

L'ABC du photovoltaïque au sol

(30 minutes de lecture)

L'Avant-propos en six phrases

On parle beaucoup des avantages des énergies renouvelables et notamment du solaire: Eh oui, cela ne consomme rien, ne fait pas de bruit et ne bouge pas (en principe). Quand ça s'approche et devient plus concret, il est temps de prendre un moment afin de comprendre les enjeux de cette technologie. Bien que nous soyons convaincus que cela fera du bien au plus grand nombre, le photovoltaïque a comme toute technologie des désavantages.

C'est pour que vous les connaissiez, les compreniez au mieux et soyez capables de poser les bonnes questions aux développeurs, investisseurs ou constructeurs, que LIZARD ENERGY vous propose cette synthèse simplifiée et mise à jour d'un document du MEEDAT (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire) et du Ministère allemand de la Nature, l'Ecologie et la Sureté nucléaire.

Ce document n'est pas exhaustif, mais il souhaite être informatif. Vous trouvez l'original du document du MEEDAT sur www.developpement-durable.gouv.fr/energie/renou/photov-guideallemand-env.pdf



Martin Baltes,
Président Lizard Energy

PREMIERE PARTIE LA TECHNOLOGIE

A comme Avant tout

1839 : Antoine Becquerel est le premier à présenter l'effet photoélectrique. En 1887, Heinrich Rudolf Hertz et Wilhelm Hallwachs publient les résultats de leurs recherches systématiques, et en 1905, c'est Albert Einstein qui en propose une explication : le concept de particule de lumière ou quantum, appelé aujourd'hui photon, initialement introduit par Max Planck. Einstein explique que ce phénomène est provoqué par l'absorption de photons lors de l'interaction du matériau avec la lumière. Cette découverte lui valut le Prix Nobel de physique en 1921 et a rendu possible le photovoltaïque.

C comme Cellules

Les cellules solaires transforment les rayons du soleil immédiatement en électricité. Selon l'épaisseur de la couche du matériau actif, on distingue des cellules de type « cristalline » et des cellules « couche mince ». L'épaisseur des cellules cristallines n'excède pas plus de 100 µm, et celle des « couches minces » est 100 fois inférieure. Les cellules cristallines (« Si ») sont composées de silicium monocristallin (rendement d'environ 14-18 %) ou poly cristallin (rendement

d'environ 13-16 %). Les couches minces sont composées par exemple de silicium amorphe (a-Si ; rendement d'environ 7-11 %) ou de tellure de cadmium (CdTe, rendement d'environ 9-12 %). Les cellules à couche mince nécessitent moins de matériau et consomment moins d'énergie lors de leur fabrication. Par contre, elles requièrent à cause de leurs rendement plus faible plus de surface pour la même puissance, sont plus coûteuses à transporter et nécessitent plus de matériaux lors de l'installation (câbles, structures de support). L'avantage de certaines cellules à couche mince est leur meilleure capacité à absorber la lumière diffuse. Donc, on les juge généralement mieux adaptées aux endroits situés plus au nord.

Toutes les cellules sont recouvertes d'une couche antireflet, pour ainsi augmenter le rendement. Les teintes sont presque toujours bleues (poli Si) ou noires (mono Si et couches minces).

Cd comme Cadmium

Le cadmium est un élément chimique très toxique. Sous forme de Tellure de Cadmium (CdTe), il est utilisé par certains fabricants de

panneaux couches minces. Les producteurs disent qu'il n'y a pas de risque, même en cas de bris du verre, et qu'ils sont capables de recycler les substances en fin de vie des panneaux. Mais selon un article paru dans le New York Times en novembre 2009, le gouvernement suédois a proposé une nouvelle version de la loi sur les substances dangereuses s'appliquant aux produits électroniques. Si la proposition suédoise est retenue par les gouvernements européens, les panneaux à base de CdTe pourraient être proscrits.

M comme Modules

Pour la protection contre les effets climatiques et mécaniques, les cellules sont enchâssées entre une vitre en verre trempé spécial et micro-structuré antireflet à l'avant, et un film plastique en éthylène-vinyle acétate (EVA) ou polyfluorure de vinylidène (PVF) à l'arrière. Le résultat de ce montage constitue le panneau photovoltaïque, qu'on appelle aussi module. Dans un module, les cellules sont connectées électriquement à des unités d'environ 230 Wc en cristallin et d'environ 70 Watt crête (Wc) en couches minces. Les modules solaires ont une durée de vie moyenne

allant de 20 à 40 ans. La plupart des fabricants de panneaux garantissent une productibilité de leurs modules de 80 % après 25 ans de fonctionnement.

