

# 4. ENVIRONNEMENT

<b>4.0 Introduction et guide .....</b>	<b>295</b>
4.0.0 Introduction .....	295
4.0.1 Guide des étapes à suivre .....	295
<b>4.1 DECIBEL – Calcul des niveaux sonores .....</b>	<b>296</b>
4.1.0 Introduction .....	296
4.1.1 Méthodes de calcul .....	296
4.1.1.0 La méthode internationale DIN ISO 9613-3, générale .....	296
4.1.1.1 L'ISO 9613-2 paramétrée pour l'Allemagne .....	305
4.1.1.2 L'ISO 9613-2 paramétrée pour le Royaume-Uni .....	307
4.1.1.3 L'ISO 9613-2 paramétrée pour la France (2006) .....	309
4.1.1.4 L'ISO 9613-2 paramétrée pour la Norvège .....	311
4.1.1.5 La norme allemande VDI 2714 (obsolète) .....	313
4.1.1.6 Les normes danoises de 1991 .....	315
4.1.1.7 Les normes danoises de 2007 .....	317
4.1.1.8 Les normes danoises de 2011 .....	319
4.1.1.9 Les anciennes normes suédoises .....	321
4.1.1.10 Les normes suédoises de janvier 2002 .....	321
4.1.1.11 Les normes suédoises de 2009 .....	323
4.1.1.12 La norme hollandaise de 1999 .....	324
4.1.1.13 L'ancienne norme hollandaise IL-HR-13-01 .....	326
4.1.1.14 La norme hollandaise de 2010 .....	327
4.1.2 Entrée des données .....	332
4.1.2.0 Eoliennes .....	332
4.1.2.1 Zones-bruit-réglementé .....	333
4.1.2.2 Représentation des contraintes de distance sur la carte .....	337
4.1.3 Calculs et rapports .....	338
4.1.3.0 Paramétrage du calcul .....	338
4.1.3.1 Calculs .....	341
4.1.3.2 Rapports .....	344
4.1.3.3 Optimisation à l'écran .....	346
4.1.3.4 Génération d'une carte des émissions acceptables de bruit .....	348
<b>4.2 SHADOW – Durée du papillotement des ombres .....</b>	<b>351</b>
4.2.0 Introduction .....	351
4.2.1 Méthode de calcul .....	352
4.2.1.0 Modèle de calcul SHADOW .....	352
4.2.2 Entrée des données .....	353
4.2.2.0 Eoliennes .....	353
4.2.2.1 Récepteurs d'ombre .....	353
4.2.2.2 Paramétrage du calcul .....	354
4.2.2.3 Calculs .....	362
4.2.2.4 Rapports .....	362
<b>4.3 ZVI – Zones Visuellement Impactées .....</b>	<b>365</b>
4.3.0 Introduction .....	365
4.3.1 Méthode de calcul .....	365
4.3.2 Entrée des données .....	365
4.3.2.0 Eoliennes .....	366
4.3.2.1 Courbes de niveau .....	366
4.3.2.2 Hauteur de la couverture des sols .....	366
4.3.2.3 Obstacles .....	366
4.3.2.4 Radars .....	366
4.3.3 Calculs et rapports .....	366
4.3.3.0 Paramétrage du calcul .....	367
4.3.3.1 Calculs .....	369
4.3.3.2 Rapports .....	370

<b>4.4 IMPACT – Synthèse des nuisances sur les riverains .....</b>	<b>372</b>
4.4.0 Introduction .....	372
4.4.1 Calculs et rapports .....	372
<b>4.5 NORD2000. Modèle de avancé de calcul du bruit. ....</b>	<b>375</b>
4.5.0 Introduction et guide .....	375
4.5.0.0 Introduction .....	375
4.5.0.1 Guide des étapes à suivre .....	375
4.5.1 Calcul avec NORD2000.....	376
4.5.1.0 A propos de NORD2000.....	376
4.5.1.1 Calcul Ponctuel (conditions spécifiques) .....	378
4.5.1.2 Etendu (intervalles de vit. et dir. du vent) .....	385
4.5.1.3 Code suédois .....	386
4.5.1.4 Basé sur un fichier WiW .....	386
4.5.2 Rapports .....	389
4.5.2.0 Calcul Ponctuel (conditions spécifiques) .....	389
4.5.2.1 Etendu (intervalles de vit. et dir. du vent) .....	391
4.5.3 Bibliographie .....	393

## 4.0 Introduction et guide

---

### 4.0.0 Introduction

L'impact sur l'environnement des projets éoliens prend de plus en plus d'importance. Etant donné la taille croissante des projets et des éoliennes, l'impact environnemental est devenu un facteur décisif dans le choix des lieux d'implantation.

Notre souhait est de faciliter, avec WindPRO, le calcul des impacts environnementaux et la production des documents requis par les autorités et les riverains.

Note : la présentation l'impact visuel à l'aide de photomontages et d'autres modes de visualisation fait l'objet d'une section séparée.

---

### 4.0.1 Guide des étapes à suivre

- Création du projet et importation des cartes (voir 2.4 de la section 2, BASIS).
- Introduction des données altimétriques via un objet Données-lignes ou un objet Maille-altimétrique afin de ne pas avoir à renseigner l'altitude des objets manuellement.
- Création des objets adéquats : *Zones-bruit-réglémenté* pour DECIBEL, *Récepteurs-d'ombres* pour SHADOW, *Données-surfaces* et *Obstacles* pour ZVI.
- Lancement des calculs DECIBEL, SHADOW ou ZVI.
- Impressions des rapports.

## 4.1 DECIBEL – Calcul des niveaux sonores

---

### 4.1.0 Introduction

Le module DECIBEL permet de calculer les niveaux sonores du bruit résultant du fonctionnement des éoliennes et de vérifier leur conformité avec les réglementations applicables aux points d'impact étudiés.

Il permet également de vérifier que les distances réglementaires entre les éoliennes et ces points sont respectées.

De plus, DECIBEL permet de présenter ces niveaux sous forme d'isophones ou de raster afin de visualiser sur les cartes les zones affectés par les nuisances sonores.

Une des grandes forces de WindPRO est son interface graphique. Elle permet de définir les zones dont le bruit est réglementé et de placer les éoliennes directement sur le fond de carte à l'écran.

Notes sur le vocabulaire utilisé :

*Zone-bruit-réglémenté*, *Point-d'impact-sonore*, *Riverain* désignent la zone ou le point où la nuisance sonore est étudiée.

La *Source sonore* désigne l'élément émetteur de bruit c'ad les éoliennes dans le présent contexte.

---

### 4.1.1 Méthodes de calcul

Le calcul de la nuisance sonore, d'une ou plusieurs éoliennes, en un point ou dans une zone, requiert les données de départ suivantes:

- les coordonnées des positions des éoliennes (x, y, z),
- les niveaux globaux ( $L_{wa,ref}$ ), éventuellement en bandes d'octave, de la source sonore en fonction de la vitesse du vent et de la hauteur de moyeu pour chaque éolienne,
- l'information sur l'émission de tons isolés par les sources,
- les coordonnées de la zone réglementée étudiée,
- les valeurs réglementaires à respecter,
- un modèle de calcul.

