



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Solaire photovoltaïque & biodiversité



Un enjeu

Réduire l'empreinte environnementale des activités humaines, dont des EnR

Transition énergétique



Préservation / reconquête de la biodiversité



Objectifs

Neutralité Carbone
Souveraineté énergétique

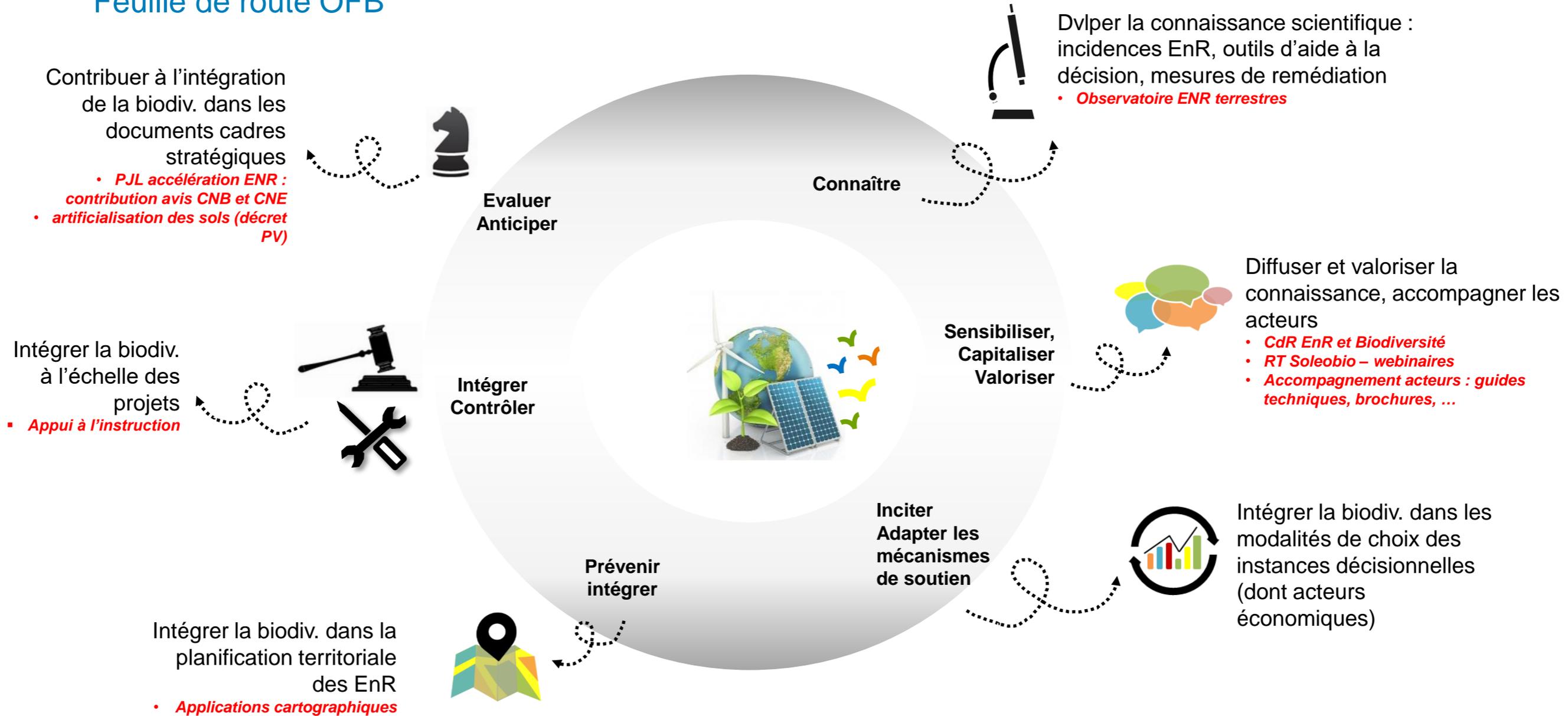
concilier

Zéro perte nette de biodiversité

Zéro artificialisation nette

Un enjeu

Feuille de route OFB



Sommaire

- *Incidences du solaire photovoltaïque sur la biodiversité*



➤ *Synthèse de la littérature scientifique*



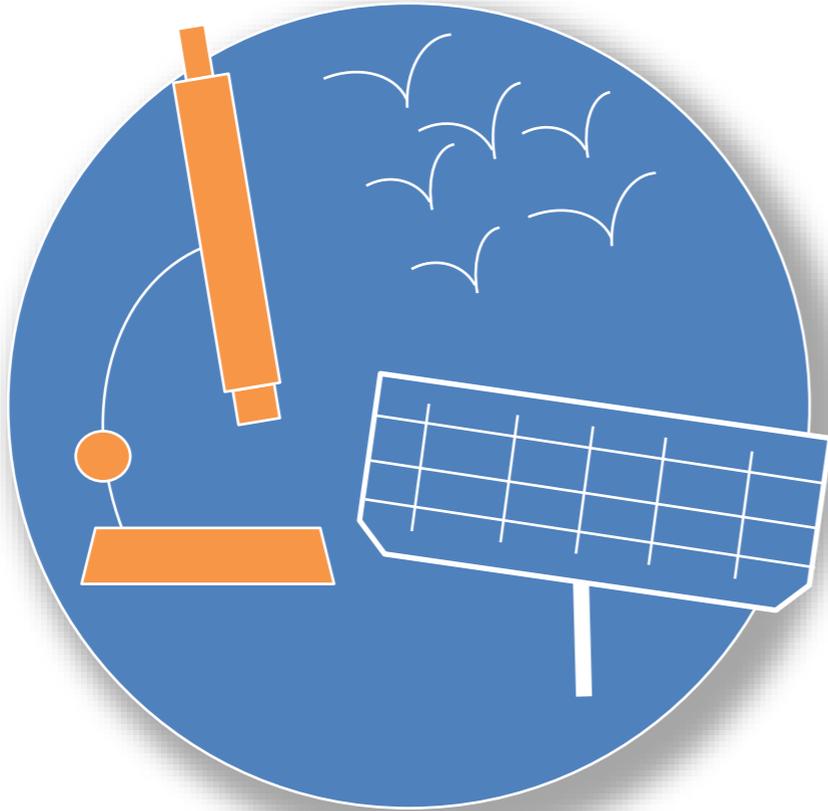
- *Points de vigilance, pistes de solutions*



➤ *Conception*
➤ *Exploitation*



Synthèse de la littérature scientifique



Contributions :

- G. MARX (LPO)
- B. SCHATZ (Cnrs – CEFE Montpellier)
- R. GROS (Aix-Marseille Université, IMBE)



Evaluation pressions & incidences du PV sur la biodiversité

dépendent :

1. de l'état initial du site
2. des modalités de conception du parc
3. de la pertinence des mesures d'évitement, de réduction et de compensation (ERC) envisagées lors des phases
 1. de chantier
 2. d'exploitation
 3. de démantèlement
4. des effets cumulés potentiels avec d'autres activités anthropiques

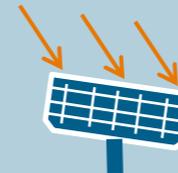




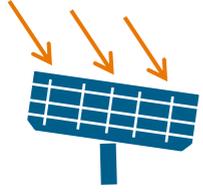
Evaluation pressions & incidences du PV sur la biodiversité

dépendent :

1. de l'état initial du site
2. des modalités de conception du parc
3. de la pertinence des mesures d'évitement, de réduction et de compensation (ERC) envisagées lors des phases
 1. de chantier
 2. d'exploitation
 3. de démantèlement
4. des effets cumulés potentiels avec d'autres activités anthropiques



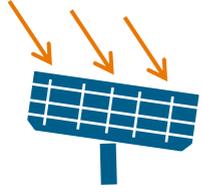
Re-contextualisation nécessaire des résultats de la littérature scientifique au cas par cas



Incidences sur la biodiversité

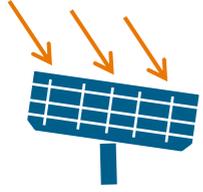


Pâturage au sein des centrales photovoltaïques pour l'entretien d'une végétation rase. (Crédit: Eco-Med)



Incidences sur la biodiversité





Incidences sur la biodiversité



En résumé

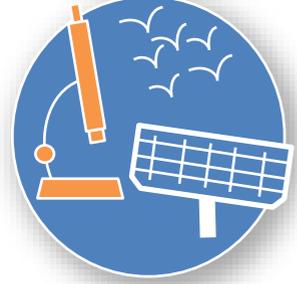
- ✓ Modifications notables des composantes physiques, biogéochimiques et biologiques des milieux naturels
- ✓ Modification des cortèges d'espèces végétales et animales – création de conditions
 - ☐ **favorables** pour les sp. pionnières ou rudérales
 - ☐ **défavorables** au maintien de nombreuses autres sp. par atteintes directes ou indirectes aux habitats, plants ou individus d'espèces