O comme Onduleur

Cet appareil fait partie intégrante de toute centrale photovoltaïque et est essentiel. En effet, l'onduleur est nécessaire à la conversion du courant continu produit par les panneaux photovoltaïques en courant alternatif comme le courant qui sort de votre prise électrique. En effet, le courant produit par les panneaux doit d'abord être converti et rendu compatible pour son injection dans les lignes électriques d'EDF et être transporté jusqu'à votre prise. Il faut un certain nombre d'onduleurs reliant plusieurs rangées de modules.

P comme PV

C'est l'abréviation donnée un peu partout dans le monde à la technologie du photovoltaïque

R comme Raccordement (et Câblages !)

Les raccordements entre modules et onduleurs sont en général réalisés à l'aide de câbles

enterrés. Les raccordements entre onduleurs et transformateurs à haute tension ainsi que le raccordement de la centrale PV au réseau public se font toujours enterrés. Les câbles sont posés sur une couche de 10 cm de sable déposé au fond d'une tranchée qui est dédiée à l'enterrement des câbles à une profondeur de 70 à 90 cm. La distance entre les câbles et la largeur de la tranchée dépend de l'intensité du courant. La longueur des câbles dépend de la puissance installée de la centrale.

S comme Support des modules

Une centrale photovoltaïque au sol est principalement composée de modules solaires. Ceux-ci sont montés sur des systèmes ou châssis de support. Le montage des modules se fait sur place et les châssis se présentent sous la forme de cadres en acier zingué, aluminium ou bois (par exemple du robinier). Il y a des installations solaires fixes et des installations pivotantes. Ces dernières sont équipées d'un ou de deux axes qui suivent la course du soleil pendant la journée, et souvent appelées « trackers ». Les installations fixes sont montées en série sur des cadres inclinés d'environ 30 degrés. Afin de

réduire au minimum la projection d'ombre sur les modules par les rangées qui les précèdent, il faut laisser une distance suffisante entre les rangées. La surface nécessaire pour une centrale est donc en général nettement supérieure à celle de la surface des modules. Les installations fixes se trouvent en général entre 0,70 et 2,50 m au-dessus du sol. Cela garantit la présence de lumière diffuse sous les panneaux et permet à la végétation de se développer.

S comme Surface de terrain

La surface de terrain nécessaire pour la construction d'une centrale photovoltaïque est généralement nettement supérieure à celle de la surface nette des modules. Pour une centrale de 2 MWc (c-SI), il faut calculer environ 5 hectares. Pour une centrale de 2 MWc (Couches minces), il faut calculer environ 7 hectares, Pour une centrale de 2 MW (trackers), il faut calculer 9 hectares.

T comme Transformateurs

L'électricité sort du module en courant continu (« DC / Direct Current ») et est acheminée vers un onduleur qui la transforme en courant alterna-

tif (« AC / Alternative Current »). Ensuite, le courant est transformé en Haute Tension (20 000 Volts) et injecté dans le réseau public, en passant par un compteur AC, permettant au distributeur local de quantifier l'électricité produite par la centrale PV injectée dans son réseau.

U comme Unité de Fondation

Sur des terrains relativement simples à construire (pas de pente, sol souple) et situés dans des régions aux conditions météorologiques normales (pas de vent, pas de neige), il suffit pour fixer les unités de support des modules d'enfoncer des crochets en acier (Battage). Sur des terrains rocheux, on doit souvent utiliser des pieux en acier zingué qui ressemblent à des énormes vis, pour lesquelles, selon la dureté du sol, on doit creuser avant même de visser. Pour certains sols, et pour des certaines structures pivotantes, on emploie alors des socles en béton.

W comme Watt crête (Wc)

Le Watt Crête (Wc) n'a rien à voir avec le maximum de productibilité. C'est la puissance nominale du panneau, soit la puissance mesurée

à la sortie de la chaîne de l'assemblage sous des conditions standardisées de test, notamment à température de la cellule de 25 °C et avec un angle d'irradiation de 90°, pour : (a) tester la qualité, (b) pour rendre comparable les différentes qualités, et (c) pour trouver un moyen juste de facturer. Deux modules n'ont jamais la même puissance parce que le silicium employé est un cristal quasiment naturel et donc sa qualité est sujette à des variations. Le prix des modules se définit en € par Wc et la puissance du module est toujours spécifiée en Wc.

