

MAINE ET LOIRE

XXX
49000 XXX

BÂTIMENT XXX
DÉMARCHE QUALITÉ ENVIRONNEMENTALE



Maître de l'Ouvrage :

XXX

EXPERTISE
CAPTAGE SOLAIRE
PHOTOVOLTAÏQUE
RACCORDÉ
(EXEMPLE)

Architecte :

ARKITEKTO - Atelier d'Architecture & d'EcoExpertise
Sylvain HOUPERT
Architecte DPLG & Docteur en Sciences de l'Ingénieur
02 41 41 07 13
houpert@arkitekto.com - www.arkitekto.com

PHASE : EXPERTISE

DATE : XXX

RÉF. : XXX

MODIFICATIONS :

EXPERTISE XXX



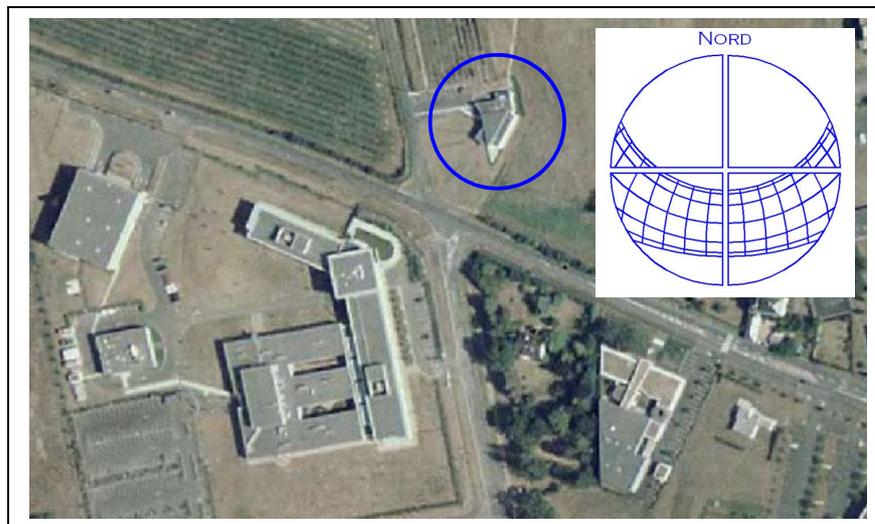
Nota : les cotes existantes seront à vérifier avant le début des travaux

La présente expertise n'est pas reproductible dans un autre cas de figure, même similaire. Chaque projet étudié peut dépendre en effet, de plusieurs facteurs tels que : la latitude, l'altitude, la longitude, l'urbanisation, les masques solaires ou visuels (végétation, relief, constructions...), l'inclinaison, l'orientation et la surface des parois et des baies, l'épaisseur et le type d'isolation, la durée de la saison de chauffage, l'inertie, l'usage et le type de matériels, les données météorologiques, etc.

Les volumétries et les rayons solaires sont étudiés en 3D afin de prendre en compte tous les cas de figure et pas simplement en coupe verticale représentant une situation figée. Attention, les heures d'ensoleillement sont exprimées en heures solaires auxquelles il faut donc ajouter une heure en hiver ou deux heures en été, plus ou moins les données de l'équation du temps et de la longitude pour aboutir aux heures légales. Cependant, les durées d'ensoleillement sont identiques en heures solaires et en heures légales.

Les présents documents ne sont pas des documents d'exécution, mais d'étude de faisabilité. Ils ne peuvent donc en aucun cas être directement utilisés pour réaliser les travaux. Ils ne peuvent pas être utilisés par un tiers sans autorisation préalable, conformément aux articles L 111-1 et suivants du Code de la Propriété Intellectuelle (propriété de Sylvain HOUPERT Architecte DPLG et Docteur en Sciences de l'Ingénieur).