En résumé

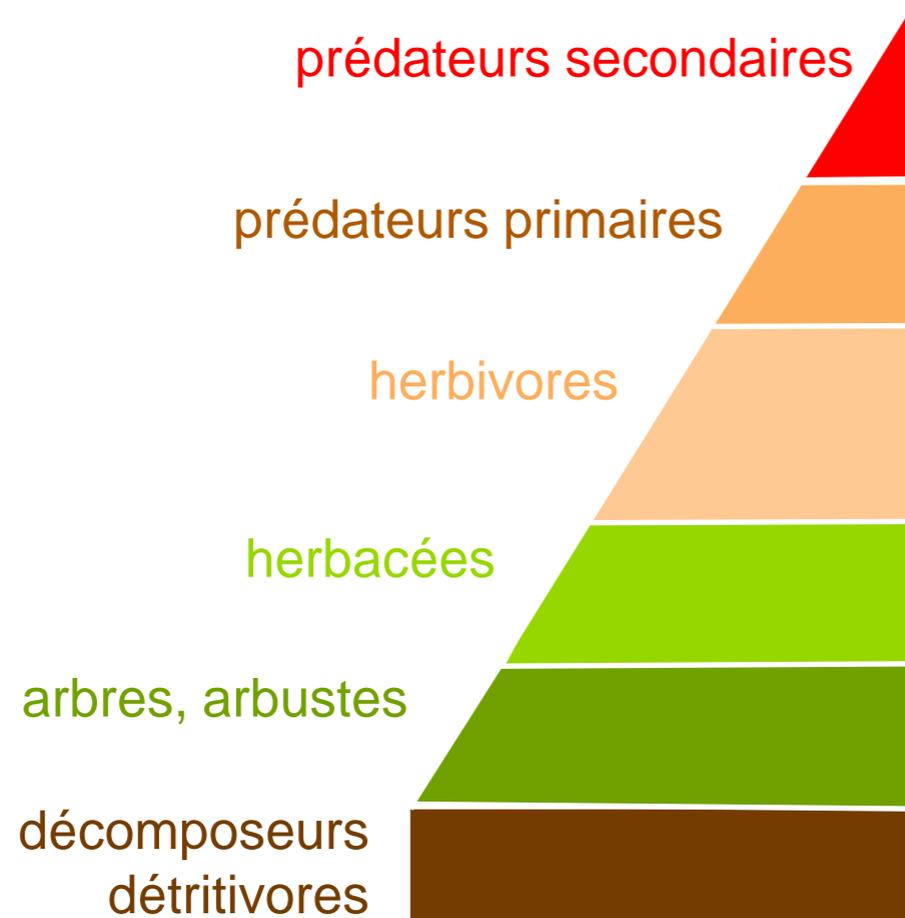
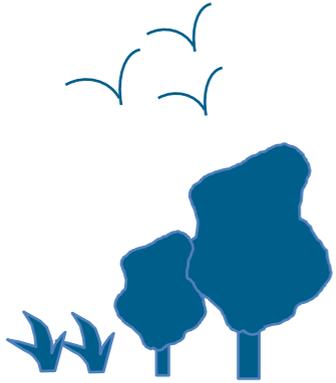
- ✓ Modifications notables des composantes physiques, biogéochimiques et biologiques des milieux naturels
- ✓ Modification des cortèges d'espèces végétales et animales – création de conditions
 - ☐ **favorables** pour les sp. pionnières ou rudérales
 - ☐ **défavorables** au maintien de nombreuses autres sp. par atteintes directes ou indirectes aux habitats, plants ou individus d'espèces



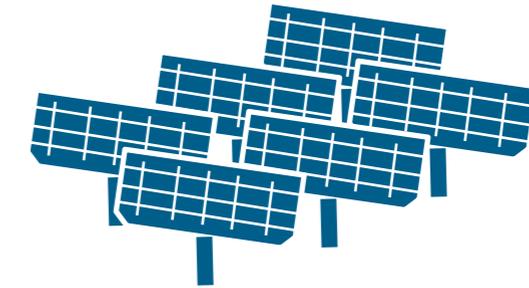
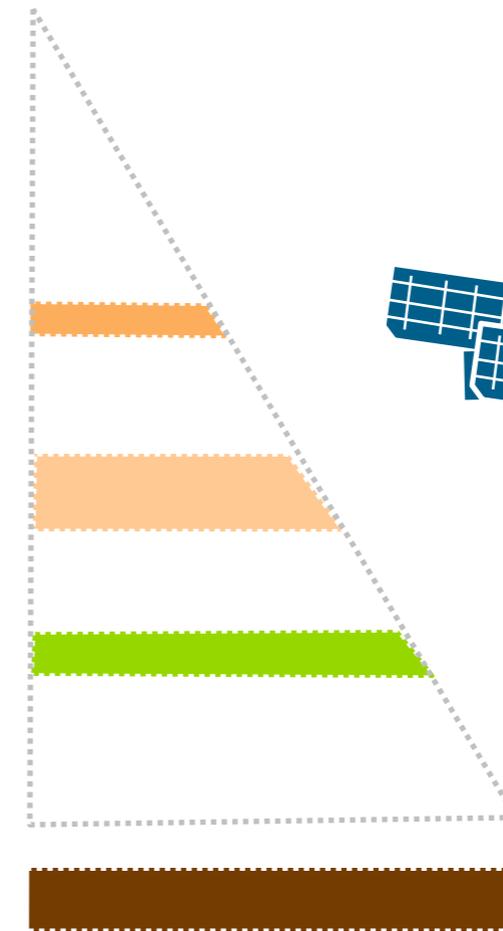
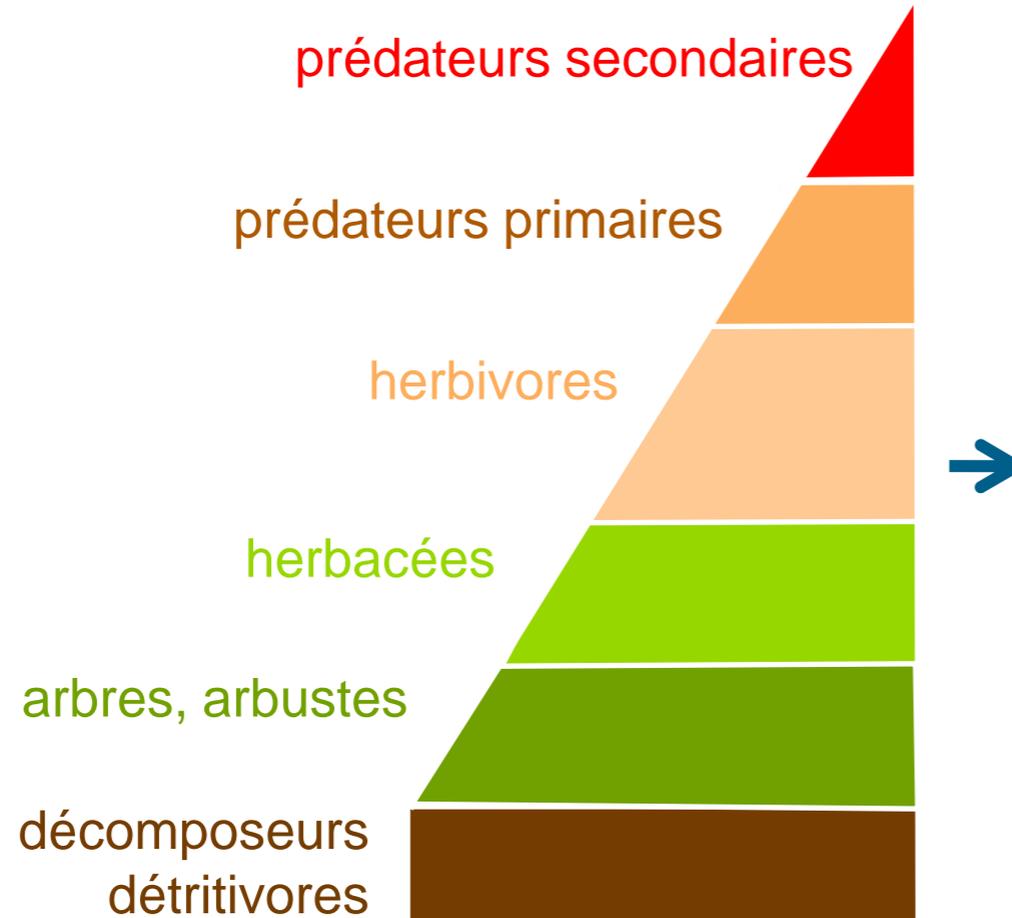
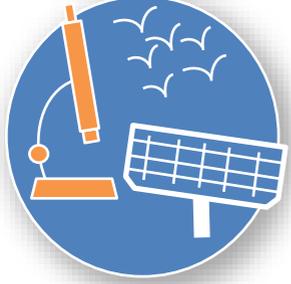
- **Fonctions écologiques**
 - ✓ Physique : modif. potentielle de processus physiques
 - ✓ Hydro-climatique : modif. potentielle de cycles biogéochimiques (carbone, azote)
 - ✓ Biologiques : dégradation voire interruption corridors écologiques, cycles biologiques & interactions inter- et intra-spécifiques
- **Services écosystémiques**
 - ✓ Régulation : risques de destruction / altération puits de Carbone, émission GES, érosion sols, altération pollinisation, ...
 - ✓ Approvisionnement : altération du secteur économique lié à l'exploitation forestière, production de fourrage, ...
 - ✓ Bénéfices non matériels : altération paysagère, potentiel récréatif, ...



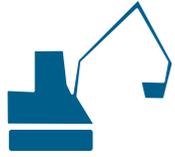
En résumé



En résumé



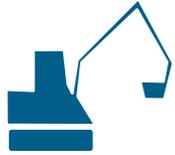
*Nature, ampleur,
intensité et pérennité
des incidences
**variables au cas par
cas***



Pressions

- Défrichements
- *Sondages archéologiques*
- *Terrassements, aplanissement*
- Accès, plateformes techniques (locaux, onduleurs, ...), bases vie
- Raccordement au réseau électrique





Pressions

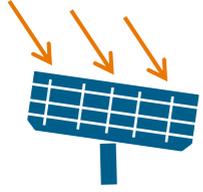
- Défrichements
- *Sondages archéologiques*
- *Terrassements, aplanissement*
- Accès, plateformes techniques (locaux, onduleurs, ...), bases vie
- Raccordement au réseau électrique



Incidences

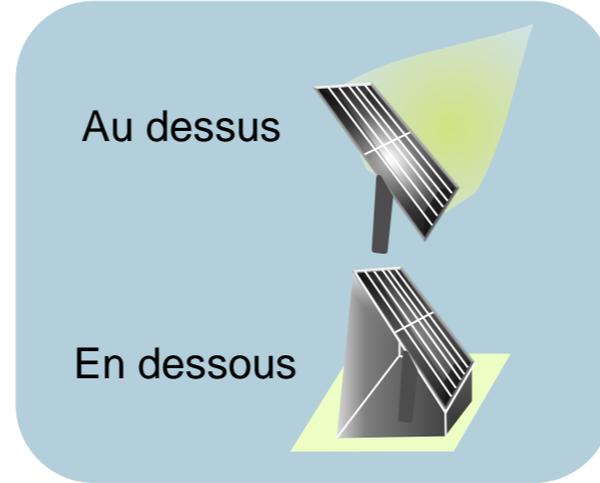
- ✓ Modification de la composition et de la structure des sols (couverture, tassement, imperméabilisation partielle)
- ✓ Pollutions
- ✓ Destruction de milieux naturels et donc d'habitats d'espèces
- ✓ Dérangement de la faune, ...





