

# **POTENTIEL SOLAIRE**

## **Note sur la méthodologie employée pour le calcul de l'insolation**



Ministère  
de l'Écologie,  
de l'Énergie,  
du Développement  
durable  
et de la Mer

Ressources, territoires, habitats et logement  
Énergie et climat  
Développement durable  
Prévention des risques  
Infrastructures, transports et mer

**Présent  
pour  
l'avenir**

## SOMMAIRE

<b>1 LE CALCUL DU RAYONNEMENT BRUT.....</b>	<b>3</b>
1.1 Les données d'entrée.....	3
1.1.1 Le modèle numérique de terrain.....	3
1.1.2 Les autres données nécessaires.....	4
1.2 Calcul du gisement solaire dans ArcGis.....	4
<b>2 REDRESSEMENT DES VALEURS.....</b>	<b>9</b>
2.1 Correction météo.....	9
2.2 Précautions à prendre.....	11

# 1 LE CALCUL DU RAYONNEMENT BRUT

Le calcul du rayonnement brut, également appelé insolation, sera réalisé à l'aide du logiciel ArcGis et plus précisément par le biais de l'extension Spatial Analyst qui possède un module spécifique de rayonnement solaire. Ce dernier propose des outils permettant de réaliser des calculs d'insolation à partir de données topographiques de type Modèle Numérique de Terrain et des informations de latitude.

## 1.1 Les données d'entrée

### 1.1.1 Le modèle numérique de terrain

La donnée de base permettant de réaliser les calculs d'insolation est une information topographique de type Modèle Numérique de Terrain (MNT). C'est à partir de cette information que pourront être calculés les effets de masque déterminant les ombres portées et donc la quantité d'énergie solaire reçue en tout point du territoire. Le MNT qui sera utilisé dans le cadre de cette étude est celui de la BD TOPO® de l'IGN.

Le Modèle Numérique de Terrain de la BD TOPO®, base de données altimétrique de l'IGN, est un système d'information géographique représentant le relief. Il s'agit en fait d'une représentation numérique d'une variable continue ( $z$ ) au sein d'un espace à deux dimensions ( $x,y$ ). Le MNT de la BD TOPO® est matérialisé sous forme d'une grille régulière de points, espacés en  $x$  et en  $y$  d'un pas de 25 mètres, au droit desquels est renseignée l'altitude. Les informations renseignées dans un MNT sont valables dans un système de coordonnées défini.

Ce MNT est fourni au format ASCII Grid d'ArcInfo®. Il s'agit de fichiers, portant l'extension ASC, composé d'une en-tête et d'une série d'altitude  $z$ .

Ce MNT sera importé dans les outils ArcGis et utilisé sous la forme d'une grille raster. Chaque pixel aura donc comme définition le pas du MNT (25 m) et portera une information d'altitude.



*Exemple de MNT – La donnée apparaît sous forme d'une grille de résolution 25m*

**Il est à noter qu'un MNT prend en compte uniquement la modélisation du terrain nu. Les éléments de type bâtiments, couvert végétal, etc... ne sont pas pris en compte dans le MNT et donc dans le calcul des masques proches.**

La résolution de ce MNT définira la résolution de la grille de sortie des calculs d'insolation. Au final les valeurs seront donc données avec une précision de 25 m.

### 1.1.2 Les autres données nécessaires

Outre le modèle numérique de terrain, les autres données nécessaires sont celles permettant de calculer la course réelle du soleil. Il faut donc spécifier :

- la latitude du site (en l'occurrence la latitude moyenne du département)
- La période calendaire sur laquelle le calcul doit être lancé

Le calcul peut donc être lancé sur un jour ou réalisé en cumulé sur une période de plusieurs jours. Dans le cadre de cette étude, la période choisie sera mensuelle.