Pour un certain nombre de pays les modèles de calcul sont prédéfinis dans WindPRO. C'est l'utilisateur qui doit se renseigner et choisir la réglementation applicable au projet.

S'il n'y a pas le modèle correspondant à la réglementation du pays, il est, en général, possible d'adapter le modèle de la norme ISO-9613-2 au cas particulier.

Selon le modèle, les données nécessaires au calcul peuvent varier.

#### 4.1.1.0 La méthode internationale DIN ISO 9613-3, générale

L'ISO 9313-2 « Attenuation of sound during propagation outdoors, Part 2. A general method of calculation » décrit la propagation du son en milieu ouvert.

##### Paramétrage du calcul

La norme générale permet de choisir les valeurs de certains paramètres, ce qui permet de l'adapter à beaucoup de réglementations.

La fenêtre de paramétrage est présentée à la Figure 1 suivante.

Figure 1

### Vitesse du vent

*Vitesse de vent fixée* : le calcul est effectué uniquement pour la vitesse de vent indiquée dans le champ à droite.

*Intervalle de vitesses de vent* : le calcul est effectué pour les différentes vitesses de vent définies par un intervalle et un pas. Si elle est disponible, la valeur du niveau sonore de chaque source pour chaque vitesse de vent sera automatiquement extraite de la *Bibliothèque d'éoliennes*.

*95% P nominale* : le calcul est effectué avec le niveau sonore de l'éolienne fonctionnant à 95% de sa puissance nominale. Si cette valeur ne se trouve pas dans la *Bibliothèque d'éoliennes*, WindPRO la demandera à l'utilisateur.

*95% P nominale, à défaut vitesse ci-contre* : le calcul est effectué avec le niveau sonore de l'éolienne fonctionnant à 95% de sa puissance nominale, à défaut WindPRO utilisera le niveau sonore correspondant à la vitesse de vent indiquée dans le champ à droite, si cette dernière fait également défaut alors WindPRO demandera à l'utilisateur de la fournir.

*95% P nominale, à défaut valeur la + forte*

### Bandes oct. requises

En cochant cette option, on impose que les calculs soient faits avec les niveaux sonores exprimés en bandes d'octave. S'ils ne sont pas disponibles sous ce format, WindPRO demandera à l'utilisateur de les fournir lors du lancement du calcul. Par défaut cette option est cochée.

L'expression des niveaux en bandes d'octave est obligatoire quand l'*Atténuation du sol* est calculée avec la méthode *Générale*. Les deux formes d'expression des niveaux sonores - bandes d'octave et dB(A) - peuvent être utilisées quand l'*Atténuation du sol* est calculée avec la méthode *Alternative*.

**Distribution spectrale**

En cochant cette option les calculs sont faits pour chacune des fréquences normalisées (125Hz, 250Hz, 500Hz, 1000Hz, 2000Hz, 4000Hz) au lieu d'être faits uniquement pour les niveaux sonores globaux. Cette option doit être cochée pour calculer les *Emergences spectrales* de la réglementation française.

**Atténuation du sol**

*Aucune* : aucune atténuation du son par le sol n'est introduite dans le calcul. Les conditions approchantes sont celles de la surface très lisse d'un site offshore.

*Générale* : correspond à l'atténuation du son par le sol, dans le cas général, telle que décrite dans l'ISO 9613-2. L'utilisateur doit indiquer la « porosité » du sol par une valeur comprise entre 0 et 1 où 0 représente une surface dure et 1 une surface « poreuse ». Sa valeur par défaut est fixée à 1 et conviendra dans la plupart des cas, mais il est recommandé de vérifier sa pertinence au cas par cas. Les niveaux sonores des sources doivent être exprimés en bandes d'octave, sinon, la méthode « alternative » sera automatiquement utilisée.

Cette méthode ne peut être utilisée qu'en terrain plat, horizontal ou à pente constante, si ce n'est pas le cas, il est conseillé d'utiliser la méthode *Alternative* décrite à la suite.

*Alternative* : correspond à l'atténuation du son par le sol, dans le cas alternatif au cas général, telle que décrite dans l'ISO 9613-2. Cette méthode utilise l'orographie du terrain. L'atténuation est calculée à partir de la moyenne des hauteurs comprises entre la surface du sol et le segment joignant la source et le point d'impact étudié. Une vallée entre la source et le point d'impact introduira une faible atténuation alors qu'une colline introduira une forte atténuation. Faute d'orographie (courbes de niveau), le modèle considère que le terrain entre la source et le point d'impact est plat avec une pente constante. La méthode *Alternative* s'utilise lorsque :

- on s'intéresse aux niveaux sonores en dB(A) seulement,
- lorsque le sol est à dominante « poreux »
- lorsque le son émis par la source ne contient de tonalités isolées.

Une description plus approfondie de ces méthodes est donnée dans la partie théorique présentée dans la suite.

**Coefficient météorologique**

Une valeur comprise entre 1 et 5 peut être donnée au *Coefficient météorologique*. Ce coefficient est sensé rendre compte l'atténuation introduite par des conditions météorologique particulières (propagation opposée à la direction du vent). EMD recommande de le laisser égal à 0, ce qui convient dans la plupart des cas (propagation dans la direction du vent).

**Type de contrainte considérée**

*1* : le bruit dû aux éoliennes est comparé aux seuil réglementaire (DK, DE, SE, etc.) :

Seul le bruit résultant du fonctionnement des éoliennes est comparé aux seuils réglementaires applicables au point d'impact étudié. Le calcul peut être fait pour plusieurs vitesses de vent en utilisant un seuil fixe ou des seuils fonction de la vitesse du vent. Ce *Type de contrainte* correspond aux réglementations en vigueur au Danemark, l'Allemagne et la Suède.

*2* : l'émergence due aux éoliennes est comparée à l'émergence réglementaire (FR, etc...) :

Dans ce cas c'est l'accroissement (*Emergence*) du niveau du bruit ambiant (*Bruit résiduel*) résultant du fonctionnement des éoliennes qui est comparé à une valeur maximale autorisée. Ce *Type de contrainte* correspond, entre autres, à la réglementation française.

*3* : le bruit dû aux éoliennes est comparé au bruit résiduel + une marge réglementaire (UK, AT, etc.) :

Ce type est similaire au précédent, mais ici, c'est le bruit résultant du fonctionnement des éoliennes qui est comparé au bruit résiduel + la marge réglementaire. Ce *Type de contrainte* correspond aux réglementations du Royaume-Uni et de l'Australie.