1 SITUATION DU CAPTAGE SOLAIRE



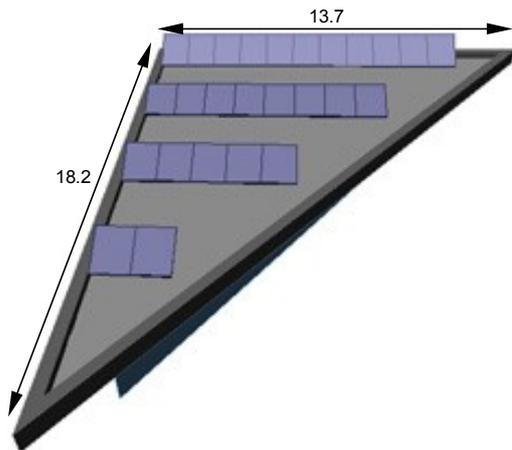
Vue aérienne



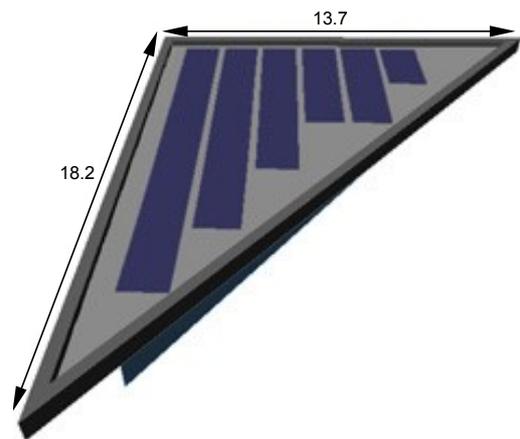
Surface de toiture-terrasse disponible (vue Nord)

L'orientation de la toiture-terrace Sud-SE (azimut XXX°) est proche de l'optimum (Sud), mais son inclinaison (XXX°) n'est pas optimale pour le captage photovoltaïque (PV). **Pour cette situation géographique, cette orientation Sud-SE et les données météorologiques locales, l'inclinaison optimale des capteurs solaires photovoltaïques (PV) devrait être de XXX° par rapport à l'horizon.**

Deux solutions sont étudiées. **Solution A : un captage PV cristallin** avec 4 rangées de capteurs (XXX , XXX , XXX et $XXX \times XXX$ m ht., soit XXX m²) sur supports inclinés de manière optimale. **Solution B : un captage PV amorphe** par une membrane souple installée directement sur la toiture-terrace et servant aussi d'étanchéité (XXX m²).



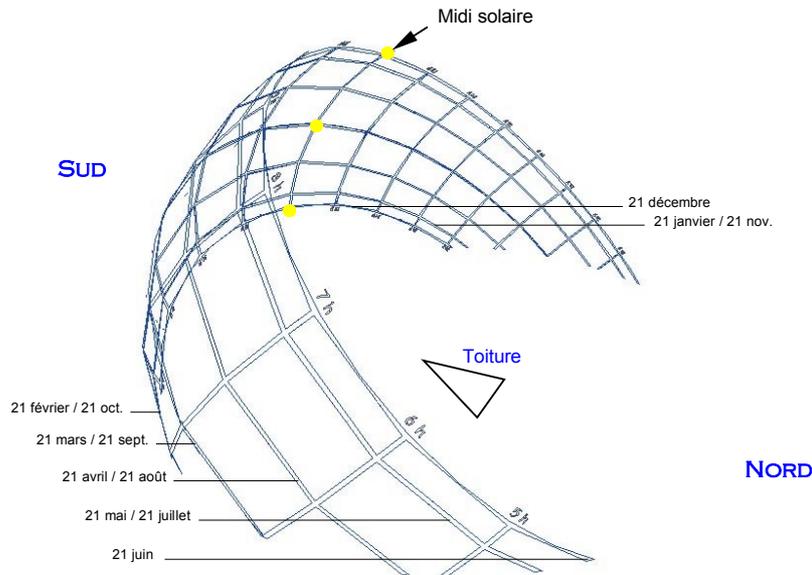
Solution A



Solution B

La surface disponible sur la toiture-terrace permet une installation de XXX kWc (solution A) ou de XXX kWc (solution B).

Pour des capteurs PV cristallin (polycristallin ou monocristallin), le surcoût d'installation sur des supports rapportés (équerres métalliques) et inclinés afin d'optimiser l'efficacité du captage PV, est justifié par rapport aux gains de production d'électricité par rapport à l'inclinaison actuelle.