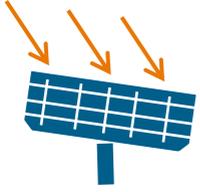
Pressions

- Panneaux
- Clôtures
- Gestion de la végétation (débroussaillage, pâturage)
- Fossés d'enterrement des câbles électriques
- Plateformes techniques
- Voies d'accès et pistes de circulation des engins au sein des parcs
- Bandes OLD



@OFB

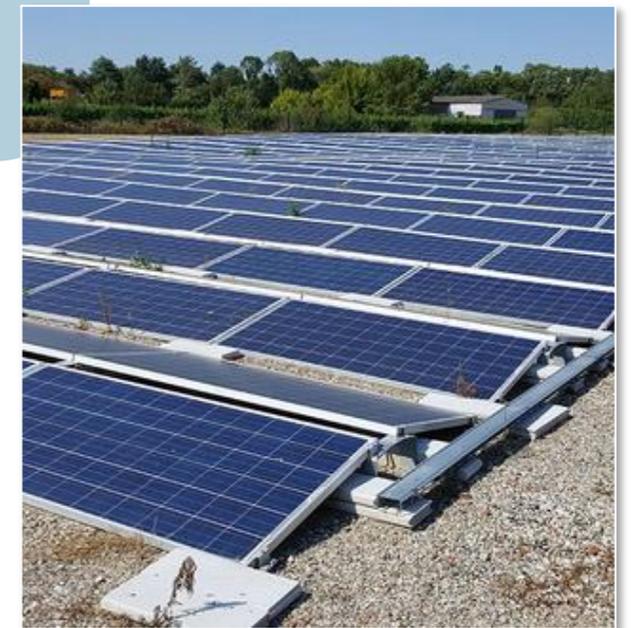
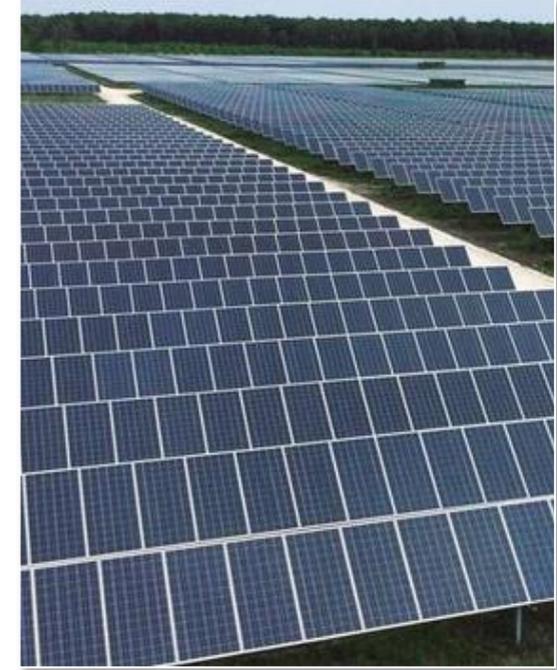


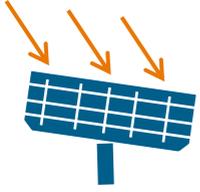


Incidences sur les composantes physiques

- Ensemble du parc ✓ Sol

- recouvrement de la surface
- suppression de la rugosité (**surface lisse, assimilable à un miroir d'eau**)
- changement d'affectation d'usage
- compaction, tassement, nivellement, déstructuration des horizons pédologiques, imperméabilisation partielle**
- apport de substrats exogènes (voies d'accès)*

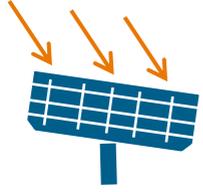




Incidences sur les composantes physiques

- Ensemble du parc
 - ✓ Sol
 - recouvrement de la surface
 - suppression de la rugosité (**surface lisse, assimilable à un miroir d'eau**)
 - changement d'affectation d'usage
 - compaction, tassement, nivellement, déstructuration des horizons pédologiques, imperméabilisation partielle**
 - apport de substrats exogènes (voies d'accès)*
 - ✓ Eau
 - modif. des modalités de circulation de l'eau (écoulements superficiels *et sub-surfaciques*)
 - consommation d'eau (nettoyage)*

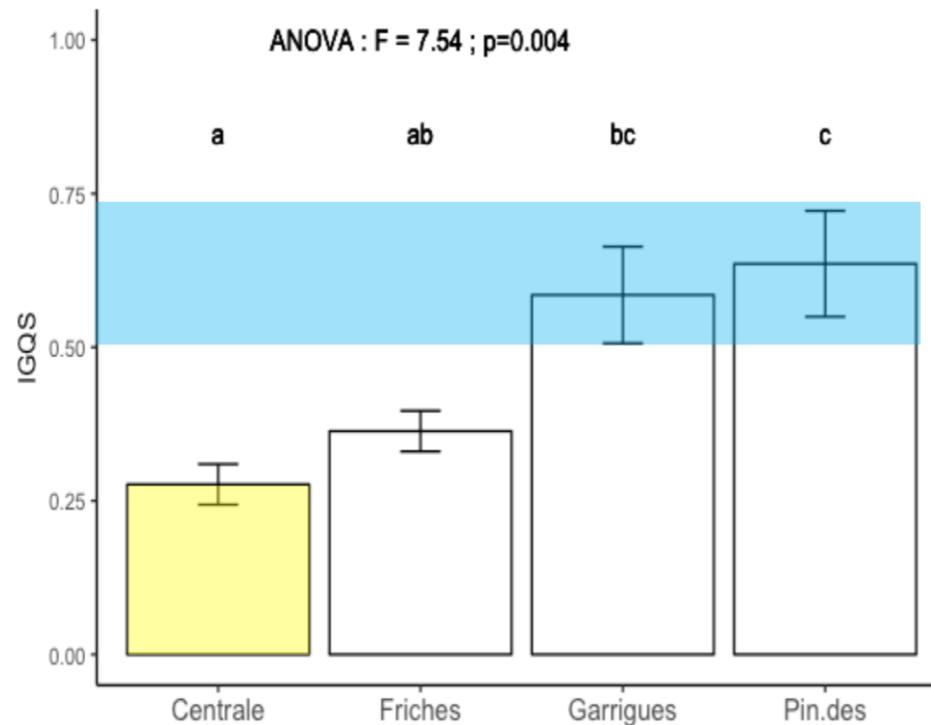




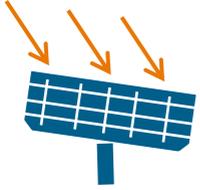
Incidences sur les composantes physiques

- Ensemble du parc

Indice global de qualité des sols
(27 variables physico-chimiques)

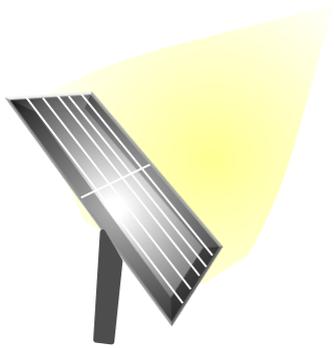


Ex. du parc PV de Roquefort des Corbières - climat méditerranéen



Incidences sur les composantes physiques

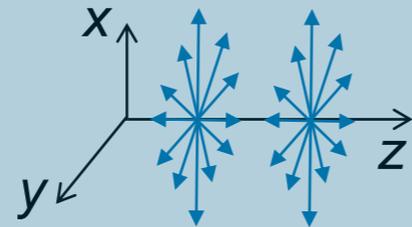
- Au dessus des panneaux



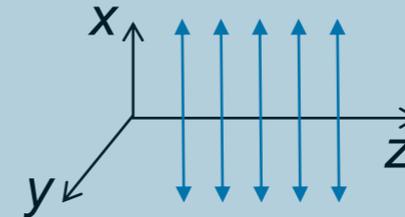
- ✓ Création d'un microclimat

- modification albedo*
- modification dynamique des flux énergétiques
- diminution évapotranspiration & création d'îlots de chaleur

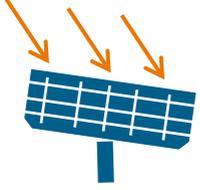
- ✓ Polarisation de la lumière



lumière non polarisée



lumière polarisée verticalement

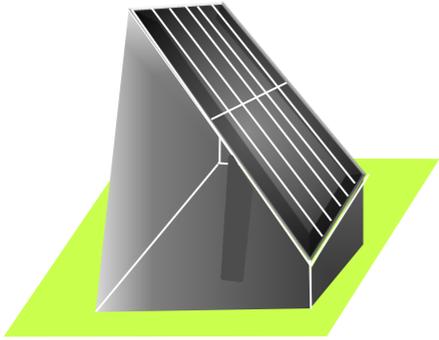


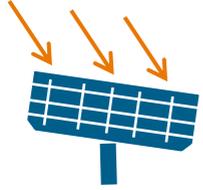
Incidences sur les composantes physiques

- Sous les panneaux

✓ Création d'un microclimat

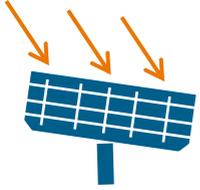
- baisse de la luminosité (ombre portée)
- baisse des températures au printemps & en été (sol & air)
- augmentation de l'hydrométrie du sol





Incidences sur les composantes biogéochimiques

- Ensemble du parc
 - ✓ Modification des **cycles biogéochimiques** (Carbone, Azote) *
 - Modification de la capacité de séquestration de Carbone
 - Risque d'émission de GES
 - ✓ *Contamination chimique du sol*
 - ✓ *Acidification du sol*

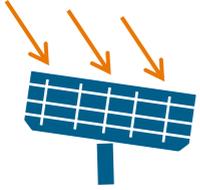


Incidences sur les composantes biologiques



✓ Réduction biomasse végétale

- forte diminution biomasse aérienne
- altération de la production de nectar

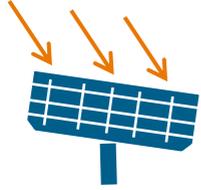


Incidences sur les composantes biologiques



- ✓ Réduction biomasse végétale
 - forte diminution biomasse aérienne
 - altération de la production de nectar

- ✓ Modification des cortèges phyto-sociologiques - Exemples :
 - dvlpt sp. inféodées aux milieux ombragés (sciaphiles)
 - dvlpt sp. pionnières, rudérales (spécifiques des jachères), EEE
 - dvlpt graminées (poaceae), mais disparition légumineuses (fabaceae - plantes à fleur)