## 1.2 Calcul du gisement solaire dans ArcGis

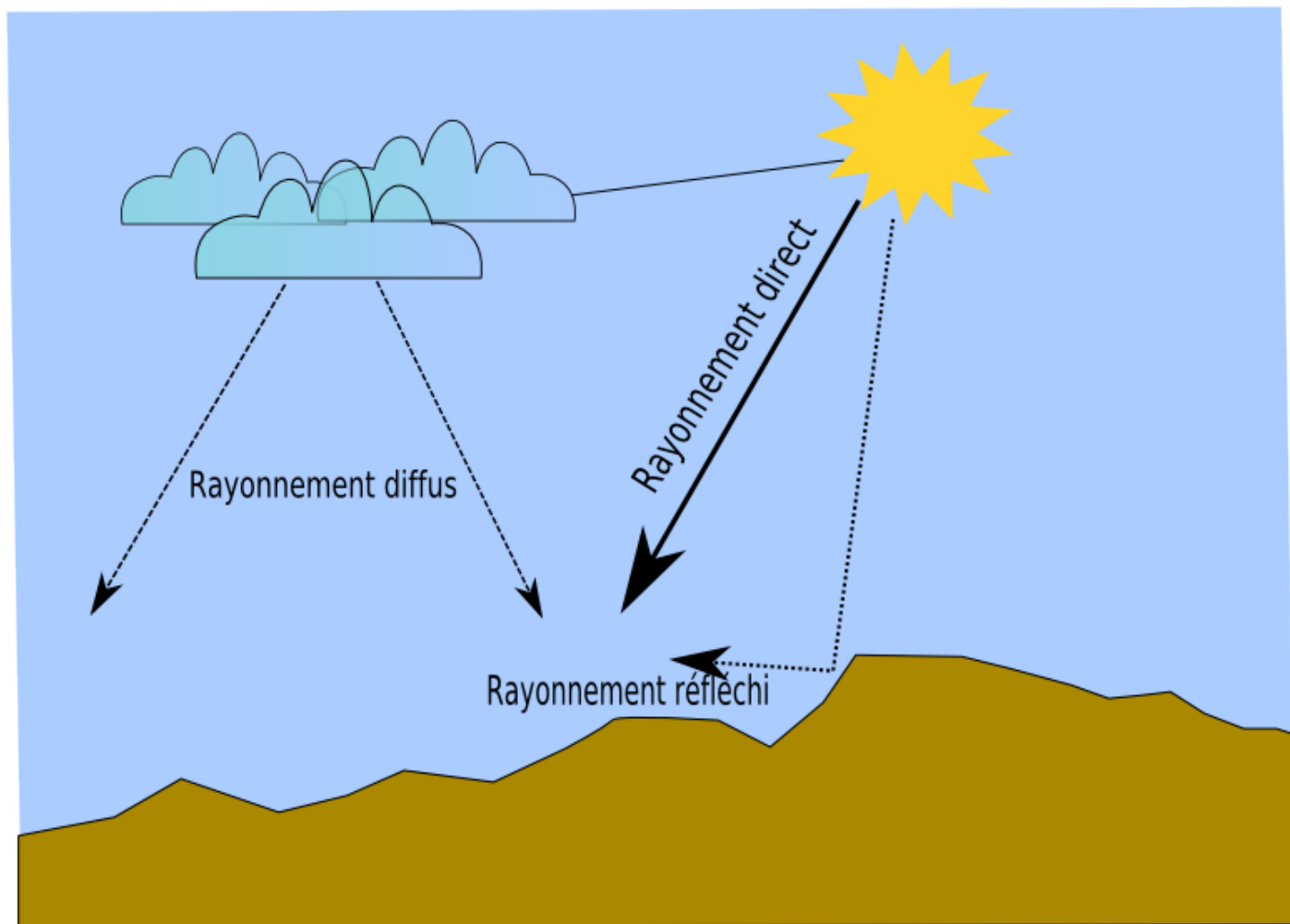
Les calculs de rayonnement solaire dans ArcGis prennent en compte les effets atmosphériques, la latitude et l'altitude du site, la déclivité (pente) et la direction de boussole (exposition), ainsi que les décalages de jour et de saison de l'angle du soleil et les effets des ombres créées par la topographie environnante.