Représentation 3D de la toiture par rapport à la course apparente annuelle du soleil

2 DIAGNOSTIC DES MASQUES SOLAIRES

Les masques solaires in situ dus à la végétation et aux constructions environnantes sont XXX. **Pour ce captage PV, les masques annuels** (calculés à partir des relevés in situ et des modélisations, cf. § 1), **sont au maximum** (solution B sur le sol de la toiture-terrasse et ombre de l'acrotère) **de XXX % du rayonnement solaire annuel arrivant sur les modules** (solaire direct et diffus), hors ombres propres des capteurs (solution A, d'une rangée de capteurs sur l'autre, cf. 3.2).

Le masque propre du plan des capteurs sur supports inclinés limite une partie de la voûte céleste au Nord, donc limite une partie des apports solaires directs et diffus. Cette limitation est prise en compte dans les apports théoriques qui figurent dans les tableaux qui suivent.

A moyen et long termes, l'hypothèse d'une construction voisine plus haute que les capteurs semble improbable.

Le site étant dans une grande agglomération, le léger masque solaire dû à la pollution atmosphérique des grandes villes est appliqué aux calculs.



Relevé des masques solaires à partir d'une photographie fisheye

3 PROJET DE CAPTAGE PHOTOVOLTAÏQUE

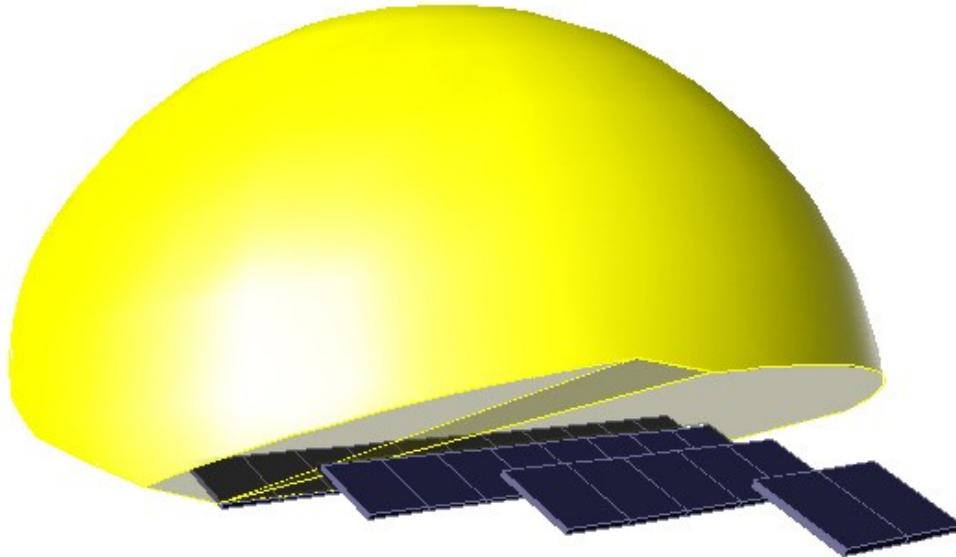
La puissance installée du captage PV est exprimée en Watts crêtes (Wc) correspondant à la puissance maximale lorsque les rayons solaires sont perpendiculaires aux capteurs.

Nous donnons en Annexes, à titre indicatif, les coordonnées des sociétés XXX, XXX, XXX, XXX, XXX et XXX qui vendent du matériel PV cristallin ou amorphe.