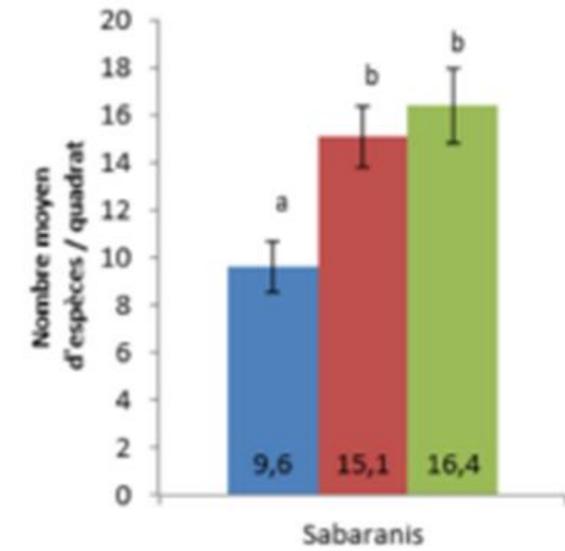
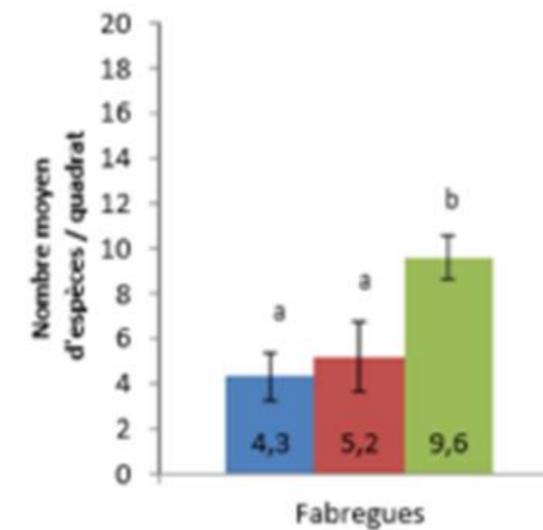
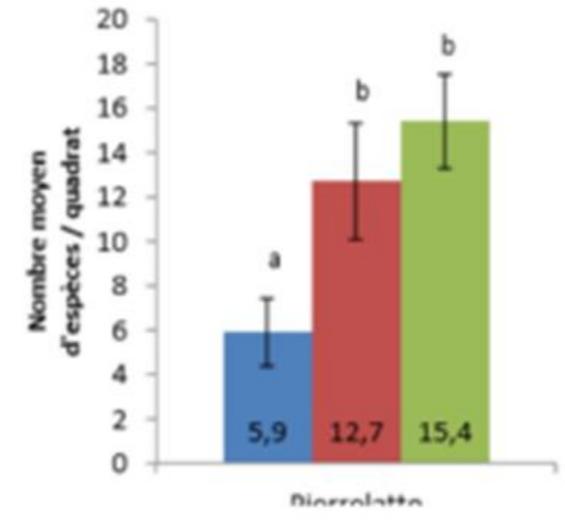
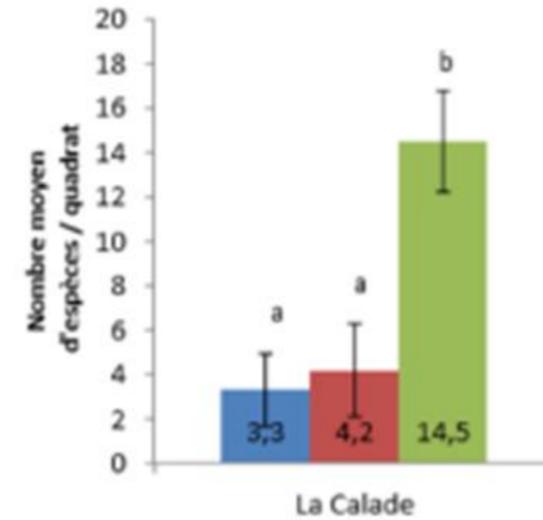


Incidences sur les composantes biologiques

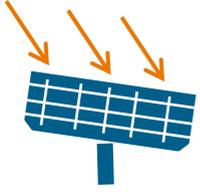


*Richesse floristique moyenne par
quadras au sein de 4 parcs PV*

Climat méditerranéen

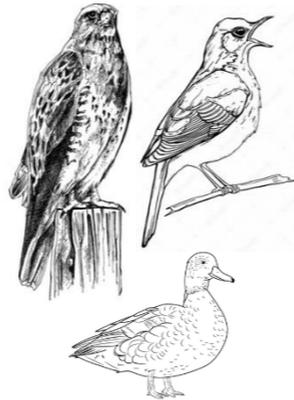
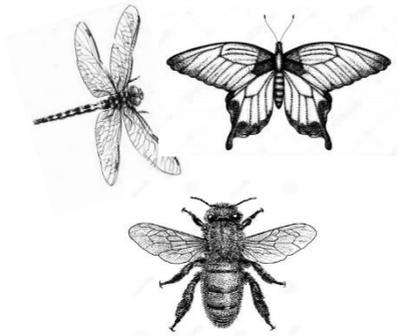


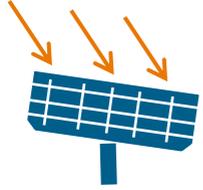
■ Sous panneaux ■ Entre panneaux ■ Extérieur du parc



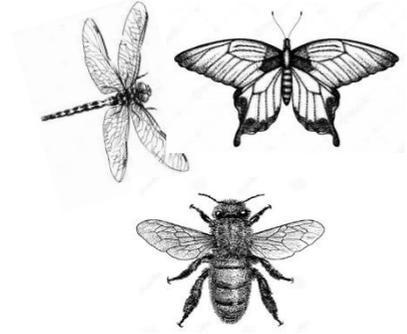
Incidences sur les composantes biologiques

- Faune
 - ✓ Modification des conditions d'habitats – voire perte d'habitats pour de nombreuses espèces
 - ✓ Fragmentation des milieux naturels – voire interruption de corridors écologiques
 - ✓ Piège sensoriel





Incidences sur les composantes biologiques



✓ Modification des cortèges d'espèces

Création de conditions **favorables** aux espèces inféodées aux milieux « ouverts »

Sources :

Horvath et al. 2009

Horvath et al. 2010

Lovitch et Ennen, 2011

Arnold et Chittka, 2012

Blaho et al., 2012

Polatto, Chaud-Netto et

Alves-Junior, 2014

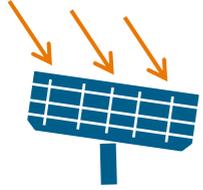
Hernandez et al. 2014

Sarracanie et al., 2012

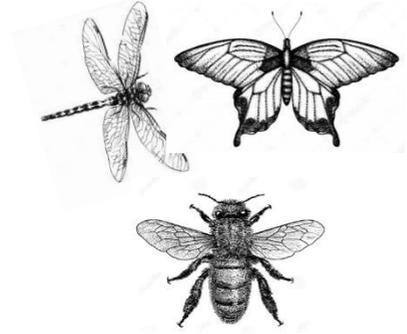
Guiller et al. 2017

Vellot et al., 2020

Black et Robertson, 2020



Incidences sur les composantes biologiques



✓ Modification des cortèges d'espèces

Création de conditions **favorables** aux espèces inféodées aux milieux « ouverts »

Création de conditions **défavorables** aux espèces sensibles :

- à la fragmentation des milieux naturels
- au microclimat (ombrage, température) ou à la composition et à la structure de la végétation
Exemples :
 - sp. thermo-sensibles
 - sp. sensibles à la production du nectar
 - sp. inféodées aux milieux forestiers, de lisières, humides ...
 - sp. inféodées à certaines plantes en particulier
- à la lumière polarisée

Sources :

Horvath et al. 2009

Horvath et al. 2010

Lovitch et Ennen, 2011

Arnold et Chittka, 2012

Blaho et al., 2012

Polatto, Chaud-Netto et

Alves-Junior, 2014

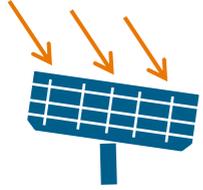
Hernandez et al. 2014

Sarracanie et al., 2012

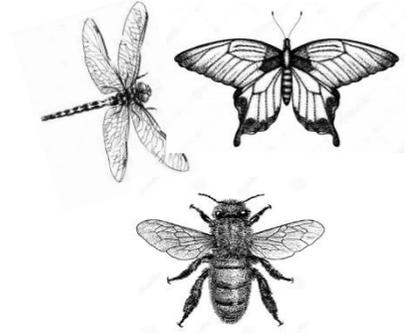
Guiller et al. 2017

Vellot et al., 2020

Black et Robertson, 2020



Incidences sur les composantes biologiques



✓ Modification des cortèges d'espèces

Création de conditions **favorables** aux espèces inféodées aux milieux « ouverts »

Création de conditions **défavorables** aux espèces sensibles :

- à la fragmentation des milieux naturels
- au microclimat (ombrage, température) ou à la composition et à la structure de la végétation
Exemples :
 - sp. thermo-sensibles
 - sp. sensibles à la production du nectar
 - sp. inféodées aux milieux forestiers, de lisières, humides ...
 - sp. inféodées à certaines plantes en particulier
- à la lumière polarisée

Diminution voire disparition des populations d'sp. à faible capacité de dispersion et de résilience

Sources :

Horvath et al. 2009

Horvath et al. 2010

Lovitch et Ennen, 2011

Arnold et Chittka, 2012

Blaho et al., 2012

Polatto, Chaud-Netto et

Alves-Junior, 2014

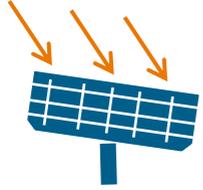
Hernandez et al. 2014

Sarracanie et al., 2012

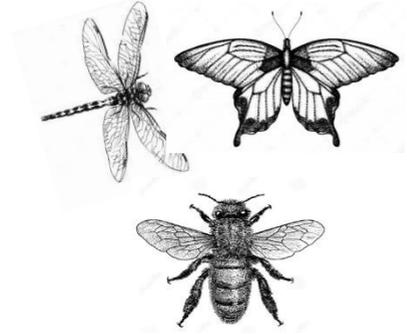
Guiller et al. 2017

Vellot et al., 2020

Black et Robertson, 2020



Incidences sur les composantes biologiques



✓ Modification des cortèges d'espèces

Création de conditions **favorables** aux espèces inféodées aux milieux « ouverts »