**Grandeurs de bruit utilisées dans les calculs**

*Toutes les valeurs sont des niveaux moyens Lwa (distribution normale)* : c'est le paramétrage habituel. Les niveaux sonores des bruits émis et reçus sont des niveaux moyens équivalents (Lwa)

*Toutes les valeurs sont des niveaux L90* : le L90 est le niveau de bruit qui est dépassé par 90% du temps. Quand cette option est choisie, le bruit résiduel et le niveau sonore des éoliennes doivent être exprimés en L90. A cet

effet, les niveaux L<sub>wa</sub> des éoliennes sont utilisés en leur appliquant une réduction de 2 dB afin d'obtenir une approximation du L<sub>90</sub>. Les niveaux L<sub>90</sub> sont utilisés au Royaume-Uni.

### Application de la Pénalité pour tons isolés

*En ajoutant à la source de bruit la pénalité pour tons isolés et bruits impulsionnels* : si l'éolienne produit des tonalités isolées, une pénalité est ajoutée au niveau sonore émis par l'éolienne. La pénalité varie selon la réglementation. Les éoliennes modernes émettent très rarement des tons isolés.

*En augmentant la contrainte par la pénalité pour tons isolés* : si cette option est choisie, la valeur de la pénalité est retranchée de la contrainte à respecter au lieu d'être ajoutée au niveau sonore émis par l'éolienne.

### Hauteur du calcul si non indiqué dans l'objet Zone-bruit-réglémenté

Ce champ sert à indiquer la hauteur du point d'impact étudié. Les hauteurs varient suivant les réglementations (les hauteurs typiques sont 1, 4 et 5m).

Si l'option *Permettre substitution hauteur du modèle par celle de l'objet Zone-bruit-réglémenté* est cochée, les hauteurs de calcul spécifiées dans les objets *Zone-bruit-réglémenté* remplaceront celle indiquée dans ce champ.

### Modification de la contrainte réglementaire

Cette option permet de modifier la valeur de la contrainte. Par exemple, si une l'administration demande une marge de 2 dB pour tenir compte des incertitudes, on pourra entrer -2 dans le champ prévu à cet effet. Dans le rapport la contrainte apparaîtra de cette façon : 45-2=43 dB.

### Atténuation de l'air

Chaque modèle de calcul vient avec son paramétrage particulier. Un clic sur ce bouton permet d'afficher les valeurs utilisées. Par défaut, les valeurs correspondant à une température de 10°C et 70% d'humidité sont utilisées. Les atténuations peuvent être modifiées à votre convenance en sélectionnant *Valeurs utilisateur* dans le menu.

Si le niveau sonore est exprimé en dB(A), l'atténuation appliquée est celle indiquée dans le champ *Si seul le niveau global du bruit est connu....*

Modification des coefficient d'atténuation atmosphérique

Modèle pour le calcul des niveaux du bruit  
SO 9613-2 Générale

Si seul le niveau global du bruit est connu l'atténuation appliquée est [dB/km]  
1,9

Si la distribution spectrale est connue les atténuations appliquées sont [dB/km]

62.5 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
0,1	0,4	1,0	1,9	3,7	9,7	32,8	117,0

Ok Annuler

Implémentation de la théorie de l'ISO 9613-2 dans WindPRO**1<sup>ère</sup> partie : formules utilisées quand les niveaux sonores ne sont pas exprimés en bandes d'octave.**

Les niveaux sonores des éoliennes sont exprimés globalement en appliquant une pondération A et l'atténuation atmosphérique est calculée à la fréquence de 500Hz. Note : dans ce cas, faute de niveaux exprimés en bandes d'octave, l'atténuation du son par le sol ne peut pas être calculée avec méthode *Générale*.

Le niveau sonore à une distance  $d$  de la source est donné par la formule suivante :

$$L_{AT}(DW) = L_{WA} + D_C - A \quad (1)$$

où :

$L_{WA}$  = niveau sonore global de la source exprimé en dB(A) (niveau global avec pondération A)

$D_C$  = correction pour prendre en compte la directivité (0 dB pour une source sans directivité) et la réflexion par le sol  $D_\Omega$  (nécessaire car la méthode *Alternative* d'atténuation par le sol, Agr, est utilisée).

où :

$$D_C = D_\Omega - 0 \quad (2)$$

$D_\Omega$  est calculé comme suit :

$$D_\Omega = 10 \log\{1 + [d_p^2 + (h_s - h_r)^2] / [d_p^2 + (h_s + h_r)^2]\} \quad (3)$$

où :

$h_s$  = hauteur de la source (hauteur du moyeu)

$h_r$  = hauteur du point étudié (paramètre de calcul ajustable, fixée à 5m habituellement)

$d_p$  = distance, au sol, entre la source et le point étudié. Elle se calcule à partir des coordonnées x et y de la source (indice s) et du point étudié (indice r) avec la formule suivante :

$$d_p = \sqrt{(x_s - x_r)^2 + (y_s - y_r)^2} \quad (4)$$

$A$  = atténuation entre la source (nacelle de l'éolienne) et le point étudié. Elle calculée comme suit :

$$A = A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc} \quad (5)$$

où :

$A_{div}$  est l'atténuation due à la divergence géométrique, elle se calcule comme suit :

$$A_{div} = 20 \log(d/1m) + 11 \text{ dB} \quad (6)$$

où :

$d$  = distance entre la source et le point d'impact étudié.

$A_{atm}$  est l'atténuation atmosphérique, elle se calcule comme suit :

$$A_{atm} = \alpha_{500} d / 1000 \quad (7)$$

où :

$\alpha_{500}$  est l'atténuation de l'air (= 1,9 dB/km à 500Hz) dans les conditions d'atténuation minimale ( $tp^0 = 10^\circ\text{C}$ , humidité relative = 70%).

$A_{gr}$  est l'atténuation par le sol, elle se calcule comme suit :

$$A_{gr} = 4,8 - (2 h_m/d) (17 + 300/d) \quad (8)$$

si  $A_{gr} < 0$  alors  $A_{gr} = 0$

où :

$d$  = distance entre la source et le point d'impact étudié.

$h_m$  = hauteur moyenne (en mètre) de la propagation du son.

Si aucune donnée orographique n'est présente alors  $h_m$  est calculée comme suit :

$$h_m = (h_s + h_r) / 2 \quad (9a)$$

Si un modèle numérique du terrain est disponible, on calcule  $h_m$  comme suit :

$$h_m = F / d \quad (9b)$$

où :

$F$  = aire délimitée par le segment joignant la source (moyeu de l'éolienne) au point d'impact étudié et la surface du sol.

$A_{bar}$  est l'atténuation due à des barrières anti-bruit, habituellement  $A_{bar} = 0$ .



$A_{misc}$  est la somme des autres atténuations pouvant se produire (végétation, constructions, etc.), habituellement  $A_{misc}=0$ .