3.1 HYPOTHÈSES D'ÉTUDE

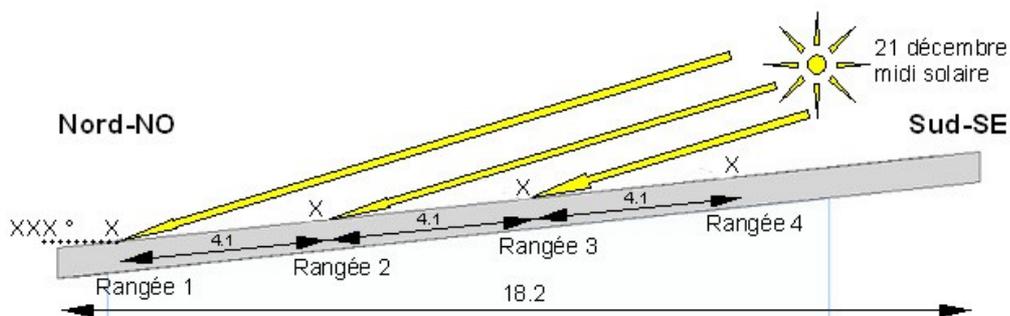
- **Hypothèse 1** : l'aide financière de XXX est maintenue à XXX €/Wc pour les XXX, sans plafond.
- **Hypothèse 2** : pas de crédit d'impôt pour les XXX
- **Hypothèse 3** : l'option de consommation de l'électricité des modules PV en journée et de revente à EDF ou Enercoop (cf. Annexes) uniquement de la partie non consommée n'est pas retenue car XXX.
- **Hypothèse 4** : le coût de l'investissement prend en compte XXX %.
- **Hypothèse 5** : une bonne ventilation naturelle sous les capteurs PV permet de limiter la baisse du rendement du captage PV lors des surchauffes solaires estivales (XXX).
- **Hypothèse 6** : le prix net de rachat par EDF ou Enercoop de l'électricité PV est de XXX €/kWh HT pour la solution XXX (XXX) et de XXX €/kWh HT pour la solution XXX.
- **Hypothèse 7** : le XXX des cellules de silicium qui composent les modules PV cristallin est de XXX %, et de XXX % pour les membranes PV amorphe.
- **Hypothèse 8** : 1 m² de cellules PV cristallin côte à côte a une puissance de XXX Wc (ou XXX Wc avec cadre). 1 m² de membrane PV amorphe a une puissance de XXX Wc (modules capteurs uniquement, hors joints).

3.2 EFFICACITÉ DU CAPTAGE PV CRISTALLIN

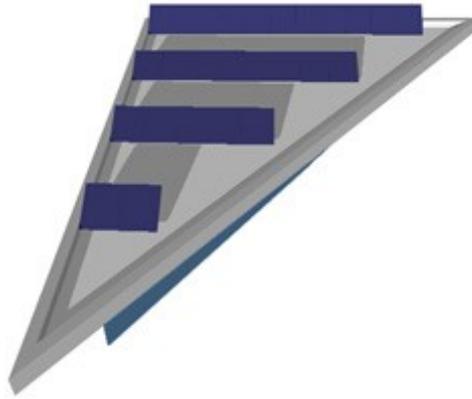


Volume de contrainte solaire permettant d'optimiser la position des capteurs (solution A) les uns par rapport aux autres (ombres propres minimales)

Les capteurs PV cristallin (solution A) seront installés sur une rangée de supports à XXX° par rapport à l'horizon au Nord (rangée 1 de XXX kWc, ci-dessous) et 3 rangées à XXX° (rangées 2, 3 et 4 de XXX kWc) pour limiter les ombres propres des capteurs entre eux et pouvoir positionner 4 rangées au total.



Optimisation du dimensionnement des capteurs solaires PV cristallin.
Inclinaison optimale à XXX° et inclinaison à XXX° pour éviter les ombres portées des rangées 2, 3 et 4



Vérification des ombres (solution A) au solstice d'hiver à midi solaire

Les masques dus aux ombres propres des capteurs entre eux (solution A) sont assez faibles (de XXX % à XXX %).

Ombres portées des capteurs les uns sur les autres :

- autour du 21 décembre : XXX h en début de matinée et XXX h en fin d'après-midi,
- autour du 21 janvier ou 21 novembre : XXX h en début de matinée et en fin d'après-midi,
- autour du 21 février ou 21 octobre : XXX mn en début de matinée et en fin d'après-midi.

L'efficacité nette annuelle E des capteurs est ainsi supérieure à XXX % (on exclut le cas des capteurs sur support rotatif où $E > 100$ %). Cette efficacité E est intégrée dans nos calculs de potentiel d'éclairement solaire direct et diffus avec masques ci-après.

3.3 POTENTIEL SOLAIRE DU CAPTAGE PV

La fraction d'insolation (F) dépend des statistiques météorologiques locales.