Création de conditions **défavorables** aux espèces sensibles

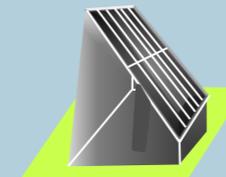
▪ à la fragmentation des milieux naturels

▪ au microclimat (ombrage, température) ou à la composition et à la structure de la végétation
Exemples :

- sp. thermo-sensibles
- sp. sensibles à la production du nectar
- sp. inféodées aux milieux forestiers, de lisières, humides ...
- sp. inféodées à certaines plantes en particulier

▪ à la lumière polarisée

Diminution voire disparition des populations d'sp. par aversion et/ou perte d'habitats – ex. :



- orthoptères**
- papillons de jour (lépidoptères rhopalocères),**
- insectes pollinisateurs**

Sources :

Horvath et al. 2009

Horvath et al. 2010

Lovitch et Ennen, 2011

Arnold et Chittka, 2012

Blaho et al., 2012

Polatto, Chaud-Netto et

Alves-Junior, 2014

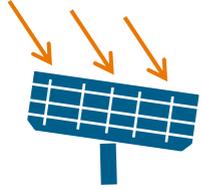
Hernandez et al. 2014

Sarracanie et al., 2012

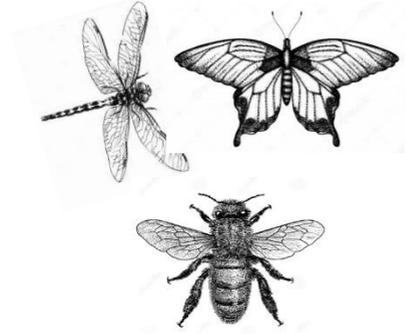
Guiller et al. 2017

Vellot et al., 2020

Black et Robertson, 2020



Incidences sur les composantes biologiques



✓ Modification des cortèges d'espèces

Création de conditions **favorables** aux espèces inféodées aux milieux « ouverts »

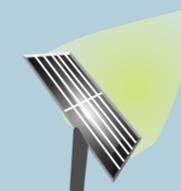
Création de conditions **défavorables** aux espèces sensibles

- à la fragmentation des milieux naturels
 - au microclimat (ombrage, température) ou à la composition et à la structure de la végétation
- Exemples :
- sp. thermo-sensibles
 - sp. sensibles à la production du nectar
 - sp. inféodées aux milieux forestiers, de lisières, humides ...
 - sp. inféodées à certaines plantes en particulier

à la lumière polarisée

Risque d'atteinte à la dynamique des pop. d'sp. par attraction et mortalité (piège sensoriel)

espèces « **polarotactiques** » dont insectes aquatiques, odonates (**libellules**)



Sources :

Horvath et al. 2009

Horvath et al. 2010

Lovitch et Ennen, 2011

Arnold et Chittka, 2012

Blaho et al., 2012

Polatto, Chaud-Netto et

Alves-Junior, 2014

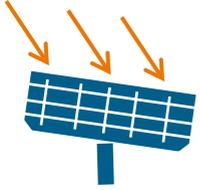
Hernandez et al. 2014

Sarracanie et al., 2012

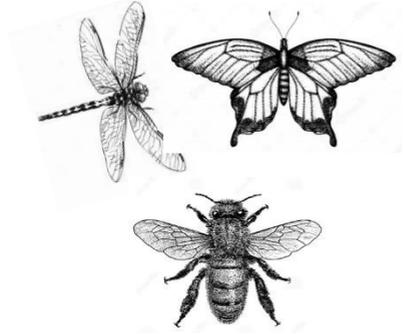
Guiller et al. 2017

Vellot et al., 2020

Black et Robertson, 2020



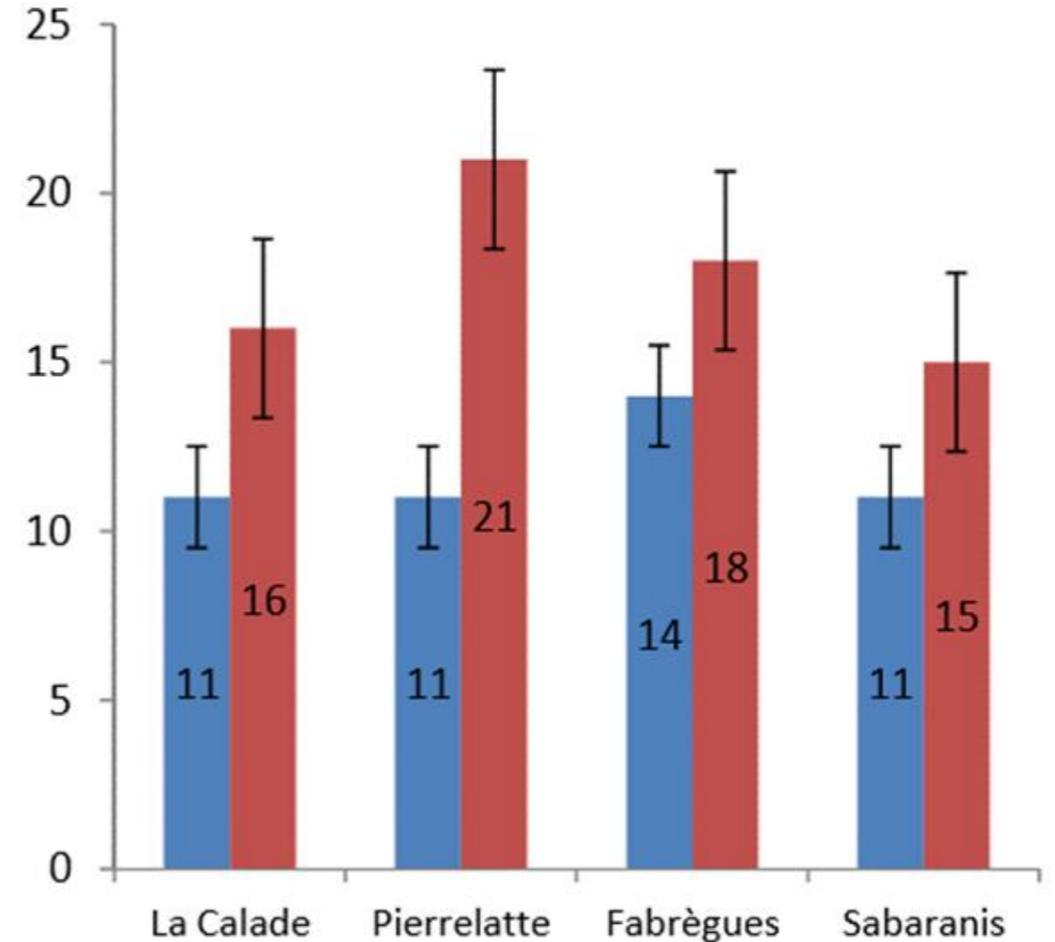
Incidences sur les composantes biologiques



✓ Modification des cortèges d'espèces

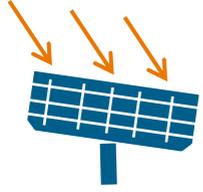
*Nombre d'espèces de papillons rhopalocères
contactés au sein de 4 parcs PV*

Climat méditerranéen

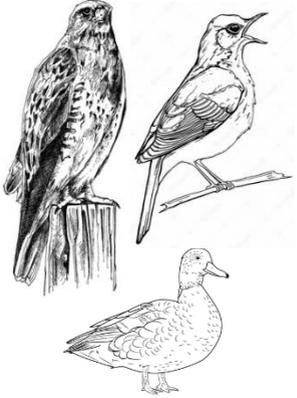


■ Nombre d'espèces rencontrées à l'intérieur du parc

■ Nombre d'espèces rencontrées à l'extérieur du parc



Incidences sur les composantes biologiques



- ✓ Diminution de la richesse et de la densité en sp. au sein des parcs*

❑ Perte d'habitats

- Homogénéisation
- Destruction des lisières ou milieux forestiers
- Comportement d'aversion*
 - ? *dérangement des individus*
 - ? *évitement de la structure hors-sol*
 - ? *modification / diminution des ressources alimentaires*

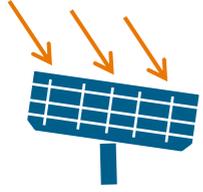
*Sources :

R.R. Hernandez et al. 2014

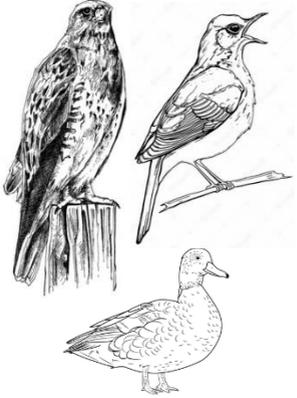
Devault et al., 2014

Smith et Dwyer, 2016

Elke Visser et al., 2019



Incidences sur les composantes biologiques



- ✓ Diminution de la richesse et de la densité en sp. au sein des parcs*

Perte d'habitats

- Homogénéisation
- Destruction des lisières ou milieux forestiers
- Comportement d'aversion*
 - ? dérangement des individus
 - ? évitement de la structure hors-sol
 - ? modification / diminution des ressources alimentaires

*Sources :

R.R. Hernandez et al. 2014
Devault et al., 2014
Smith et Dwyer, 2016
Elke Visser et al., 2019

- ✓ Attrait et piège sensoriel éventuel (mortalité)**

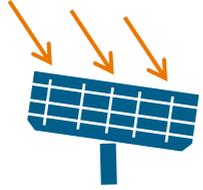
**Sources :

Horvath et al. 2009
Horvath et al. 2010
Ghazi et Ip, 2014
Walston et al. 2016
Kosciuch et al. 2020
Lao et al., 2020