$C_{met}$  est une atténuation additionnelle qui peut être introduite pour prendre en compte des conditions météorologique particulières, elle se calcule comme suit :

$$C_{met} = 0, \text{ si } d_p < 10(h_s+h_r)$$

$$C_{met} = C_0[1-10(h_s+h_r)/d_p], \text{ si } d_p > 10(h_s+h_r)$$

où :

$d_p$  = distance, au sol, entre la source et le point d'impact étudié

0dB <  $C_0$  < 5dB en fonction des conditions météo. L'emploi de valeurs supérieures à 2dB est possible dans des conditions exceptionnelles. On peut entrer  $C_0$  dans WindPRO lors du paramétrage du calcul.

## 2ème partie : formules utilisées quand les niveaux sonores sont disponibles en bandes d'octave.

Si les niveaux sonores sont disponibles en bandes d'octaves dans les fiches de la *Bibliothèque d'éoliennes*, ils sont automatiquement utilisés par WindPRO. Les niveaux en bandes d'octave permettent de calculer l'atténuation du bruit par le sol en utilisant la méthode dite *Générale*.

Le niveau sonore à une distance  $d$  de la source est donné par la formule suivante :

$$L_{AT}^{(DW)} = 10 \log \left[ 10^{0,1L_{AfT}(63)} + 10^{0,1L_{AfT}(125)} + 10^{0,1L_{AfT}(250)} + 10^{0,1L_{AfT}(500)} + 10^{0,1L_{AfT}(1k)} + 10^{0,1L_{AfT}(2k)} + 10^{0,1L_{AfT}(4k)} + 10^{0,1L_{AfT}(8k)} \right] \quad (10)$$

où :

$L_{AfT}$  sont les niveaux pondérés A des bandes normalisées centrées sur les fréquences 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 et 8000 Hz. Ils se calculent avec formule suivante :

$$L_{AfT}^{(DW)} = (L_W + A_f) + D_c - A \quad (11)$$

où :

$L_W$  = niveau non pondéré de la bande considérée.

$A_f$  = pondération A appliquée à la bande considérée, telle que définie par l'IEC 651. Lorsque WindPRO applique des pondérations A, il utilise les valeurs définies dans l'IEC 651.

$D_c$  = correction pour prendre en compte la directivité, 0 dB pour une source sans directivité, et la réflexion par le sol. Si la méthode *Générale* est utilisée pour calculer l'atténuation par le sol, alors  $D_\Omega = 0$  et par conséquent  $D_c = 0$ . Dans le cas où la méthode *Alternative* est utilisée alors  $D_c$  est calculé comme indiqué dans la 1<sup>ère</sup> partie.

$A$  = atténuation de la bande considérée entre la source (nacelle de l'éolienne) et le point d'impact étudié. Elle calculée comme suit :

$$A = A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc} \quad (12)$$

où :

$A_{div}$  est l'atténuation due à la divergence géométrique (distance  $D_s$  de la VDI 2714)

$A_{atm}$  est l'atténuation atmosphérique fonction de la fréquence (atténuation DL de la VDI 2714)

$A_{gr}$  est l'atténuation par le sol (et météorologique = valeurs DBM de la VDI 2714)

$A_{bar}$  est l'atténuation due à des barrières anti-bruit, le cas le plus défavorable est donné par  $A_{bar}=0$ .

$A_{misc}$  est la somme des autres atténuations pouvant se produire (végétation, constructions, etc.), le cas le plus défavorable est donné par  $A_{misc}=0$ .

L'atténuation atmosphérique dépend de la fréquence du son. Elle est donnée par :

$$A_{atm} = \alpha_f d / 1000 \quad (13)$$

où :

$\alpha_f$  = coefficient d'atténuation correspondant à la bande d'octave considérée

Ce coefficient est fortement dépendant de la fréquence du son, de la température ambiante et de l'humidité relative de l'atmosphère. Dans les conditions d'atténuation minimale ( $t_p^0 = 10^\circ\text{C}$ , humidité relative = 70%) les valeurs du coefficient sont données par le tableau suivant :

Fréquence centrale de la bande, [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$\alpha_f$ , [dB/km]	0,1	0,4	1	1,9	3,7	9,7	32,8	117

L'atténuation par le sol  $A_{gr}$ , quand elle est calculée avec la méthode *Générale* utilise la formule suivante :

$$A_{gr} = A_s + A_r + A_m \quad (14)$$

où :

$A_s$  est l'atténuation par la partie du sol entourant la source sur un rayon de  $30h_s$ , il va de soit que son maximum =  $d_p$ . Cette zone est caractérisée par sa « porosité »  $G_s$ . Sa valeur est comprise entre 0 (sol dur) et 1 (sol « poreux »).

$A_r$  est l'atténuation par la partie du sol entourant le point d'impact étudié sur un rayon de  $30h_r$ , il va de soit que son maximum =  $d_p$ . Cette zone est caractérisée par sa « porosité »  $G_r$ .

$A_m$  est l'atténuation par la partie du sol située entre les deux zones définies antérieurement. Cette zone est caractérisée par sa « porosité »  $G_m$ . Si la zone autour de la source et la zone autour du point étudié se chevauchent, il n'y a pas de partie intermédiaire.

Dans WindPRO, une valeur de « porosité »  $G$  unique est utilisée :

$$G = G_s = G_r = G_m \quad (15)$$

La valeur de  $G$  est donnée par le *Facteur sol* lors du paramétrage du calcul.

Le tableau de la Figure 2, extrait de l'ISO 9613-2, montre comment sont calculées les valeurs  $A_s$ ,  $A_r$  et  $A_m$ .

Nominal midband frequency Hz	$A_s$ or $A_r$ <sup>1)</sup> dB	$A_m$ dB
63	- 1,5	- $3q$ <sup>2)</sup>
125	- $1,5 + G \times a'(h)$	- $3q(1 - G_m)$
250	- $1,5 + G \times b'(h)$	
500	- $1,5 + G \times c'(h)$	
1 000	- $1,5 + G \times d'(h)$	
2 000	- $1,5(1 - G)$	
4 000	- $1,5(1 - G)$	
8 000	- $1,5(1 - G)$	

NOTES

$$a'(h) = 1,5 + 3,0 \times e^{-0,12(h-5)^2} \left(1 - e^{-d_p/50}\right) + 5,7 \times e^{-0,09h^2} \left(1 - e^{-2,8 \times 10^{-6} \times d_p^2}\right)$$

$$b'(h) = 1,5 + 8,6 \times e^{-0,09h^2} \left(1 - e^{-d_p/50}\right)$$

$$c'(h) = 1,5 + 14,0 \times e^{-0,46h^2} \left(1 - e^{-d_p/50}\right)$$

$$d'(h) = 1,5 + 5,0 \times e^{-0,9h^2} \left(1 - e^{-d_p/50}\right)$$

1) For calculating  $A_s$ , take  $G = G_s$  and  $h = h_s$ . For calculating  $A_r$ , take  $G = G_r$  and  $h = h_r$ . See 7.3.1 for values of  $G$  for various ground surfaces.