DEUXIEME PARTIE L'ECONOMIE

A comme Achat de l'électricité

L'état français garantit un prix d'achat de l'électricité propre. Avec électricité propre, on entend la production d'électricité ne créant pas de déchets à forts risques que l'on doit stocker éternellement, ne générant pas de pollution de l'atmosphère et ne nécessitant pas d'alimentation en eau. Les énergies propres sont appelées renouvelables parce ce que l'hydraulique, l'éolien et le solaire sont basés sur des ressources naturelles et parce qu'ils n'ont pas besoin d'apport en carburants pour produire l'électricité. Le prix payé pour le kWh (kilowatt-heure) produit à partir du solaire photovoltaïque est actuellement de 31,4 c€/kWh, trois fois plus que ce que le consommateur doit payer. Pourquoi? Parce que la filière photovoltaïque est une industrie jeune et encore petite. Sa technologie est donc encore relativement chère. Pour développer cette filière, l'état a décidé de payer une prime. Le principe va rester en place quelques années avant que le photovoltaïque puisse être compétitif en termes de coûts.

M comme Montage financier

Actuellement, l'achat de l'énergie photovoltaïque

est garanti sur 20 ans à 31,4c€ le kWh pour la totalité de la production. Cela donne de la sécurité aux investisseurs et aux banques qui financent les projets. Aux vues des montants d'investissement (entre trois et quatre millions d'Euros par MWc selon la technologie ou le lieu.) pour une centrale photovoltaïque au sol, il est nécessaire de trouver des investisseurs. Les propriétaires privés ou publics qui mettent à disposition des terrains perçoivent en contrepartie un loyer. Les collectivités territoriales en bénéficient à l'heure actuelle au travers de la taxe professionnelle (et demain au travers de la contribution économique territoriale). A la fin de l'engagement de l'investisseur, il peut être intéressant pour le bailleur de reprendre la centrale et continuer à l'exploiter.

M comme Maintenance

Les centrales photovoltaïques n'ont pas besoin de beaucoup de maintenance, à part du jardinage et l'entretien du site, il y a en moyenne deux contrôles techniques par an. Les coûts, y compris les frais d'assurances et les frais liés aux mesures de sécurité, ne dépassent pas 12 % des recettes annuelles.

TROISIEME PARTIE LES IMPACTS

B comme

Bruits et autres pollutions (pendant le chantier)

Un chantier peut durer plusieurs mois, selon la taille de la centrale photovoltaïque à construire. Pendant la phase de construction, il faut s'attendre à des nuisances telles que les bruits liés aux passages et activités des véhicules de transports, aux travaux de montage et aux engins de construction, ainsi qu'à des vibrations (en cas de pieux de battage). Les travaux de terrassement occasionnent des émissions de poussière diffuse notamment par temps sec. Il faut en outre s'attendre à des gaz d'échappement provenant des engins de construction et véhicules de transport. Ces nuisances sont limitées dans le temps et l'espace et peuvent être évitées par des mesures courantes, comme l'arrosage des voies d'accès et du site.

C comme Champs électriques et magnétiques

Les modules et les câbles de raccordement jusqu'aux onduleurs créent des champs continus (électriques et magnétiques). Les onduleurs et les installations raccordés au réseau de courant alternatif, les câbles entre onduleurs et transformateurs, ainsi que le transformateur lui-même

créent de faibles champs de courant continu (électriques et magnétiques) dans leur environnement, identique aux transformateurs présents en zones d'habitations. Toutefois, à une distance de 10 mètres, les valeurs sont généralement plus faibles que celles de nombreux appareils électroménagers.

C comme Compression de terre

L'accès au terrain peut nécessiter la construction de voies empierrées, en fonction des engins utilisés et de la typologie des sols. Comme sur toutes les voies carrossables non goudronnées, le sol peut se tasser surtout par temps humide. Pour des ancrages au sol avec des pieux battus, il est indispensable d'utiliser une excavatrice de 20 tonnes en raison de la profondeur d'ancrage. Des engins de battage plus petits pourront servir pour des profondeurs d'ancrage plus réduites. Certains trackers à deux axes sont montés sur des socles en béton livrés par des véhicules de transport lourds ; il en est de même pour les constructions modulaires préfabriquées. Parfois, des grues de chantier sont utilisées pour la pose et le montage sur place.