- ? Attrait pour milieux ouverts peu végétalisés
- ? Confusion avec miroir d'eau
- ? Attrait pour certaines ressources alimentaires, dont insectes attirés par les panneaux
- ? Conditions microclimatiques, dont chaleur dégagée par les panneaux

oiseaux vivant au sol, utilisant des habitats présentant une végétation peu développée

oiseaux d'eau



Incidences sur les composantes biologiques



✓ Forte diminution de l'activité chiroptérologique au sein des parcs*

Perte d'habitats

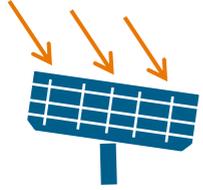
- Homogénéisation
- Destruction des lisières ou milieux forestiers
- Comportement d'aversion*
 - ? évitement de la structure hors-sol
 - ? modification / diminution des ressources alimentaires

*variation de
comportement
entre espèces*

*Sources :

Russo et Ancillotto, 2015

Tinsley et al., sous press



Incidences sur les composantes biologiques



- ✓ Forte diminution de l'activité chiroptérologique au sein des parcs*

Perte d'habitats

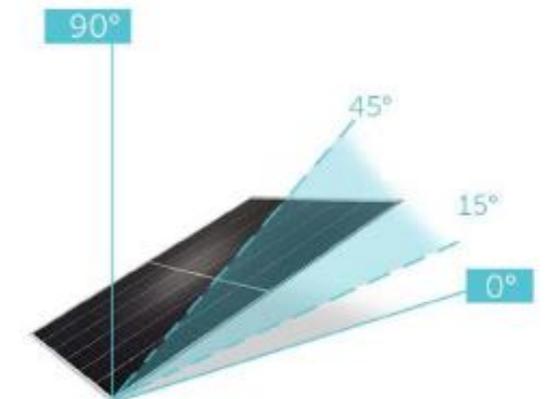
- Homogénéisation
- Destruction des lisières ou milieux forestiers
- Comportement d'aversion*
 - ? évitement de la structure hors-sol
 - ? modification / diminution des ressources alimentaires

variation de comportement entre espèces

- ✓ Piège sensoriel éventuel**

Comportement variable selon angle du panneau & possibilité écholocation:

- si $< 30^\circ$: confusion avec miroir d'eau, abreuvement
- si $> 30^\circ$: absence de détection et collision



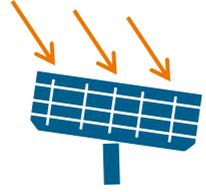
*Sources :

Russo et Ancillotto, 2015
Tinsley et al., sous press

**Sources :

Grief et Siemers, 2010
Montag et al. 2016
Grief et al., 2017
Rahman et Zsebok, sous press

Synthèse de la littérature scientifique



Incidences sur les composantes biologiques

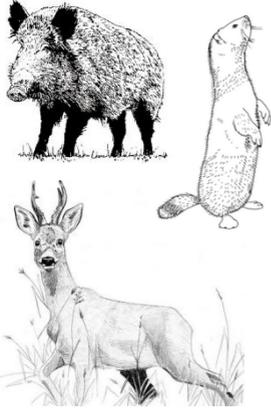
✓ Forte diminution de l'activité au sein des parcs

Perte d'habitats

- Homogénéisation
- Destruction des lisières ou milieux forestiers

Fragmentation milieux, interruption corridors écologiques

- Création d'un exclos
- Risque d'effet « puit »



CEREMA

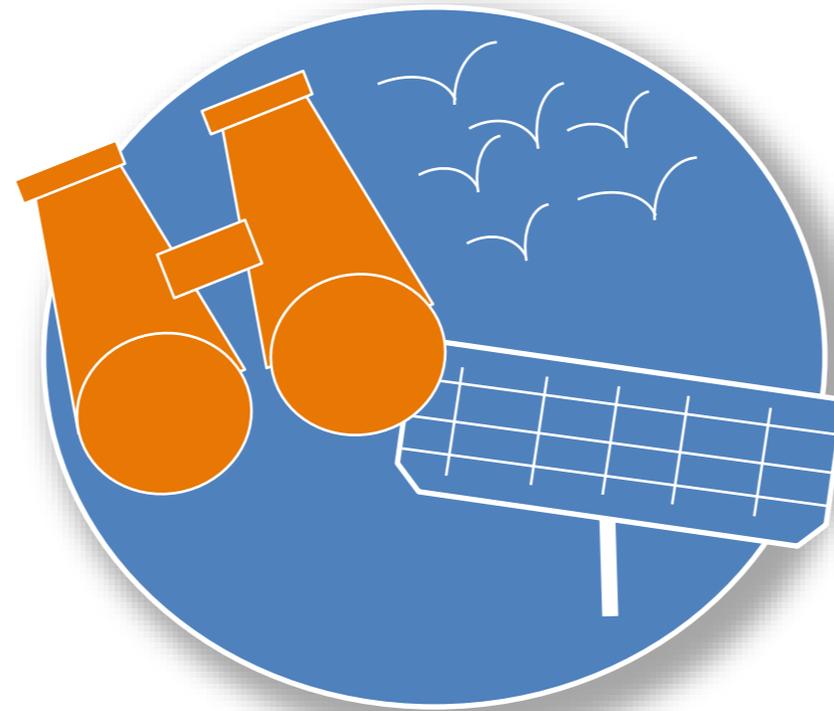


OFB



X-AEQUO

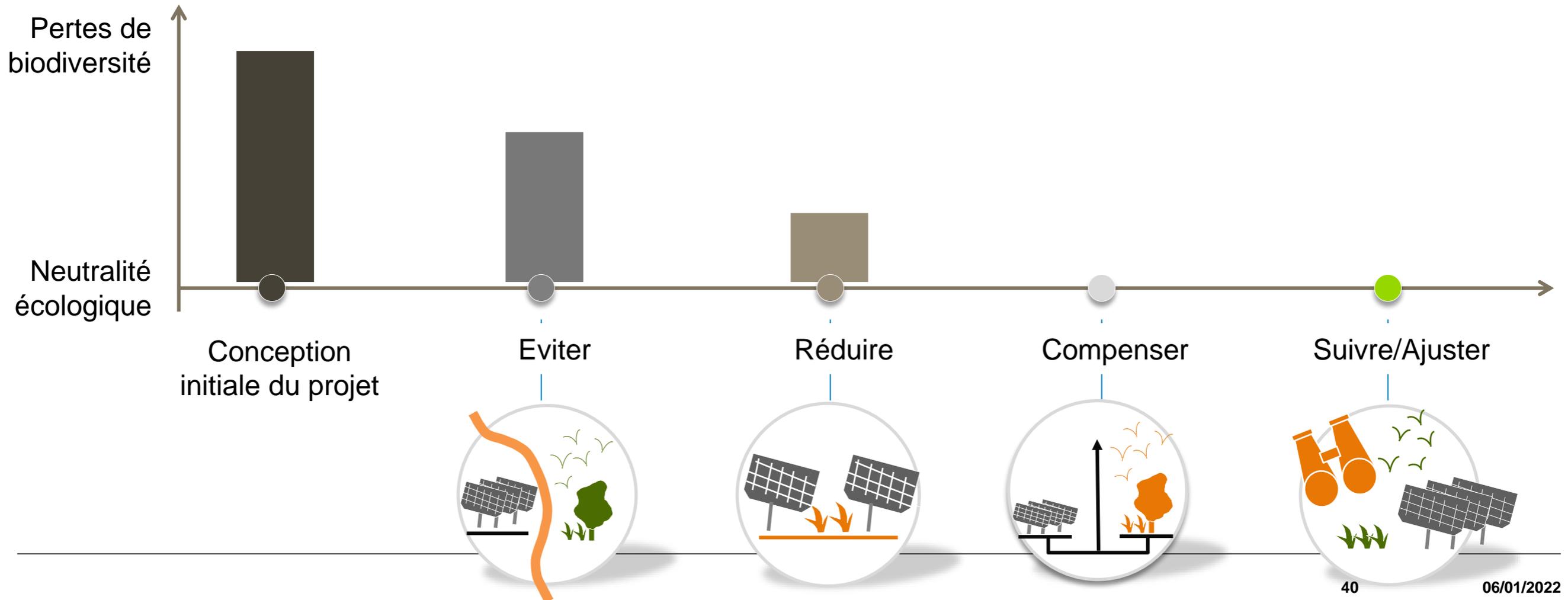
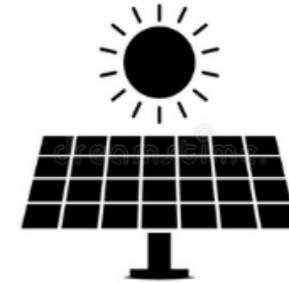
Pistes de solutions ?



Eco-conception CPV

Démarche

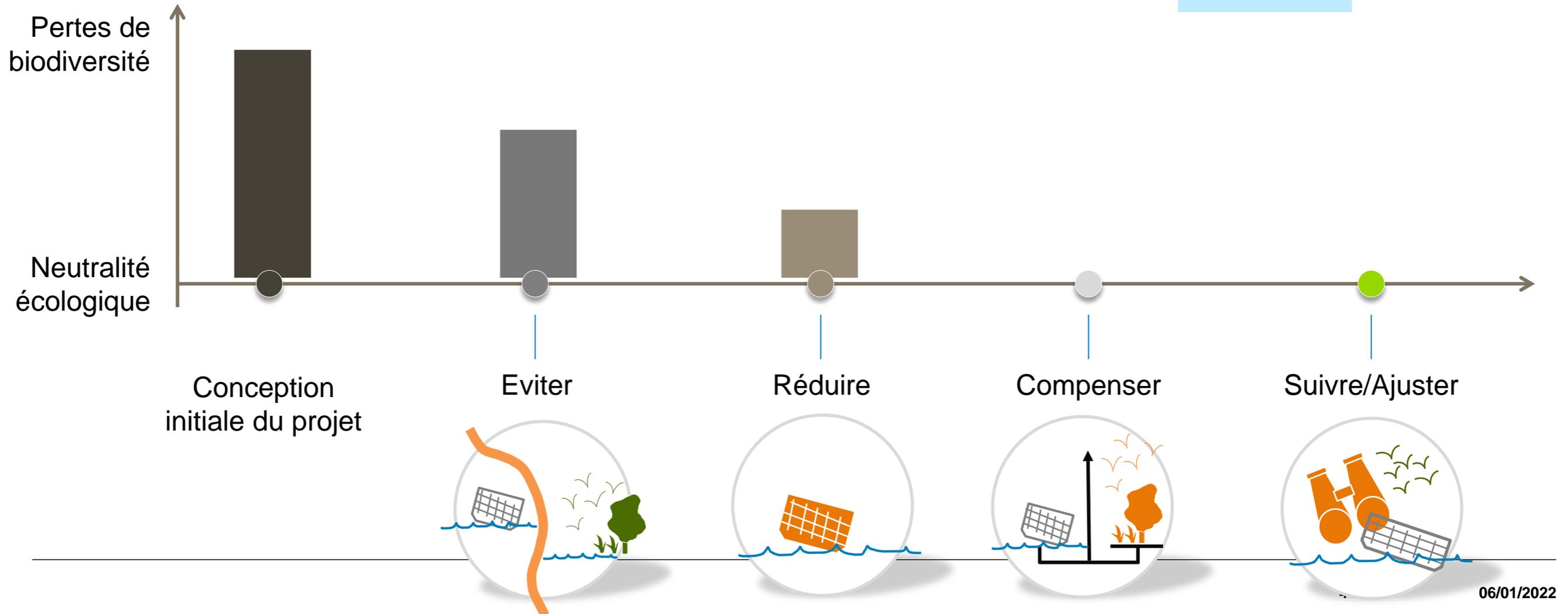
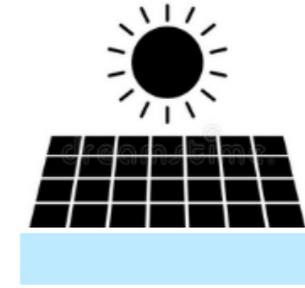
Séquence ERC : fil conducteur de conception des projets, garant de la conciliation EnR / biodiversité