2)  $q = 0$  when  $d_p \leq 30(h_s + h_r)$

$$q = 1 - \frac{30(h_s + h_r)}{d_p} \quad \text{when } d_p > 30(h_s + h_r)$$

where  $d_p$  is the source-to-receiver distance, in metres, projected onto the ground planes.

Figure 2

### Calcul du niveau moyen sur le long terme résultant des émissions de plusieurs sources

Au point d'impact étudié, le niveau de bruit  $L_{AT}$  résultant des émissions de  $n$  sources (éoliennes) se calcule avec la formule suivante :

$$L_{AT}(LT) = 10 \cdot \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1(L_{ATi} - C_{met} + K_{Ti} + K_{li})} \quad (14)$$

où :

$L_{AT}$  = niveau sonore au point d'impact étudié

$L_{ATi}$  = niveau sonore au point d'impact étudié de la source  $i$  ( $i$  est l'indice identifiant la source).

$K_{Ti}$  = pénalité en cas d'émission de tons isolés par la source  $i$

$K_{li}$  = pénalité en cas d'émission de bruit impulsionnel par la source  $i$

$C_{met}$  est l'atténuation météorologique décrite antérieurement, elle se calcule comme suit :

$C_{met} = 0$ , si  $d_p < 10(h_s + h_r)$

$C_{met} = C_0[1 - 10(h_s + h_r)/d_p]$ , si  $d_p > 10(h_s + h_r)$

où :

$d_p$  = distance, au sol, entre la source et le point d'impact étudié

0dB <  $C_0$  < 5dB en fonction des conditions météo. L'emploi de valeurs supérieures à 2dB est possible dans des conditions exceptionnelles. On peut entrer  $C_0$  dans WindPRO lors du paramétrage du calcul.

### 3ème partie : formules utilisées pour les calculs des niveaux Ljsn (utilisés en Norvège).

Ljsn est un niveau moyen pondéré. La pondération est faite en donnant des poids différents aux trois périodes de la journée qui sont le jour, le soir et la nuit d'où le nom Ljsn.

La formule de calcul est donnée et expliquée à la suite. Elle est extraite de la réglementation norvégienne « Statens Forurensningstilsyn's spreadsheet lden\_lekv\_driftstid.xls ».

Dans cette formule  $den=jsn$ ,  $day=jour$ ,  $eve=soir$ ,  $night= nuit$  et les niveaux  $L$  sont des niveaux  $L_{eq}$  comme les niveaux  $L_{wa}$  de WindPRO.

$$L_{den} = 10 * \log \left( \frac{10^{\frac{L_{day,y}}{10}} * t_{day} + 10^{\frac{L_{eve,y} + P_{eve}}{10}} * t_{eve} + 10^{\frac{L_{night,y} + P_{night}}{10}} * t_{night}}{24} \right)$$

où :

$t_{day}$  = durée du jour, typiquement 12 heures,

$t_{eve}$  = durée du soir, typiquement 4 heures,

$t_{night}$  = durée de la nuit, typiquement 8 heures,

$P_{eve}$  = pénalité appliqué au niveau du soir, typiquement 5 dB,

$P_{night}$  = pénalité appliqué au niveau de la nuit, typiquement 10 dB,

$L_{day,y}$  = niveau annuel moyen du bruit le jour, donné par la formule suivante :

$$L_{day,y} = 10 * \log \left( \frac{10^{\frac{L_{day,d}}{10}} * O_y}{365} \right)$$

où :

$O_y$  = nombre de jours par an de fonctionnement des éoliennes, typiquement 290 jours,

$L_{day,y}$  = niveau moyen du jour calculé de la manière suivante si les éoliennes sont arrêtées une partie du jour :

$$L_{day,d} = 10 * \log \left( \frac{10^{\frac{L_{eq24,day}}{10}} * t_{day}}{12} \right)$$

$L_{eve,y}$  = niveau annuel moyen du bruit le soir, donné par la formule suivante :

$$L_{eve,y} = 10 * \log \left( \frac{10^{\frac{L_{eve,d}}{10}} * O_y}{365} \right)$$

Où :

$$L_{eve,d} = 10 * \log \left( \frac{10^{\frac{L_{eq24,eve}}{10}} * t_{eve}}{4} \right)$$

$L_{night,y}$  = niveau annuel moyen du bruit la nuit, donné par la formule suivante :

$$L_{night,y} = 10 * \log \left( \frac{10^{\frac{L_{night,d}}{10}} * O_y}{365} \right)$$

Où :

$$L_{night,d} = 10 * \log \left( \frac{10^{\frac{L_{eq24,night}}{10}} * t_{night}}{8} \right)$$

### 4.1.1.1 L'ISO 9613-2 paramétrée pour l'Allemagne

Le modèle de calcul ISO 9613-2 Allemagne est un adaptation de l'ISO 9613-2 pour répondre à la réglementation allemande.

#### Paramétrage du calcul

La Figure 3 montre le paramétrage de l'ISO 9613-2 quand le *Modèle utilisé pour les calculs du bruit ISO 9613-2 Allemagne* est choisi.

Les champs grisés ne peuvent pas être modifiés. Par défaut ils sont masqués ; pour les visualiser il faut cocher l'option *Afficher détails*.

