'il aborde sont larges : moyens de surveillance, établissement et cartographie des ouvrages DFCl constitués de voies d'accès débroussaillées et des points d'eau, mise en œuvre des obligations légales de débroussaillage, mobilisation des activités agricoles comme pare-feu naturel, conciliation avec les objectifs de protection de la biodiversité...

La réflexion sur le déploiement de parcs photovoltaïques dans ces zones exposées à un risque d'incendie élevé devrait se faire au niveau de ces plans, afin d'intégrer le risque nouveau d'éclosion d'incendie qu'ils sont susceptibles de générer, l'augmentation des enjeux économiques exposés au risque, mais aussi leur faible combustibilité qui pourrait permettre selon leur localisation de les utiliser pour conforter des zones débroussaillées.

En effet, bien que cela soit peu fréquent, des départs de feu ont lieu au sein des parcs photovoltaïques, que ce soit du fait d'anomalies de fonctionnement des installations ou d'accidents ou imprudences lors de travaux de maintenance.

Ces départs de feu ne sont pas faciles à éteindre du fait des difficultés d'accès à l'intérieur des parcs, mais aussi des restrictions de manœuvre inhérentes au risque électrique au sein de ces sites (au moins sur les éléments en amonts des onduleurs).

Le risque de propagation aux massifs forestiers contigus est élevé (et constaté sur plusieurs cas analysés au titre de la présente étude), avec des conséquences pouvant être très fortes.

Les parcs photovoltaïques constituent des enjeux économiques dont il faut tenir compte lors de l'analyse des conséquences potentielles des incendies et des actions programmées pour limiter les- dites conséquences.

Selon les circonstances et le comportement de l'incendie, le commandant des opérations de secours devra intégrer la protection de ces enjeux économiques dans sa stratégie d'intervention, et appréciera au cas par cas, selon la disponibilité des moyens de secours, si une manœuvre de protection de ces parcs est envisageable ou pas.

Ces parcs doivent de ce fait faire l'objet de mesures d'autoprotection à la charge des gestionnaires des parcs.

Les retours d'expérience menés à la suite de grands incendies mettent en évidence que les manœuvres visant à l'extinction ou au contrôle de la propagation de tels incendies se déroulent avec le plus d'efficacité et avec la meilleure sécurité pour les personnels engagés lorsqu'elles

sont menées sur des sites bien desservis (en voirie et en réserves d'eau), sans obstacles ni contraintes locales, et que l'intensité du feu y est la plus faible possible.

Cette condition d'intensité de l'incendie peut être remplie à la faveur de conditions météorologiques devenant favorables (baisse du vent et/ou de la température, hausse de l'hygrométrie de l'air...) d'une topographie plus favorable, ou d'une zone supportant une faible charge en combustible (ouvrage DFCI, zone agricole, zone débroussaillée...).

Comme indiqué ci-dessus, les ouvrages DFCI sont créés dans les massifs forestiers après une réflexion menée à l'échelle de ces massifs en fonction de scénarios prévisibles des incendies les menaçant basés sur l'analyse des événements passés.

Ils sont de ce fait positionnés dans les zones qui ont paru les plus pertinentes aux services chargés de DFCI, et répondent aux conditions techniques précitées.

Ces ouvrages ont un coût de réalisation et de maintenance élevés.

Il n'est de ce fait pas envisageable d'en réduire l'efficacité et l'usage potentiel en y implantant des obstacles tels des clôtures ou des panneaux photovoltaïques.

L'implantation de parcs photovoltaïques sur de tels ouvrages est donc fortement déconseillée.

Mais les retours d'expérience menés ces dernières années sur des incendies qui ont menacé des parcs photovoltaïques montrent que les équipements DFCI externes de ces parcs (pistes externes et bandes débroussaillées) ont pu être utilisés lors d'incendies majeurs (sans entrer dans le parc) en profitant du débroussaillage interne du parc qui avait réduit l'intensité de l'incendie lorsque celui-ci arrivait sur les équipements DFCI situés à l'extérieur du parc.

Dans certaines situations, la présence de parcs photovoltaïques implantés au contact d'ouvrages DFCI (sans empiéter sur ceux-ci) a pu augmenter l'efficacité des interventions.

Cette possibilité d'implanter des parcs photovoltaïques en appui d'ouvrages DFCI pourrait donc être (sous réserve d'un certain nombre de prescriptions techniques qui ont été définies à minima par la présente étude) prise en compte lors de l'élaboration et/ou de la révision des plans de massifs DFCI.

Il en serait de même pour des implantations de parcs en appui à des interfaces forêt-habitat.

En dehors de cas particuliers de localisation des parcs photovoltaïques au droit de certains ouvrages DFCI ou d'interfaces forêt-habitat identifiés au sein des plans de massifs DFCI, le projet devrait être conçu et implanté de manière à minimiser la zone de contact avec la lisière des espaces boisés.

Il serait alors localisé en bordure, ou en interface des massifs, du côté opposé à l'arrivée des vents dangereux dans le massif.

Tous les points d'accès au site devraient être accessibles en moins de 10 minutes par les services d'intervention (moyens de sécurité civile, dispositifs préventifs forestiers, etc.), sur la

base d'une vitesse moyenne de déplacement sur piste fixée par défaut à 20 km/h en terrain sans relief notable.