Plusieurs composantes du rayonnement sont en outre prises en compte.

Le rayonnement solaire (ou insolation) émis par le soleil est modifié lors de son passage dans l'atmosphère, puis subit d'autres changements causés par les topographies et surfaces, et enfin est intercepté à la surface de la Terre sous la forme de composantes directes, diffuses et réfléchies.

- Le rayonnement direct est intercepté tel quel, en une ligne directe provenant du soleil.
- Le rayonnement diffus est dispersé par des composants atmosphériques, comme les nuages et les particules de poussière.
- Le rayonnement réfléchi est réfléchi à partir des entités de surface.

La somme du rayonnement direct, diffus et réfléchi est appelée "rayonnement solaire total" ou "global".



En général, le rayonnement direct est le composant le plus important du rayonnement total, suivi du rayonnement diffus. Le rayonnement réfléchi ne constitue généralement qu'une proportion négligeable du rayonnement total, à l'exception des endroits proches de surfaces très réfléchissantes, par exemple une couverture de neige. Les outils de rayonnement solaire d'ArcGIS Spatial Analyst ne tiennent pas compte du rayonnement réfléchi dans le calcul du rayonnement total. Par conséquent, le rayonnement total est calculé en additionnant le rayonnement direct et le rayonnement diffus.

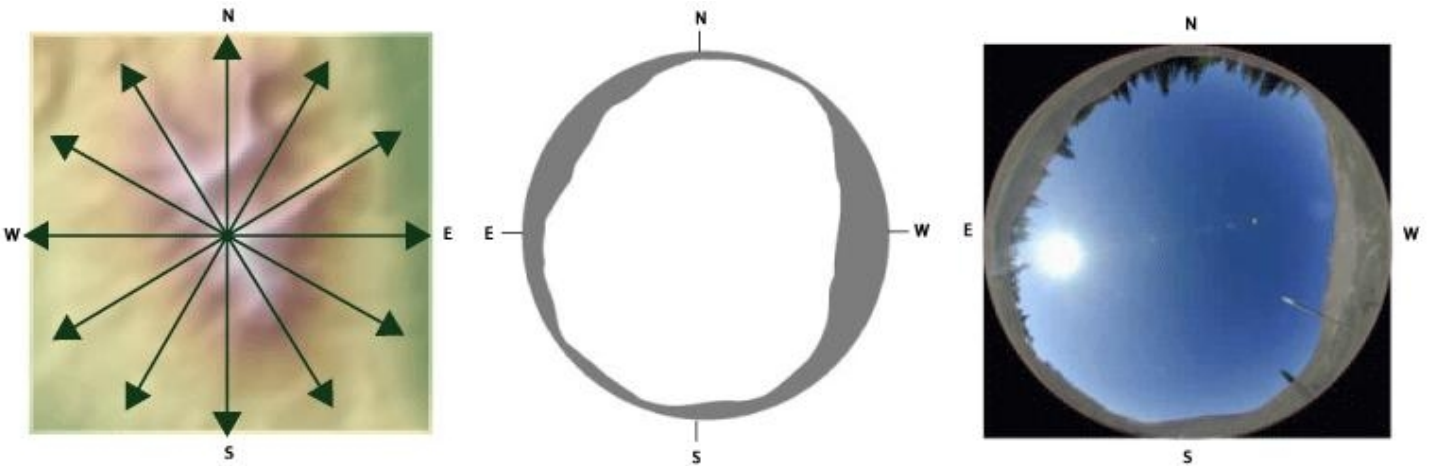
Les outils de rayonnement solaire peuvent effectuer des calculs pour des positions de point ou pour des zones géographiques entières. Cela implique quatre étapes :