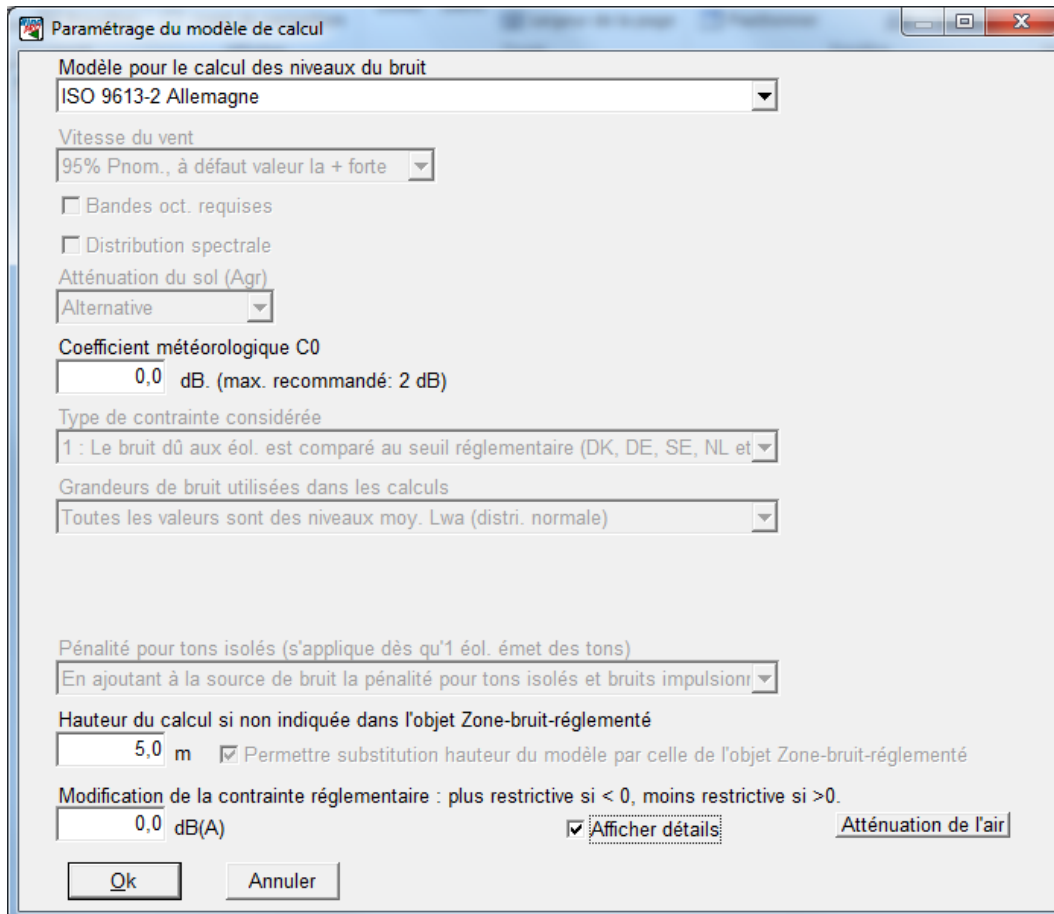


Figure 3

#### **Vitesse du vent**

*95% P nominale, à défaut valeur la + forte* : le calcul est effectué avec le niveau sonore de l'éolienne fonctionnant à 95% de sa puissance nominale et s'il pas disponible le calcul est effectué avec le niveau sonore le plus fort présent.

#### **Bandes d'octave requises**

Non.

#### **Atténuation du sol**

La méthode *Alternative* est utilisée.

#### **Coefficient météorologique**

Laisse à l'appréciation de l'utilisateur. Il est recommandé de ne pas dépasser 2 dB.

#### **Type de contrainte considérée**

Seul le bruit résultant des éoliennes est comparé aux seuils réglementaires applicables au point d'impact étudié.

### **Grandeurs de bruit utilisées dans les calculs**

Les niveaux sonores des bruits émis et reçus sont des niveaux moyens équivalents (L<sub>wa</sub>)

### **Application de la Pénalité pour tons isolés**

Si l'éolienne produit des tonalités isolées ou un bruit impulsionnel, une pénalité est ajoutée au niveau de sonore de l'éolienne. Si elle est disponible, sa valeur est extraite de la fiche de l'éolienne de la bibliothèque. Elle est typiquement comprise entre 3 et 6 dB.

### **Hauteur du calcul si non indiqué dans l'objet Zone-bruit-règlementé**

Par défaut elle est fixée à 5 m, mais elle peut être modifiée.

### **Modification de la contrainte réglementaire**

Elle est laissée à l'appréciation de l'utilisateur.

### **Paramétrage de l'objet Zone-bruit-règlementé**

Les contraintes réglementaires se définissent dans l'objet *Zone-bruit-règlementé* que l'on positionne à l'emplacement à étudier. Ici la contrainte porte sur le niveau de bruit résultant du fonctionnement des éoliennes et non sur le niveau du bruit ambiant.

En Allemagne, la réglementation sur les nuisances sonores émane de la "Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG)".

Tout projet de construction doit être conforme aux dispositions du "TA-Lärm 1998" (Guide technique de protection contre le bruit).

La réglementation relative à la construction (BauNVO, 1990) et le TA-Lärm ont défini les seuils de bruit maximaux (la nuit) suivants:

- 35 dB(A) pour les zones résidentielles sensibles, de loisir et de santé
- 40 dB(A) pour les zones résidentielles (en majorité des appartements)
- 45 dB(A) pour les villages et les propriétés sans usage particulier
- 50 dB(A) pour les zones commerciales
- 70 dB(A) pour les zones industrielles

Habituellement, c'est le seuil de 45 dB(A) qui s'applique aux projets éoliens. Ce seuil peut inclure les pénalités évoquées antérieurement, ou pas, cela dépend des autorités locales.

### 4.1.1.2 L'ISO 9613-2 paramétrée pour le Royaume-Uni

Le modèle de calcul ISO 9613-2 Royaume-Uni est une adaptation de l'ISO 9613-2 pour répondre aux recommandations de l'ETSU R-97 britannique.

#### Paramétrage du calcul

La Figure 4 montre le paramétrage de l'ISO 9613-2 quand le *Modèle utilisé pour les calculs du bruit ISO 9613-2 Royaume-Uni* est choisi.

Les champs grisés ne peuvent pas être modifiés. Par défaut ils sont masqués ; pour les visualiser il faut cocher l'option *Afficher détails*.

Figure 4

#### Vitesse du vent

Les calculs sont faits pour les vitesses de vent de l'intervalle [4m/s, 12m/s]. Si les niveaux sonores correspondants ne sont pas disponibles dans la *Bibliothèque d'éoliennes*, ils seront demandés à l'utilisateur.

#### Bandes d'octave requises

Les niveaux sonores en bandes d'octaves sont requis. S'ils ne sont pas disponibles dans la *Bibliothèque d'éoliennes*, ils seront demandés à l'utilisateur.

#### Atténuation du sol

La méthode *Générale* est utilisée, c'est à l'utilisateur d'indiquer le *Facteur sol* ; au Royaume-Uni, il est égal à 1, en général.

#### Coefficient météorologique

Laisse à l'appréciation de l'utilisateur. Il est recommandé de ne pas dépasser 2 dB.

**Type de contrainte considérée**

Le bruit résultant du fonctionnement des éoliennes est comparé au bruit résiduel plus une marge. Des informations supplémentaires sont données au paragraphe « Paramétrage de l'objet *Zone-bruit-réglementé* » présenté à la suite.

**Grandeurs de bruit utilisées dans les calculs**

Le bruit résiduel et le niveau sonore des éoliennes doivent être exprimés en L90, qui est le niveau dépassé pendant 90% du temps. A cet effet, les niveaux Lwa des éoliennes sont réduits de 2 dB afin d'obtenir une approximation du L90.

**Application de la Pénalité pour tons isolés**

Si l'éolienne produit des tonalités isolées ou un bruit impulsif, une pénalité est ajoutée au niveau de sonore de l'éolienne. Si elle est disponible, sa valeur est extraite de la fiche de l'éolienne de la bibliothèque. Elle est typiquement comprise entre 3 et 6 dB.

**Hauteur du calcul si non indiqué dans l'objet *Zone-bruit-réglementé***

La hauteur est forcée à 4m.

**Modification de la contrainte réglementaire**

Elle est laissée à l'appréciation de l'utilisateur.

**Paramétrage de l'objet *Zone-bruit-réglementé***

Le bruit résiduel L90 doit être entré dans l'objet *Zone-bruit-réglementé* pour chacune des vitesses comprises entre 4 m/s et 12 m/s. La marge qui s'ajoute au bruit résiduel est appelée *Emergence max.* dans l'objet *Zone-bruit-réglementé* et sa valeur est 5 dB pour le jour et pour la nuit.