Eco-conception CPV

Démarche

Séquence ERC : fil conducteur de conception des projets, garant de la conciliation EnR / biodiversité

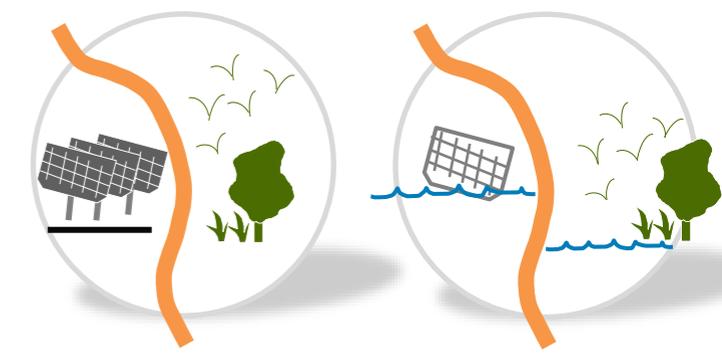


Eco-conception CPV

Choix du projet, du site et de ses emprises

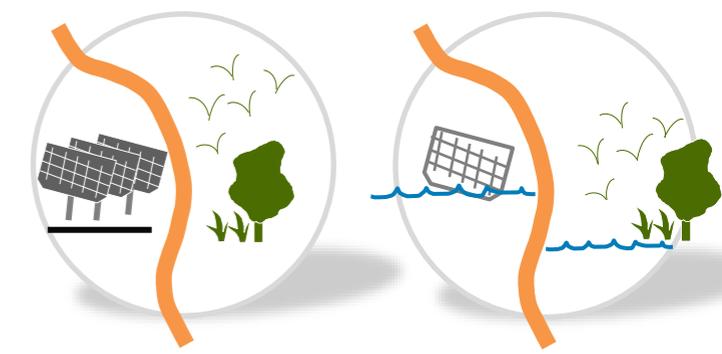
Besoins ?

- Justification du choix du projet
- Démonstration de l'absence de solutions alternatives plus satisfaisantes
- Sécurisation juridique du projet



Eco-conception CPV

Choix du projet, du site et de ses emprises



Besoins ?

- Justification du choix du projet
- Démonstration de l'absence de solutions alternatives plus satisfaisantes
- Sécurisation juridique du projet

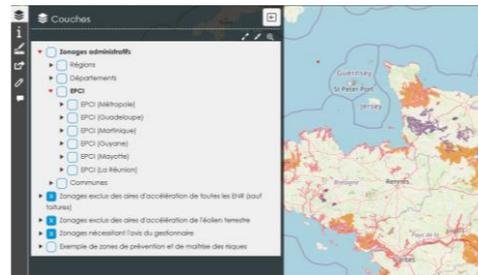
Ex. de bonnes pratiques

- Implantation géographique
 - Emprise projet
- Evitement des sites à forts enjeux
 - Comparaison **objectivée** des différents sites ou emprises possibles d'implantation :
 - **scénarios vraisemblables et comparables entre eux**
 - Sécurisation des sites évités

Outils ?



Applications carto.
d'aide à
l'identification des
aires d'accélération

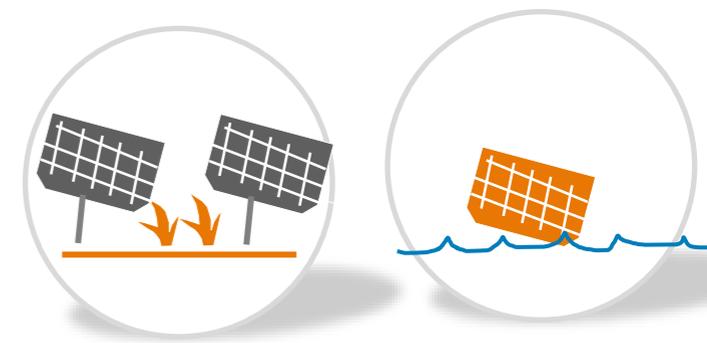


Grilles multicritères
d'aide à la
comparaison des
scénarios et variantes
de projet



Eco-conception CPV

Réduction des incidences

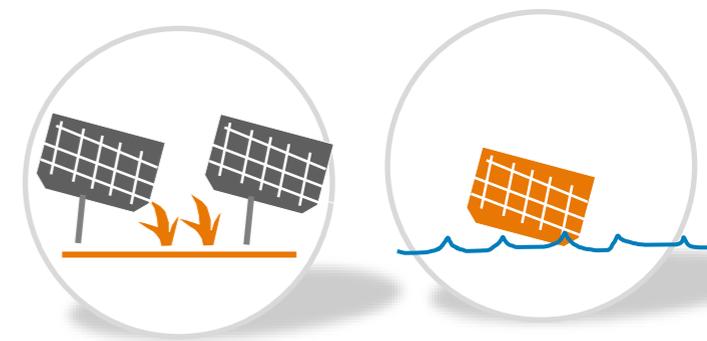


Besoins ?

- Maintien fonctions écologiques sols
- Maintien mosaïque d'habitats et de leur capacité d'accueil pour la faune sauvage
- Limitation pièges écologiques
- Maintien couloirs migratoires

Eco-conception CPV

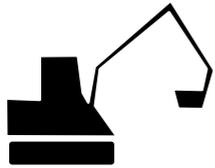
Réduction des incidences



Besoins ?

- Maintien fonctions écologiques sols
- Maintien mosaïque d'habitats et de leur capacité d'accueil pour la faune sauvage
- Limitation pièges écologiques
- Maintien couloirs migratoires

Ex. de bonnes pratiques



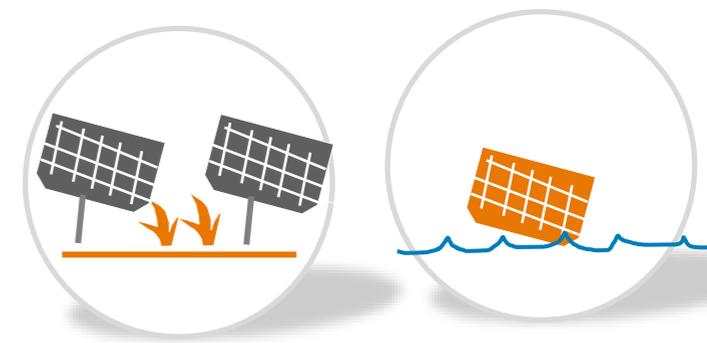
- **Limitation emprises terrassements et pistes**
- Approche multi-barrières : **protection des sols, réensemencement**, gestion ruissellements superficiels, traitement des eaux
- Engins de chantier de faible portance
- Anticipation risque de développement EEE
- ...

Guides



Eco-conception CPV

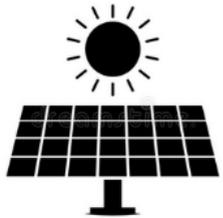
Réduction des incidences



Besoins ?

- Maintien fonctions écologiques sols
- Maintien mosaïque d'habitats et de leur capacité d'accueil pour la faune sauvage
- Limitation pièges écologiques
- Maintien couloirs migratoires

Ex. de bonnes pratiques



Clôtures

- Limitation des emprises clôturées
- Plan de masse « ramassé »
- Contournement ou restauration des corridors migratoires, ajout ouvertures localisées, mise en visibilité, ...

Gestion de la végétation

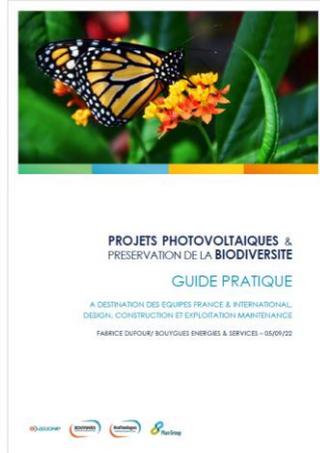
- Fauche tardive
- OLD : maintien ilots arbustifs/boisés

Panneaux

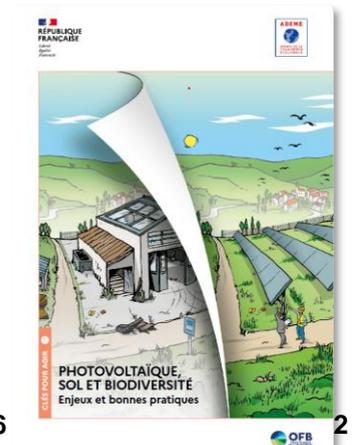
- Réduction ombre portée
 - Hauteur panneaux > 1,2 m
 - Largeur inter-rangs > 5 m (voire 10 m)
- Ancrage par pieux vissés/battus
- Modules **matifiés**



Guides

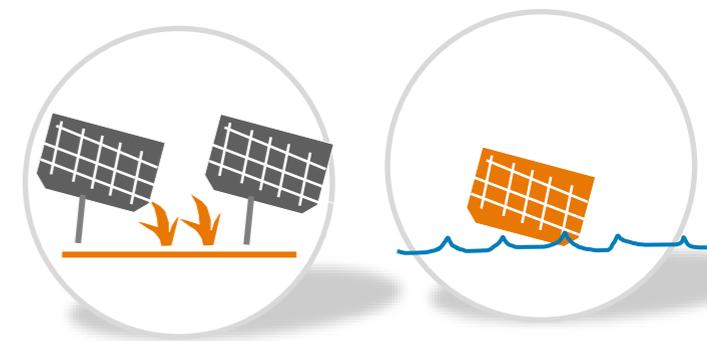


RETEX



Eco-conception CPV

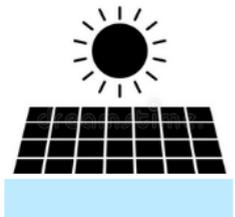
Réduction des incidences



Besoins ?