C comme Clôture

Les assureurs exigent généralement la construction d'une clôture d'au moins 2,20 m de haut avec système d'alarme et dispositifs de surveillance. Les clôtures provoquent l'isolation des biotopes et un effet de barrière. Les clôtures doivent être conçues de façon à ne pas constituer une barrière pour les mammifères de petite et moyenne taille (lapins, renards, etc.).

D comme Déplacement de terre

Lors de la réalisation des tranchées pour le passage souterrain des câbles, il faut soulever d'assez grosses quantités de terre. Ces déplacements de terre servent parfois aussi à compenser les différences de relief discontinu.

E comme Eau

(1) Si la nappe phréatique n'est pas impactée suite aux travaux de terrassement, dans le cadre de la pose de câbles, ou à la pose de fondations dans des zones où la nappe est peu profonde, il ne faut pas s'attendre à ce qu'elle subisse non plus des impacts lors du fonctionnement.

(2) L'intensité des précipitations qui atteindra le sol entre et sous les modules variera en fonction

de la force du vent. Cependant, on ne constate pas de difficulté majeure d'infiltration dans le sol des précipitations malgré les imperméabilisations ponctuelles du terrain d'installation et le recouvrement par des modules.

E comme Échauffement des modules

Les fabricants de modules solaires s'efforcent de réduire l'échauffement au minimum car l'élévation de la température réduit le rendement des cellules solaires. En général, les modules chauffent jusqu'à 50°C, et à plein rendement, la surface des modules peut parfois atteindre des températures supérieures à 60 C. Toutefois, contrairement aux installations sur les toits, les installations photovoltaïques au sol bénéficient d'une meilleure ventilation à l'arrière et chauffent donc moins. Les supports en aluminium sont moins sujets à l'échauffement. Ils atteignent des températures d'environ 30 °C dans des conditions normales.

E comme Erosion

L'eau qui s'écoule aux bords des modules peut provoquer une érosion du sol. L'intensité des impacts dépend du type d'installation (pivotante ou non), ainsi que de la hauteur et de la taille

des unités modulaires. L'égouttement d'eau à la bordure des tables modulaires dépend du nombre de modules superposés. En général, les installations se composent d'une à trois rangées. Pour les installations à deux rangées, 1 m courant de bord d'égouttement permet d'écouler environ 3 m₂ de surface de précipitation. En dehors de la force et de la quantité d'eau tombant sur le sol, la nature du sol et l'inclinaison du terrain influencent la formation de rigoles d'érosion. Selon le site, un acheminement de l'eau de pluie vers un système d'infiltration proche du site (de gravier, cuvette, etc.) est envisageable.

F comme Flore

L'évaluation de l'impact de changements d'occupation des sols suite à l'implantation d'installations photovoltaïques dépend des conditions spécifiques au site (état initial) : l'utilisation antérieure du sol, le caractère des biotopes avant l'installation photovoltaïque et la gestion prévue des surfaces d'exploitation après la construction.

(1) Les surfaces à caractère agricole : Suite aux travaux de construction, on peut laisser la

végétation recoloniser naturellement le milieu. La consommation de cette végétation pionnière par des moutons est difficilement envisageable. C'est pourquoi un semis de légumineuses est parfois réalisé pour améliorer l'utilisation comme pâturage. L'ombre projetée par les modules en rangées ou dans les installations pivotantes ne semble pas induire une absence totale de végétation. Le recouvrement du sol par des modules a pour autre effet de le protéger de l'eau de pluie. L'apport naturel d'humidité est en conséquence réduit en dessous des modules, et l'écoulement relativement orienté de l'eau de pluie peut créer en même temps des zones plus humides. Les analyses existantes n'ont fourni jusqu'à présent aucune preuve significative d'une modification durable de la végétation due à ce phénomène (p. ex. surfaces nues suite à la sécheresse sous les modules).