L'ETSU R-97 Britannique définit également des valeurs minimales L90 de bruit résultant du fonctionnement des éoliennes en dessous desquelles il y a toujours conformité. Ces valeurs sont 35-40 dB le jour et 43 dB la nuit. Ces seuils peuvent être entrés dans le champ *Pas de contrainte si le niveau global reste <= à*.



### 4.1.1.3 L'ISO 9613-2 paramétrée pour la France (2006)

La réglementation française n'impose aucun modèle de propagation. Il est supposé que le modèle utilisé calcule correctement.

Le modèle de calcul ISO 9613-2 France est une adaptation de l'ISO 9613-2 pour répondre à la réglementation française

#### Paramétrage du calcul

La Figure 5 montre le paramétrage de l'ISO 9613-2 quand le *Modèle utilisé pour les calculs du bruit ISO 9613-2 France* est choisi.

Les champs grisés ne peuvent pas être modifiés. Par défaut ils sont masqués ; pour les visualiser il faut cocher l'option *Afficher détails*.

Figure 5

#### Vitesse du vent

Le calcul se fait en général sur la plage de vitesses de vent [4m/s, 8m/s] à 10m de hauteur. Si les niveaux sonores correspondants ne sont pas disponibles dans la *Bibliothèque d'éoliennes*, ils seront demandés à l'utilisateur.

#### Bandes d'octave requises

Les niveaux sonores en bandes d'octave ne sont pas requis pour les calculs de l'*Emergence globale*, sauf si l'option *Atténuation sol Générale* est choisie. Par contre, ils sont requis pour faire le calcul d'*Emergence spectrale*. S'ils ne sont pas disponibles dans la *Bibliothèque d'éoliennes*, ils seront demandés à l'utilisateur.

#### Atténuation du sol

La réglementation n'impose aucune méthode. Le choix est laissé à l'appréciation de l'utilisateur. De manière générale on utilisera la méthode *Générale* dans les cas où la « porosité » est particulière (par exemple, propagation au-dessus de l'eau) et la méthode *Alternative* quand le relief est prononcé. Si l'*Emergence spectrale* doit être calculé alors il faut utiliser la méthode *Générale*.

### **Coefficient météorologique**

Il est laissé à l'appréciation de l'utilisateur. Il est recommandé de ne pas dépasser 2 dB.

### **Type de contrainte considérée**

L'augmentation du bruit ambiant due au fonctionnement des éoliennes, appelé *Emergence*, est comparée à l'émergence réglementaire. Le bruit ambiant sans les éoliennes à l'emplacement du point d'impact étudié, appelé *Bruit résiduel*, devra être entré l'objet *Zone-bruit-réglementé* pour chaque vitesse de vent considérée dans le calcul.

### **Grandeurs de bruit utilisées dans les calculs**

Tous les niveaux sonores sont des niveaux moyens équivalents (Lwa)

### **Application de la Pénalité pour tons isolés**

La contrainte est augmentée de la valeur de la pénalité, mais comme la réglementation ne prévoit aucune pénalité cette dernière = 0 (champ *Pénalité*).

### **Hauteur du calcul si non indiqué dans l'objet Zone-bruit-réglementé**

La réglementation n'impose aucune hauteur. La hauteur du calcul devra être identique à celle à laquelle les mesures de bruit résiduel ont été faites.

### **Modification de la contrainte réglementaire**

Elle est laissée à l'appréciation de l'utilisateur.

### **Paramétrage de l'objet Zone-bruit-réglementé**

Les informations qui doivent être entrées varient suivant la contrainte étudiée :

- *Emergence globale diurne*

Les valeurs du *Bruit résiduel* diurne mesurées doivent être entrées pour chaque vitesse de vent considérée dans le calcul. L'*Emergence max* est fixée à 5 dB(A) conformément à la réglementation.

- *Emergence globale nocturne*

Les valeurs du *Bruit résiduel* nocturne mesurées doivent être entrées pour chaque vitesse de vent considérée dans le calcul. L'*Emergence max* est fixée à 3 dB(A) conformément à la réglementation.

- *Emergence spectrale*

Les valeurs du *Bruit résiduel* mesurées doivent être entrées (en dB) pour chaque bande d'octave et pour chaque vitesse de vent considérée dans le calcul. Les *Emergences max.* sont fixées à 7 dB pour les bandes d'octave centrées sur 125 Hz et 250 Hz et à 5dB pour celles centrées sur 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz et 4000 Hz conformément à la réglementation.

Ces émergences sont typiquement calculées pour des vitesses de vent (à 10m de hauteur) comprises entre 4 m/s et 8 m/s, car en dehors de cette plage critique les émergences sont en général respectées.

La réglementation définit également un seuil de bruit ambiant (bruit résiduel + bruit des éoliennes) en dessous duquel il y a toujours conformité ; ce seuil est égal à 30dB(A). Il peut être entré dans le champ *Pas de contrainte si le niveau global reste <= à*.

#### 4.1.1.4 L'ISO 9613-2 paramétrée pour la Norvège

La réglementation norvégienne est décrite dans le document « Veileder til Miljøverndepartementets retningslinje for behandling av støy i arealplanlegging (støyretningslinjen), TA-2115/2005 » établi par Statens Forurensningstilsyn (SFT).

La réglementation norvégienne recommande l'utilisation du modèle Nord2000 ou du modèle ISO 9613-2. Il est à noter que ce dernier ne répond pas complètement aux exigences de la réglementation.

##### Paramétrage du calcul

La Figure 6 montre le paramétrage de l'ISO 9613-2 quand le *Modèle utilisé pour les calculs du bruit ISO 9613-2 Norvège* est choisi.

Les champs grisés ne peuvent pas être modifiés. Par défaut ils sont masqués ; pour les visualiser il faut cocher l'option *Afficher détails*.