3.3.1 CAPTAGE PV CRISTALLIN

Nous étudions ici les deux types d'inclinaisons : XXX ° et XXX °

3.3.1.1 RANGÉE 1 À XXX °

	Fraction d'insolation	Potentiel direct théorique (kWh/m ² /jour)	Potentiel direct avec masques (kWh/m ² /mois)	Potentiel diffus avec masques (kWh/m ² /mois)	Potentiel global avec masques (kWh/m ² /mois)
Janvier	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
Février	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
Mars	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
Avril	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
Mai	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
Juin	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
Juillet	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
Août	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
Septembre	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
Octobre	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
Novembre	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
Décembre	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
Total (kWh/m²/an)		XXX	XXX	XXX	XXX
Masques (%)			XXX	XXX	XXX

Les calculs montrent qu'**1 m² de cellules inclinées à XXX ° produira**, dans le cas de cette étude, environ XXX (kWh/an) x XXX (pollution grande agglomération) x XXX (rendement XXX) x XXX (rendement XXX) x XXX (rendement XXX) = XXX kWh/an pour une puissance installée de XXX Wc, soit **environ XXX kWh/kWc.an**.

3.3.1.2 RANGÉES 2, 3 ET 4 À XXX °

	Fraction d'insolation	Potentiel direct théorique (kWh/m ² /jour)	Potentiel direct avec masques (kWh/m ² /mois)	Potentiel diffus avec masques (kWh/m ² /mois)	Potentiel global avec masques (kWh/m ² /mois)
Janvier	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
Février	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
Mars	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
Avril	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
Mai	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
Juin	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
Juillet	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
Août	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
Septembre	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
Octobre	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
Novembre	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
Décembre	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
Total (kWh/m²/an)		XXX	XXX	XXX	XXX
Masques (%)			XXX	XXX	XXX

Les calculs montrent qu'**1 m² de cellules inclinées à XXX ° produira**, dans le cas de cette étude, environ XXX (kWh/an) x XXX (pollution grande agglomération) x XXX (rendement XXX) x XXX (rendement XXX) x XXX (rendement XXX) = XXX kWh/an pour une puissance installée de XXX Wc, soit **environ XXX kWh/kWc.an**.

Pour cette orientation Sud-SE, ces inclinaisons de XXX ° et XXX ° au-dessus de l'horizon, cette situation géographique, et ces masques, le captage PV cristallin produira donc **environ XXX kWh/an** (XXX kWc x XXX kWh/kWc.an + XXX kWc x XXX kWh/kWc.an).

3.3.2 CAPTAGE PV AMORPHE

	Fraction d'insolation	Potentiel direct théorique (kWh/m ² /jour)	Potentiel direct avec masques (kWh/m ² /mois)	Potentiel diffus avec masques (kWh/m ² /mois)	Potentiel global avec masques (kWh/m ² /mois)
Janvier	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
Février	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
Mars	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
Avril	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
Mai	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
Juin	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
Juillet	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
Août	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
Septembre	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
Octobre	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
Novembre	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
Décembre	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
Total (kWh/m²/an)		XXX	XXX	XXX	XXX
Masques (%)			XXX	XXX	XXX

Les calculs montrent qu'**1 m² de cellules inclinées à XXX ° produira**, dans le cas de cette étude, environ XXX (kWh/an) x XXX (pollution grande agglomération) x XXX (rendement XXX) x XXX (rendement XXX) x XXX (rendement XXX) = XXX kWh/an pour une puissance installée de XXX Wc, soit **environ XXX kWh/kWc.an**.

Pour cette orientation Nord-NO, cette inclinaison de XXX ° au-dessus de l'horizon, cette situation géographique, et ces masques, le captage PV amorphe produira donc **environ XXX kWh/an** (XXX kWc x XXX kWh/kWc.an).