(2) Les sites industriels ou militaires : Ces types de sites peuvent présenter un potentiel de conflit avec l'installation photovoltaïque, en particulier s'il s'agit de surfaces relativement peu imperméabilisées anciennement dédiées à une utilisation militaire qui n'a pas perturbé des biotopes fragiles. Dès la phase de construction,

l'activité du chantier et la réalisation de tranchées pour les câbles risquent d'endommager la couverture végétale antérieure. Le chantier risque d'entraîner une modification durable de la composition végétale. L'utilisation de fondations en béton réduit de manière durable la surface végétale. Le recouvrement de la végétation existante par des modules photovoltaïques risque, sur ce type de terrain et selon la fragilité de la végétation, de faire disparaître la composition végétale initiale en modifiant les conditions lumineuses et hydriques.

I comme Imperméabilisation et recouvrement

Le sol est imperméabilisé par les fondations, ainsi que par la construction de bâtiments d'exploitation et d'aménagements (avec la construction éventuelle de voies d'accès, places de parking autour du site). Il faut en général compter un taux d'imperméabilisation inférieur à 5 % de la surface totale d'une installation photovoltaïque. Dans le cas d'une fondation sur pieux, le taux d'imperméabilisation est inférieur à 2 % et est déterminé presque exclusivement par la surface au sol des abris des transformateurs. Même dans le cas d'une fondation « flottante » (en béton), le taux

d'imperméabilisation (bâtiment d'exploitation compris) reste inférieur à 5 %.

La surface recouverte est la projection de la surface modulaire sur le plan horizontal. Pour une installation fixe en rangées, la proportion de surface recouverte représente environ 33 % de la surface totale du terrain. Pour des installations pivotantes, il n'y a pas de surface recouverte au sens propre du terme, puisqu'elle varie. Le recouvrement du sol provoque de l'ombre et peut provoquer l'assèchement superficiel du sol par la réduction des précipitations sous les modules.

I comme Insectes

(1) Une gestion extensive de la centrale photovoltaïque peut représenter une nette amélioration de vie pour la majorité des espèces concernées, en particulier dans les paysages initialement fermés. (2) Par ailleurs, dans le cas d'installation sur des surfaces de conversion militaires avec une végétation pelouse sèche, les conditions abiotiques prédominantes peuvent changer considérablement en raison de l'ombre provoquée par les panneaux. Les conditions de vie changeraient pour les espèces aimant la chaleur et la sécheresse, comme par exemple les sauterelles. Il

pourrait se produire une modification de l'utilisation de l'espace par les espèces, avec une distinction entre les zones ensoleillées et ombragées. L'ampleur possible de telles détériorations ne peut être déterminée qu'au cas par cas, selon l'espèce animale et le site du projet (structure de l'habitat, pollution antérieure, ombrage existantes). (3) Certains insectes aquatiques volants se guident principalement grâce à la lumière polarisée pour chercher de nouveaux plans d'eau. Il n'est donc pas à exclure que ces insectes soient également attirés par des modules photovoltaïques.

M comme Mammifères

Les surfaces d'installations où les modules sont peu denses offrent un environnement attrayant pour les petits mammifères grâce aux zones protégées de la pluie. Des observations révèlent qu'en raison des effets liés au chantier (bruits, odeurs, pollutions lumineuses nocturnes ou présence humaine), des mammifères de grande et moyenne taille évitent les installations photovoltaïques au sol pendant la phase de construction. La clôture du terrain empêche surtout des mammifères plus gros (par exemple sangliers,

chevreuils, cerfs) de pénétrer dans la zone. En plus, les axes de liaison et corridors de passage traditionnellement empruntés risquent d'être interrompus (effet de barrière).

O comme Ombrage

Les surfaces situées en dessous des modules fixes sont ombragées toute l'année. Elles reçoivent toutefois de la lumière diffuse en raison de la hauteur minimale des modules (généralement respectée) d'environ 0,80 m au-dessus du sol. Les surfaces entre les rangées de modules sont ombragées surtout quand le soleil est bas. Dans le cas des installations pivotantes, il y a peu de surfaces ombragées en permanence.