- Maintien fonctions écologiques sols
- Maintien mosaïque d'habitats et de leur capacité d'accueil pour la faune sauvage
- Limitation pièges écologiques
- Maintien couloirs migratoires

Ex. de bonnes pratiques



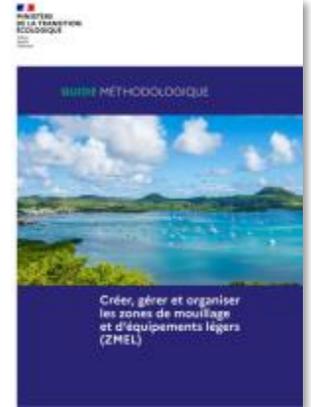
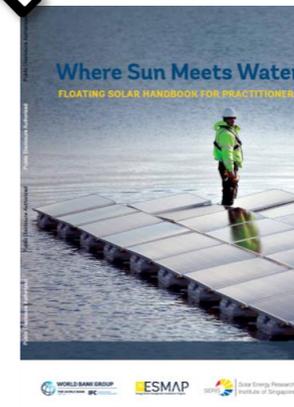
Ancrage et
amarrage
plateforme
flottante

- Amarrage à des pieux battus ou vissés
- Equipement des lignes d'amarrage de bouées
- Ancres autoportantes (corps morts)
- Ancrage en berge

Surface miroir
d'eau équipée

- Seuils max. : 15% à 50%
- Eloignement des berges et / ou habitats de nidification, fraye, aires de nourrissage, de repos ou d'étapes migratoires, ...

Guides

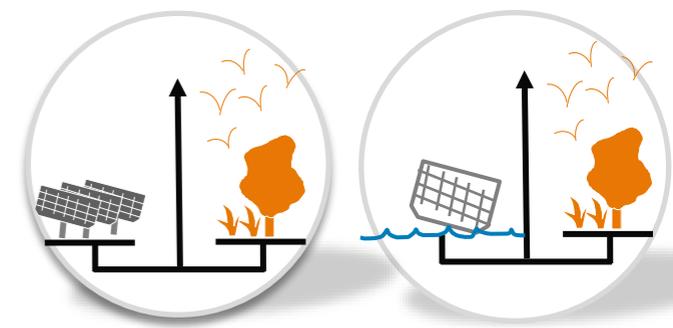


Recommandations



Eco-conception CPV

Compensation impacts résiduels

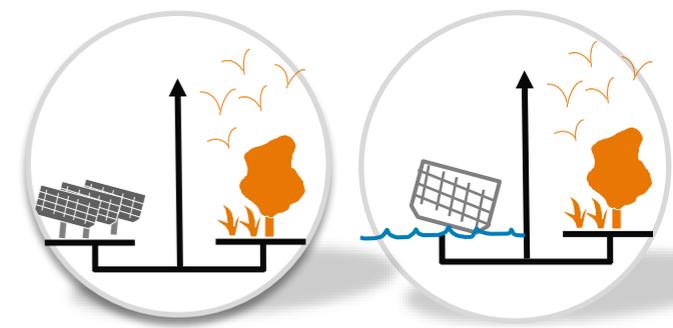


Besoins ?

- Respecter l'objectif de zéro perte nette de biodiversité

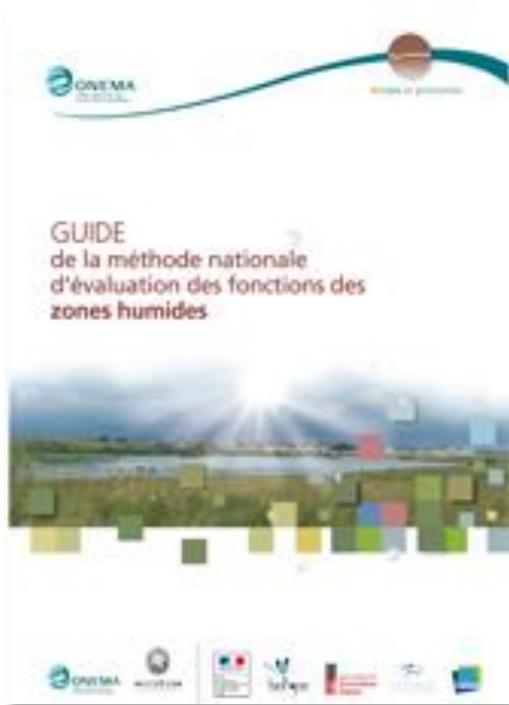
Eco-conception CPV

Compensation impacts résiduels



Besoins ?

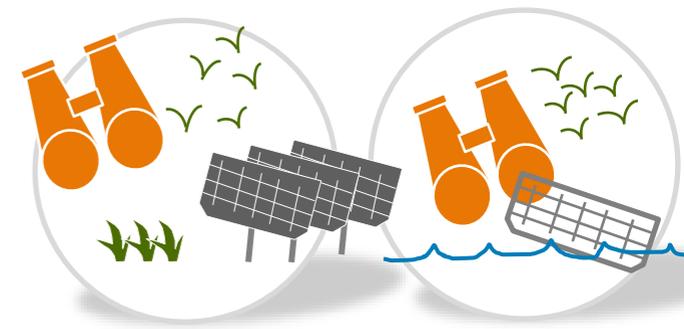
- Respecter l'objectif de zéro perte nette de biodiversité



- Méthodes, prescriptions types, ...

Eco-conception CPV

Suivis

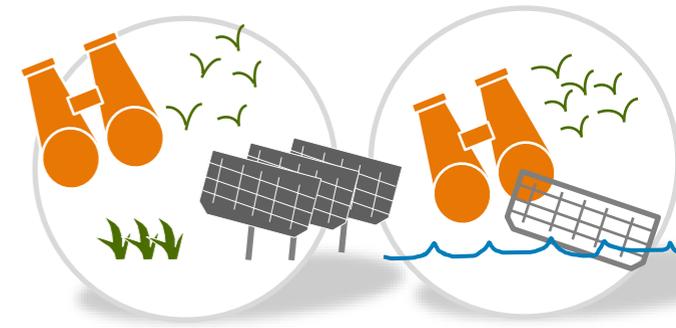


Besoins ?

- Veiller à l'effectivité des mesures de réduction et de compensation
- Contribuer à l'acquisition de connaissances sur les incidences et solutions

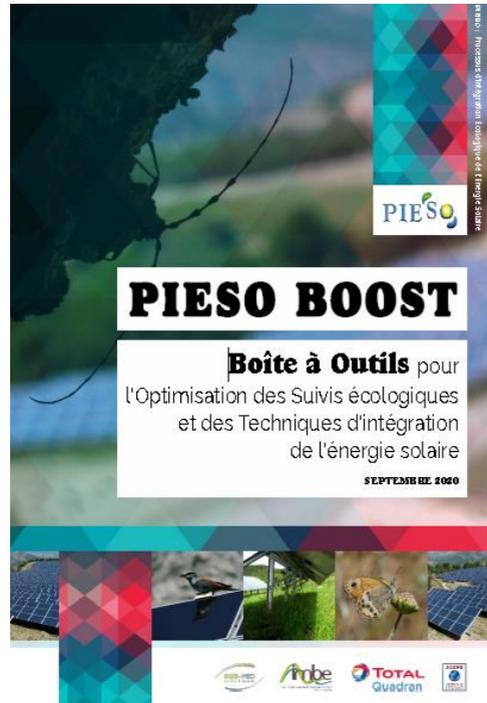
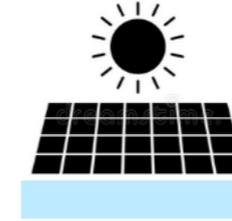
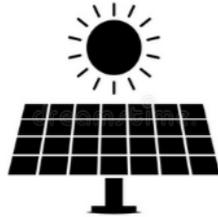
Eco-conception CPV

Suivis

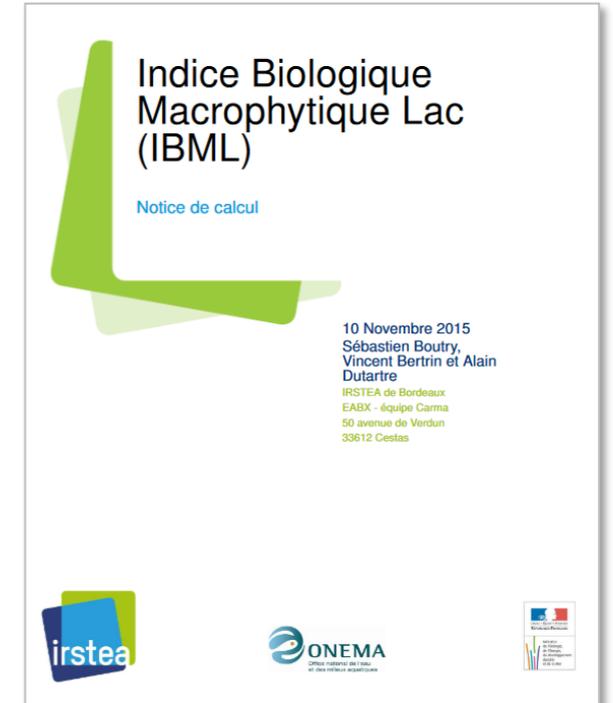


Besoins ?

- Veiller à l'effectivité des mesures de réduction et de compensation
- Contribuer à l'acquisition de connaissances sur les incidences et solutions



Protocole Zon op water (Pays Bas)





Merci de votre attention