- Le calcul d'un champ de vision hémisphérique vers le haut basé sur une topographie.
- La superposition du champ de vision sur un raster de positionnement solaire pour mesurer le rayonnement direct.
- La superposition du champ de vision sur un raster de positionnement céleste pour mesurer le rayonnement diffus.
- Le renouvellement du processus pour chaque zone étudiée jusqu'à obtention d'une carte d'insolation.
- Calcul du rayonnement solaire direct

## Calcul du champ de vision hémisphérique

Étant donné que le rayonnement peut être grandement impacté par des topographies et surfaces, l'un des composants clés de l'algorithme de calcul nécessite la génération d'un champ de vision hémisphérique du ciel pour chaque emplacement dans le modèle numérique de terrain (MNT). Les champs de vision hémisphérique sont similaires aux photographies hémisphériques du ciel (très grand angle), qui présentent le ciel dans son intégralité, vu du sol, comme si l'on se trouvait dans un planétarium. La partie de ciel visible joue un rôle important dans l'insolation à un emplacement donné. Par exemple, un capteur situé dans un champ ouvert présentera une insolation plus élevée que s'il se trouvait dans un canyon profond.

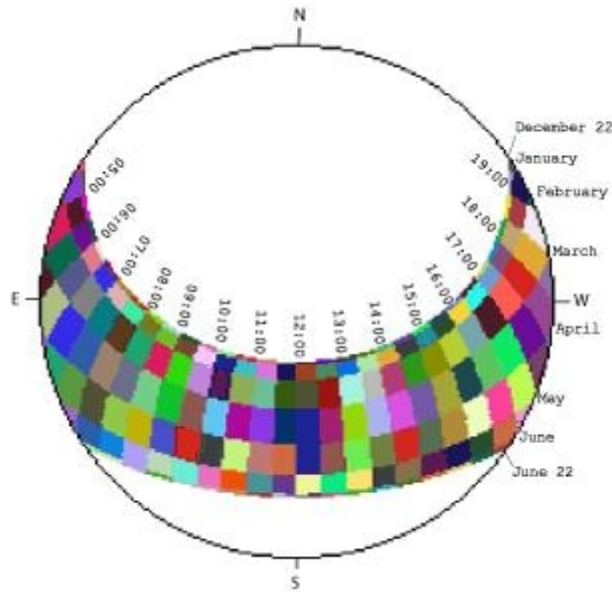
La figure ci-dessous représente le calcul d'un champ de vision pour une cellule d'un MNT. Les angles d'horizon sont calculés le long d'un nombre défini de directions et permettent de créer une représentation hémisphérique du ciel. Le champ de vision obtenu détermine si les directions célestes sont visibles (en blanc) ou obstruées (en gris).



Les champs de vision sont utilisés en conjonction avec les informations sur la position du soleil et les directions célestes (représentées par un raster de positionnement solaire et un raster de positionnement céleste respectivement) pour mesurer le rayonnement direct, diffus et total (direct + diffus) pour chacun des emplacements et générer une carte d'insolation précise.

Le rayonnement solaire direct émanant de chacune des directions célestes est mesuré à l'aide d'un raster de positionnement solaire dans la même projection hémisphérique que le champ de vision. Un raster de positionnement solaire est une représentation raster indiquant la trajectoire du soleil ou sa position apparente à mesure de sa course, sur une journée et une année. Cela revient à regarder le ciel et à observer la trajectoire que suit le soleil sur une période donnée.