O comme Oiseaux

(1) Effet positifs : Des études ornithologiques menées au sein de sites de centrales solaires en Allemagne ont révélé que de nombreuses espèces d'oiseaux peuvent utiliser les zones entre les modules et les bordures d'installations photovoltaïques au sol comme terrains de chasse, d'alimentation ou de nidification. Certaines espèces comme le rouge-queue noir, la bergeronnette grise et la grive litorne nichent sur

les supports d'assises, tandis que d'autres espèces comme l'alouette des champs ou la perdrix ont pu être observées en train de couvrir sur des surfaces libres entre les modules. En dehors des espèces nicheuses, ce sont surtout des oiseaux chanteurs provenant de bosquets voisins qui cherchent leur nourriture dans les surfaces des installations. En automne et en hiver, des colonies plus nombreuses d'oiseaux chanteurs (linottes mélodieuses, moineaux, bruants jaunes, entre autres) élisent domicile sur ces surfaces. Les zones non enneigées sous les modules sont privilégiées en hiver comme réserves de nourriture. Des espèces comme la buse variable ou le faucon crécerelle ont été observées en train de chasser à l'intérieur d'installation. Les modules photovoltaïques ne constituent pas des obstacles pour les rapaces. Les modules solaires eux-mêmes servent souvent de poste d'affût ou d'observation pour les oiseaux. Les mouvements des modules sur des installations pivotantes ne provoquent pas un envol soudain des oiseaux. Il n'y a aucun indice de perturbation des oiseaux par des miroitements. (2) Effets négatifs : On entend souvent dire que des oiseaux aquatiques ou limicoles pourraient

prendre les modules solaires pour des surfaces aquatiques en raison des reflets (spectre lumineux modifié et polarisation) et essayer de s'y poser. Les chaussées ou parkings mouillés donnent lieu à un phénomène similaire. Pour des espèces comme les plongeurs, cela poserait un problème car ils peuvent difficilement prendre leur envol depuis le sol. L'examen d'une installation photovoltaïque au sol de grande envergure, à proximité immédiate du canal Main-Danube et d'un immense bassin de retenue occupé presque toute l'année par des oiseaux aquatiques, n'a toutefois révélé aucun indice d'un tel risque de confusion. On a pu observer des oiseaux aquatiques tels que le canard colvert, le harle bièvre, le héron cendré, la mouette rieuse ou le cormoran en train de survoler l'installation photovoltaïque. Aucun changement dans la direction de vol (contournement, attraction) n'a été observé.

P comme Patrimoine culturel

En ce qui concerne le patrimoine culturel à protéger, on considérera les paysages culturels historiques et les éléments de patrimoine architectural ou culturel (certaines villes et localités, monuments architecturaux et sites naturels

protégés). Le périmètre protégé est de 500 m et au-delà, il y a à évaluer le risque de co-visibilité. La bonne sélection du site s'engage à ce que l'impact négatif sur l'environnement sera minimisé.

P comme Paysage

Les installations sont généralement bien visibles, bien que la visibilité d'une installation photovoltaïque au sol dépende de plusieurs facteurs comme les alentours du site ou la couleur des éléments. En l'absence de mesures de camouflage, il existera toujours un effet dominant à proximité de l'installation. L'installation attire déjà l'attention en raison de sa taille et de ses particularités techniques re-connaissables. Plus l'éloignement augmente, plus les éléments individuels ou les rangées d'une installation fusionnent et deviennent indiscernables. L'installation prend alors la forme d'une surface plus ou moins homogène qui se détache nettement de l'environnement. La dissimulation de l'installation dépend du relief ou de la présence d'éléments du paysage spécifiques. En principe, un choix approprié du site permet d'éviter d'éventuels impacts négatifs sur la fonction de repos, mais aussi sur les zones d'habitation.

P comme Pollutions chimiques

Les structures de supports peuvent dégager dans certaines conditions des quantités minimales de substances dans l'environnement. L'acier utilisé pour le montage des modules a un revêtement zingué anticorrosion. Par temps de pluie, le contact de l'acier zingué avec l'eau peut entraîner un lessivage des ions de zinc.