3.4 TEMPS DE RETOUR SUR INVESTISSEMENT PV

3.4.1 CAPTAGE PV CRISTALLIN

	Estimation matériel - aides XXX et XXX	XXX	XXX	XXX durant TRI	Expertise PV	Total net	Production électricité	Vente électricité - XXX (euros constants)	TRI
Capteurs PV cristallin XXX kWc ~XXX m ² (HT)	XXX €	XXX €	XXX €	XXX €	XXX €	XXX €	XXX kWh/an	XXX €/an	XXX ans

Calcul du TRI de l'installation solaire PV cristallin

3.4.2 CAPTAGE PV AMORPHE

	Estimation matériel - aides XXX et XXX + XXX	XXX	XXX durant TRI	Expertise PV	Total net	Production électricité	Vente électricité - XXX (euros constants)	TRI
Capteurs PV amorphe XXX kWc ~XXX m ² (HT)	XXX €	XXX €	XXX €	XXX €	XXX €	XXX kWh/an	XXX €/an	XXX ans

Calcul du TRI de l'installation solaire PV amorphe

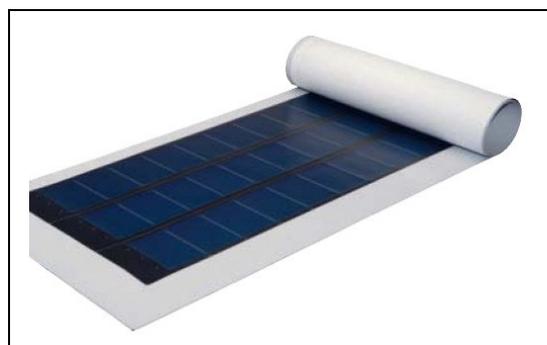
3.5 PHOTOMONTAGE DE LA TOITURE



Vue actuelle de la toiture



Photomontage de la future toiture solaire PV cristallin (solution A)



Exemple de membrane PV amorphe sur toiture terrasse (solution B, non visible depuis le sol)

3.6 CONCLUSION SUR LE CAPTAGE PV

3.6.1 TEMPS DE RETOUR SUR L'INVESTISSEMENT

Pour conclure, selon les hypothèses que nous avons posées, nous pouvons dire que, **pour les deux solutions, le captage PV sera rentable (TRI < durée de vie des capteurs) :**

- TRI de XXX ans pour la solution PV cristallin,
- TRI de XXX ans pour la solution PV amorphe.

Les ventes réalisées après le TRI seront au minimum de :

- XXX €/an (euros constants) pour la solution PV cristallin,
- XXX €/an (euros constants) pour la solution PV amorphe.

La durée de vie des capteurs (au moins 30 ans) étant largement supérieure au TRI, les économies à long terme seront considérables (vente moyenne annuelle en euros constants x (durée de vie des capteurs - TRI)).

La solution PV XXX s'impose, car elle sera plus rapidement amortie (XXX) et rapportera plus financièrement (annuellement et sur la durée de vie des capteurs).

En terme purement écologique, les deux solutions rembourseront rapidement leur énergie grise (temps de retour énergétique de 3 ans maximum, moindre pour la solution amorphe) et les deux solutions sont recyclables en fin de vie (solution PV cristallin plus facilement recyclable).

3.6.2 RECOMMANDATIONS

Un dossier de XXX sera déposé en mairie avant la réalisation des travaux.

Les photomontages de la présente expertise pourront servir à illustrer le dossier (solution PV cristallin).

Nota : si le projet est en secteur Monuments Historiques (moins de 500 m d'un monument classé ou inscrit) le XXX de ce projet passera devant un Architecte des Bâtiments de France.

4 ANNEXES

4.1 COORDONNÉES UTILES

XXX
XXX

XXX
XXX

XXX
XXX

XXX
XXX

4.2 COORDONNÉES DE FOURNISSEURS DE MATÉRIEL PV CRISTALLIN

XXX
XXX

XXX
XXX

XXX
XXX

4.3 COORDONNÉES D'INSTALLATEURS PV CRISTALLIN

XXX
XXX

XXX
XXX

XXX
XXX

4.4 COORDONNÉES DE FOURNISSEURS DE MATÉRIEL PV AMORPHE

XXX
XXX

XXX
XXX

4.5 COORDONNÉES D'ACHATEURS-VENDEURS D'ÉLECTRICITÉ D'ORIGINE RENOUVELABLE

Enercoop (coopérative)

9-11 avenue de Villars

75007 Paris

Tél : 01 73 02 69 25

Mél : contact@enercoop.fr

Web : <http://www.enercoop.fr>