En toutes hypothèses, dans ces zones exposées à un risque d'incendie élevé, tout projet devra respecter un certain nombre de prescriptions techniques qui ont été définies à minima par la présente étude.

Ces prescriptions génériques minimales sont précisées et détaillées au niveau départemental pour tenir compte des contextes et particularités locales (relief, sol, types d'essence forestières, taille et forme des massifs forestiers...).

Annexe : Liste des cas d'incendie concernant des parcs photovoltaïques analysés

| Numéro cas | Nom FDF (si recensé FDF) | date incendie | date menace PV (si différent) | Département PV | commune PV | Observations |
|------------|--------------------------|---------------|-------------------------------|----------------|---------------------|--|
| 1 | | 07/04/2016 | | 04 | LES MEES | Incendie Local technique sans contamination forêt |
| 2 | Artigues | 24/07/2017 | | 83 | RIANS | Incendie de 1700 ha éclos à plus de 2 km du parc |
| 3 | Saint Hélène | 07/07/2018 | | 33 | SAINT HELENE | Parc Brassemonthe - Feu intérieur au parc sur 11 ha |
| 4 | Getigné | 04/08/2020 | | 44 | GETIGNE | Écllosion dans le parc avec propagation extérieure - 25 ha brûlé |
| 5 | Gréoux | 06/08/2020 | | 04 | GREOUX LES BAINS | Écllosion dans le parc avec propagation extérieure - 7.5 ha brûlé |
| 6 | | 27/07/2020 | | 40 | YGOS SAINT SATURNIN | Incendie éclos dans le parc et limité au parc - 300 m ² brûlés |
| 7 | | 14/01/2022 | | 91 | MONTHLERY | Incendie de batteries de Lithium sans contamination forêt |
| 8 | | 03/06/2022 | | 2B | POGGIO DI NAZZA | Incendie de batteries de Lithium sans contamination forêt |
| 9 | | 12/09/2021 | | 83 | VARAGES | Incendie éclos dans le parc et limité au parc - 3000 m ² brûlés |
| 10 | Landiras | 12/07/2022 | 18/07/2022 | 33 | HOSTENS | Incendie de 12500 ha éclos à plus de 2 km du parc - parc totalement parcouru |
| 11 | Landiras | 13/07/2022 | 18 et 19/07/2022 | 33 | SAINT SYMPHORIEN | Incendie de 12500 ha éclos à plus de 2 km du parc - parc très partiellement parcouru |
| 12 | Landiras | 14/07/2022 | 18 et 19/07/2022 | 33 | LOUCHATS | Incendie de 12500 ha éclos à plus de 2 km du parc - parc très partiellement parcouru |
| 13 | | 06/04/2023 | | 2B | POGGIO DI NAZZA | Incendie de batteries de Lithium sans contamination forêt |
| 14 | | 18/04/2023 | | 33 | SAINT HELENE | Parc du Bétout - Incendie éclos dans le parc et limité au parc - 2 ha brûlés |

A noter que cette liste ne concerne que les évènements analysés pour les besoins de la présente étude. L'accidentologie en matière de feux de végétation liés aux parcs photovoltaïques est bien plus large que cette seule liste. Le SDIS des Landes a par exemple dressé une liste complémentaire d'évènements survenus sur son territoire et reprise ci-dessous. Deux incendies en lien avec des parcs photovoltaïques y sont recensés en moyenne par an.

| | Nom du FEU | Date incendie | Département PV | Commune PV | Observations |
|----|-----------------|---------------|----------------|-----------------|--|
| 1 | St Gor | 22-févr.-15 | 40 | St Gor | Feu de transformateur dans l'enceinte du parc + végétation |
| 2 | Rion des landes | 23-juil.-15 | 40 | Rion des landes | Feu de végétation sous panneaux par tracteur lors de l'entretien, 300 m ² |
| 3 | Villenave | 2-août-16 | 40 | Villenave | Feu de végétation sous panneaux |
| 4 | Losse | 21-juin-17 | 40 | Losse | Feu de de végétation dans l'enceinte + 1000 m ² hors parc |
| 5 | Labouheyre | 2-août-17 | 40 | labouheyre | Feu de cables souterrains |
| 6 | Lue | 21-août-17 | 40 | Lue | Feu de de végétation dans l'enceinte 2000 m ² |
| 7 | Castets | 20-août-18 | 40 | Castets | Feu de de végétation dans l'enceinte 400 m ² |
| 8 | Lue | 4-oct.-20 | 40 | Lue | Feu de transformateur dans l'enceinte du parc |
| 9 | Villenave | 7-mars-22 | 40 | Villenave | Feu de végétation sous panneaux |
| 10 | Lipostey | 22-mars-22 | 40 | Lipostey | feu de papier et plastiques |
| 11 | Mézos | 6-juin-22 | 40 | Mézos | 3 Ha de végétation |
| 12 | Sore | 15-août-22 | 40 | Sore | Feu de végétation sous panneaux |
| 13 | Losse | 31-août-22 | 40 | Losse | 5 panneaux + Feu de de végétation dans l'enceinte 20 m ² |
| 14 | Magescq | 16-sept.-22 | 40 | Magescq | 30 Ha parc PV + 75 Ha forêt extérieure au parc (origine parc PV) |
| 15 | Garein | 25-sept.-22 | 40 | Garein | Feu de de végétation dans l'enceinte 2000 m ² |