R comme Reflets et Miroitements

Tout phénomène de réflexion pénalise la performance de l'installation. Les verres de haute qualité ne réfléchissent que 8 % de la lumière. Les couches antireflets peuvent ramener la réflexion en dessous de 5 %. Par ailleurs, quand le soleil est bas (angle d'incidence inférieur à 40°), les réflexions augmentent et, avec une incidence de 2°, la réflexion des rayons du soleil est totale. Le miroitement concerne également les éléments de construction (cadres, assises métalliques). Ces éléments n'étant pas orientés systématiquement vers la lumière, des réflexions sont possibles dans tout l'environnement. Les éléments du paysage et de l'habitat se reflètent sur les surfaces réfléchissantes, par exemple simulant un biotope pour des oiseaux

les incitant à s'approcher en volant. Les modules en Silicium poli cristallin (Si) fréquemment utilisés n'ont qu'une très faible capacité de réflexion. Les modules à couche mince peuvent, dans certaines conditions lumineuses, présenter un fort potentiel de réflexion à cause des surfaces en verre généralement lisses et de leur couleur foncée.

V comme Vue et Perception Visuelle

Le montage d'une centrale photovoltaïque respecte des modèles géométriques stricts, et forme des points ou des lignes selon le type d'installation. La hauteur maximale des modules d'une installation varie entre 3 m pour les installations fixes à 6 m pour les centrales équipées de panneaux pivotants (trackers). Les modules d'une installation photovoltaïque au sol sont en général souvent concentrés sur la surface disponible afin de minimiser les frais de câblage et les pertes dans le transport de l'électricité. La visibilité est donc en général forte.

QUATRIÈME PARTIE MESURES DE SUPPRESSION OU DE REDUCTION DES IMPACTS NEGATIFS

(1) Lors du développement du projet

Par le choix responsable du site au regard de la protection de la nature, modification nécessaire du terrain, impact visuel, proximités du réseau électrique pour le raccordement de la centrale, etc. Mais aussi par le respect de distances d'éloignement par rapport à des biotopes naturels et des éléments sensibles, comme les zones humides, les petits cours d'eau, mais aussi des bâtiments classés.

(2) Lors de la construction

(i) En s'assurant que le constructeur prévoit la mise en place d'un programme de gestion des déchets et de recyclage des matériaux. En effet, on peut s'attendre à la production de déchets, par exemple suite à d'éventuels dégâts lors de la phase de montage. À l'heure actuelle, les installations solaires ne sont pas concernées par la Directive européenne sur les déchets électroniques. (Cf. *C comme Cadmium*).

(ii) par la limitation des effets de l'activité due au chantier avec le choix de saisons moins sensibles aux impacts négatifs et par exemple en évitant de faire les travaux de construction en cas d'humidité persistante.

(iii) en évitant de faire des terrassements du terrain, ainsi que des nivellements de surface importants, et en favorisant l'élimination méticuleuse des résidus de chantier (matériaux de construction, consommables, etc.), et avec la mise en place d'un programme de gestion des déchets.

(iv) par la mise en place d'une couche fermée de végétation immédiatement après la fin des travaux qui réduira les risques d'érosion importante du sol par le vent ou l'eau.

(v) en évitant l'imperméabilisation du sol dans la mesure du possible et minimisant les aires de fondation.

(vi) grâce à la création de voies de passages pour les mammifères de taille moyenne dans la clôture.

(vii) en dissimulant la centrale par la plantation de végétaux de grande taille.

(3) A la fin de l'exploitation

(i) Avant même le stade de la construction, il faut songer aux modes de fixation qui seront employés pour monter la centrale et opter pour des systèmes légers d'ancrage. En effet, à la fin de la phase d'exploitation de la centrale, il faut

s'attendre à des travaux de génie civil assez importants liés au démantèlement de la centrale et donc au démontage de ses composants : structures d'ancrage et de support, des socles en béton (s'il y en a), des locaux techniques, des abris des transformateurs. Il faut également s'attendre à devoir ouvrir des tranchées afin de retirer les câbles de la terre et faire des travaux pour la remise en état des routes d'accès.

(ii) Dès l'initialisation du projet, il faut s'assurer des possibilités de recyclage par les fabricants de tous les matériaux qui composent la centrale. Actuellement, des systèmes de reprise volontaire sont mises en place (pvcycle.org). Dans une installation-pilote à Freiberg/Saxe, des possibilités de recyclage des cellules en silicium cristallin sont mises à l'essai depuis 2004 : Les matières plastiques contenues dans le module y sont brûlées à des températures atteignant 600 C. Les résidus, à savoir du verre, du métal et des matériaux de remplissage, sont recyclés. Ils passent par plusieurs stades de nettoyage et peuvent être transformés à nouveau en modules solaires. Les fabricants des couches minces ont également développé une procédure de recyclage pour leur technologie.