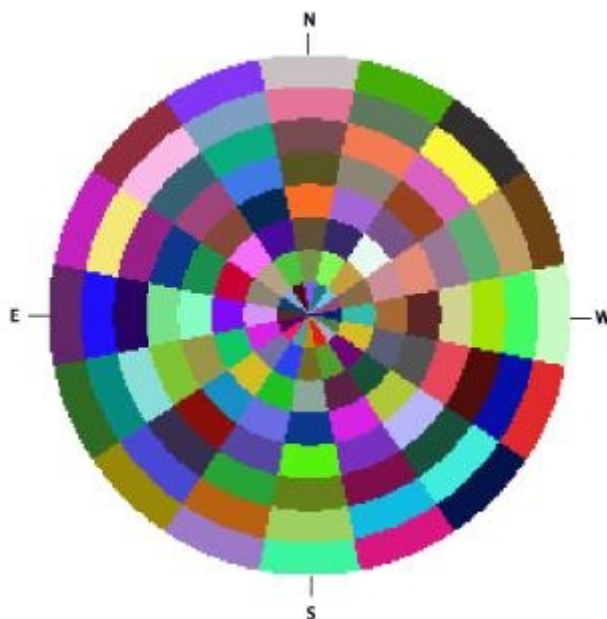
Le raster de positionnement solaire est constitué de secteurs définis par la position du soleil à des intervalles particuliers, au cours d'une journée (heures) et d'une année (jours ou mois). La course du soleil est calculée d'après la latitude de la zone d'étude et la configuration temporelle qui définit les secteurs du raster de positionnement solaire. Pour chaque secteur du raster de positionnement solaire, une valeur d'identification unique est entrée, ainsi que l'angle zénithal et azimutal de son centroïde. Le rayonnement solaire émanant de chacun des secteurs est mesuré séparément, et le champ de vision est superposé sur le raster de positionnement solaire, pour les besoins du calcul du rayonnement direct.



*Exemple de raster de positionnement solaire pour la latitude 45 ' Nord, sur une période allant du solstice d'hiver (21 décembre) au solstice d'été (21 juin)*

### **Calcul du rayonnement solaire diffus**

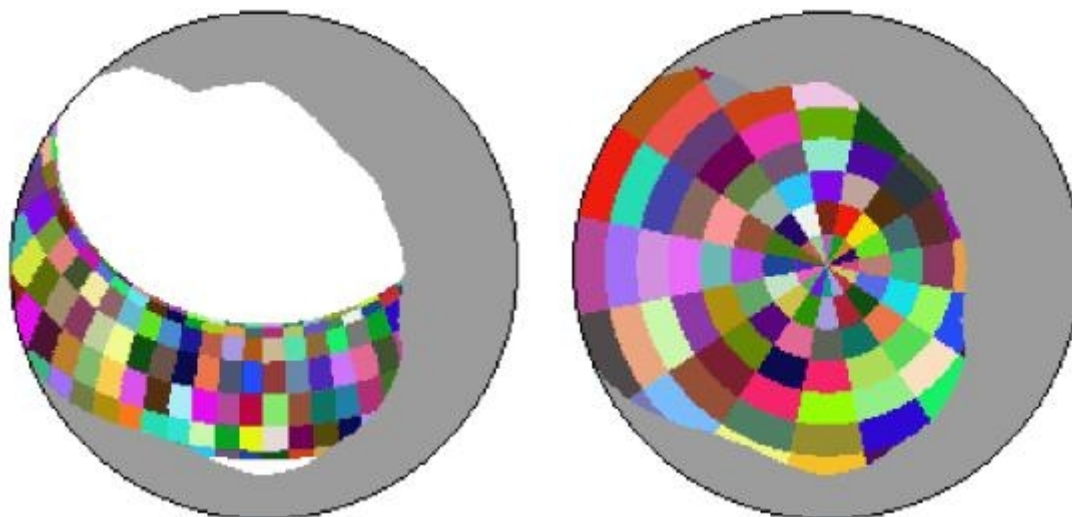
Le rayonnement diffus est émis par toutes les directions célestes suite à sa dispersion par des composants atmosphériques (nuages, particules, etc.). Pour calculer le rayonnement diffus à un emplacement particulier, un raster de positionnement céleste est créé pour représenter une vue hémisphérique de tout le ciel, divisée en une série de secteurs célestes définis par les angles zénithaux et azimutaux. Chacun des secteurs se voit attribuer une valeur d'identifiant unique, ainsi que l'angle zénithal et azimutal de son centroïde. Le rayonnement diffus est calculé pour chacun des secteurs célestes en fonction de sa direction (zénith et azimut).



*Exemple de raster de positionnement céleste avec des secteurs célestes définis par 8 divisions zénithales et 16 divisions azimutales. Chacune des couleurs représente un secteur (ou une partie) du ciel qui émet un rayonnement diffus.*

**Superposition d'un champ de vision sur un raster de positionnement solaire et un raster de positionnement céleste**

Lors du calcul de l'insolation, le raster de champ de vision est superposé sur les rasters de positionnement solaire et de positionnement céleste pour pouvoir calculer le rayonnement direct et diffus émis par chacune des directions célestes. La proportion de la zone de ciel visible dans chacun des secteurs est calculée en divisant le nombre de cellules non obstruées par le nombre total de cellules dans chacun des secteurs. Les secteurs célestes partiellement obstrués sont tolérés.



*Exemple de superposition d'un champ de vision sur un raster de positionnement solaire et un raster de positionnement céleste. Les directions célestes obstruées sont représentées en gris.*

*Le rayonnement solaire est calculé en additionnant l'insolation directe et diffuse émise par les directions célestes non obstruées.*



## 2 REDRESSEMENT DES VALEURS

### 2.1 Correction météo

Les algorithmes utilisés dans le logiciel pour le calcul de l'insolation s'appuient sur un modèle météo standard (couverture nuageuse, opacité) qui ne peut prendre en compte les spécificités météo locales.

Afin d'avoir des valeurs représentatives du lieu choisi il est nécessaire de réaliser un redressement des calculs pour les caler sur des valeurs de référence.

Les valeurs de référence choisies sont celles du projet Satel-light. (<http://www.satel-light.com/>) Satel-Light est un programme de recherche européen dont l'objectif est de mettre à disposition, via Internet, une base de données de rayonnement solaire et de lumière naturelle couvrant l'Europe de l'Ouest et l'Europe Centrale. Les données ont été obtenues à partir des informations fournies toutes les 30 minutes, par le satellite européen Météosat et le modèle global a été recalé à l'aide de stations de mesures météo France.

Ainsi les valeurs obtenues prennent bien en compte la couverture nuageuse constatée sur une période de référence de 4 ans (1996 – 2000).

Une série de points de référence est choisie sur le terrain afin de couvrir de façon homogène le territoire, de préférence sur des zones au relief plat ou à pente peu prononcée. Ces points permettent d'établir les différences entre les valeurs théoriques et celles issus des données satellight. Une grille de correction est alors interpolée à partir de ces points sur la même résolution que la donnée d'entrée (25m).

La dernière étape consiste donc à multiplier la grille de correction météo à la grille de valeur issue du calcul brut.

### 2.2 Précautions à prendre

Les résultats obtenus sont issus de nombreux traitements automatisés. Que ce soit le calcul du rayonnement ou les redressements effectués à partir des données météorologiques, les résultats obtenus le sont à l'issue d'interpolations.

Les valeurs brutes en chaque pixel sont donc uniquement indicatives. Par contre, les comparaisons relatives entre zones proches donnent une bonne idée de la réalité du terrain.

D'autre part, le modèle numérique de terrain, comme déjà indiqué, ne prend pas en compte les masques proches que sont les bâtiments et la végétation. Ainsi, une zone de plateau peut apparaître comme favorable en terme de rayonnement solaire mais impropre du fait de son occupation du sol.

Enfin, cette cartographie ne tient pas compte des aspects réglementaires et environnementaux. Une

analyse plus approfondie sera nécessaire pour déterminer les zones d'exclusion ou défavorables liées aux zones de risques, à la préservation des terres agricoles et de la biodiversité et les contraintes patrimoniales et paysagères.

Cette carte du rayonnement solaire ne doit donc pas être utilisée de façon isolée mais toujours corroborée par une analyse locale tenant compte des particularités du terrain.