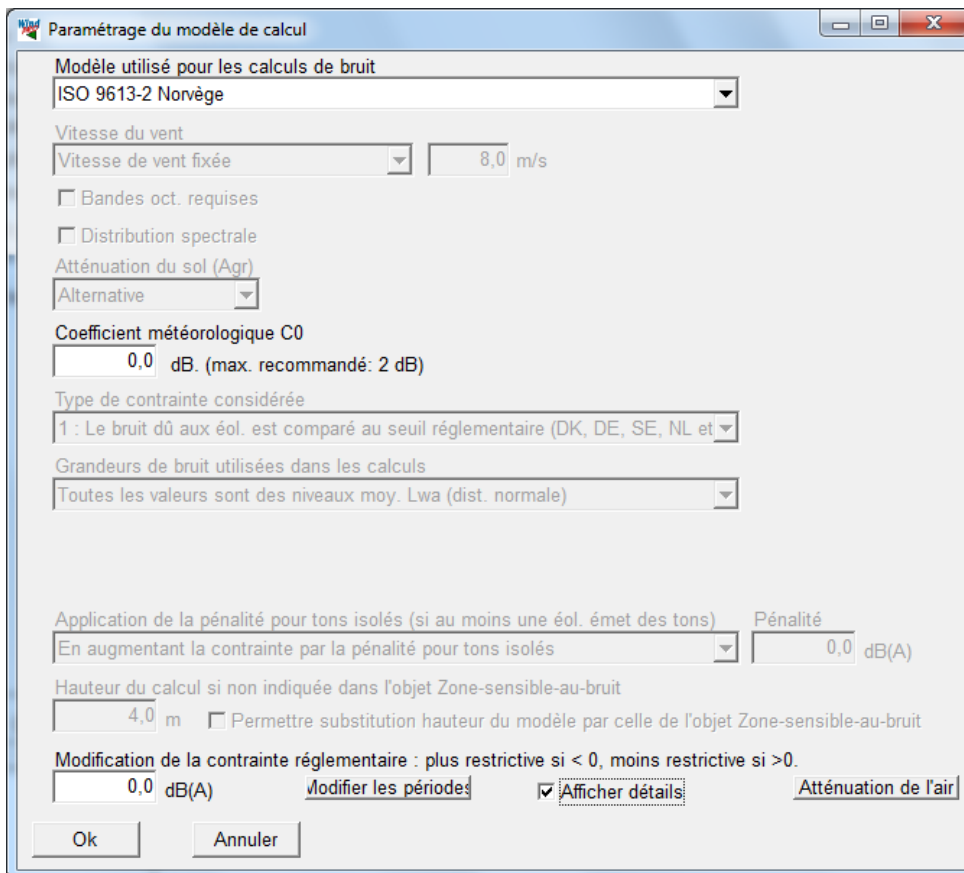


Figure 6

##### **Vitesse du vent**

La réglementation requiert l'utilisation de la distribution réelle du vent. La pratique générale, lorsque la l'ISO 9613-2 est employée, est de faire les calculs pour une vitesse de vent de 8m/s à 10m de hauteur car dans ces conditions on est proche du niveau de bruit maximal des éoliennes.

##### **Atténuation du sol**

La réglementation indique que la nature réelle du sol doit être prise en compte pour le calcul. Etant donné l'environnement norvégien la méthode *Alternative* est utilisée et par conséquent les bandes d'octave ne sont pas requises

##### **Coefficient météorologique**

La réglementation distingue le cas où le lieu étudié se trouve sous le vent dans sa direction dominante des autres situations. On peut utiliser le *Coefficient météorologique* à cet effet mais ce n'est pas recommandé.

**Type de contrainte considérée**

Seul le bruit résultant du fonctionnement des éoliennes est comparé aux seuils réglementaires applicables au point d'impact étudié.

**Grandeurs de bruit utilisées dans les calculs**

Les niveaux sonores des bruits sont décrits en Ljsn (niveaux le jour, le soir et la nuit). WindPRO applique la description Ljsn présentée à la suite.

**Application de la Pénalité pour tons isolés**

La contrainte est augmentée de la valeur de la pénalité.

**Hauteur du calcul si non indiqué dans l'objet Zone-bruit-réglementé**

Par défaut elle est fixée à 4 m.

**Modification de la contrainte réglementaire**

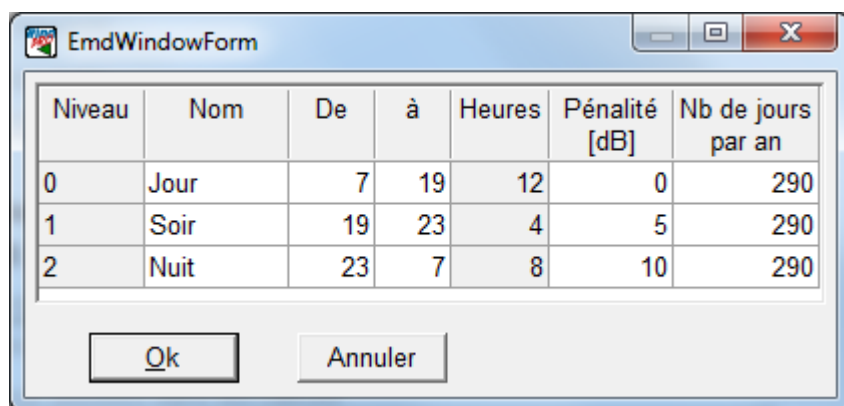
Elle est laissée à l'appréciation de l'utilisateur.

**Modifier les périodes**

La réglementation donne des poids différents à des niveaux de bruit identiques selon l'heure à laquelle ils se produisent. Cette pondération est faite en appliquant une pénalité aux niveaux Lwa, comme indiqué dans l'exemple présentée dans le texte officiel « Iden\_lev\_driftstid » du SFT.

Cette pondération peut être modifiée en cliquant sur le bouton *Modifier les périodes*, voir Figure 7. Etant donné que les niveaux Ljsn sont des moyennes le nombre de jours où la pondération s'applique doit être indiqué ; le SFT recommande 290 jours pour les éoliennes.

Les explications complètes relatives aux calculs avec les niveaux Ljsn sont données dans l'annexe Decibel.



Niveau	Nom	De	à	Heures	Pénalité [dB]	Nb de jours par an
0	Jour	7	19	12	0	290
1	Soir	19	23	4	5	290
2	Nuit	23	7	8	10	290

Figure 7

**Paramétrage de l'objet Zone-bruit-réglementé**

La réglementation distingue les zones jaunes et les zones rouges. En zone jaune le niveau de bruit maximal est de 45dB alors qu'en zone rouge il est de 50dB. Ces valeurs s'appliquent aux lieux situés sous le vent pas rapport à l'éolienne. La définition donnée pour « sous le vent » est assez floue, elle indique seulement que le lieu est sous le vent si seulement pendant 30% du temps il y a moins de vent qu'à l'emplacement de l'éolienne.

Si le lieu ne se trouve sous le vent le niveau de bruit maximal accepté peut être augmenté de 5dB.

**Bridage des éoliennes**

Il est possible de choisir dans le paramétrage de chaque éolienne un bridage spécifique pour le jour, le soir et la nuit.

#### 4.1.1.5 La norme allemande VDI 2714 (obsolète)

Jusqu'au 1/10/1998, les calculs ont été réalisés conformément à la directive VDI 2714 « Propagation du son dans l'air libre ». Le point de départ est simplement le niveau sonore pondéré A de la source. La formule suivante donne le niveau sonore en un point situé à une distance S de l'éolienne :

$$LS = LW + DI + KO - DS - DL - DBM - DD - DG \quad \text{en dB(A)}$$

où :

LS = niveau sonore calculé à une distance S

LW = niveau sonore de la source

DI = valeur pour la directivité (= 0)

KO = valeur pour l'angle solide (= 3 dB)

DS = atténuation avec la distance  $DS=10 \log(4\pi x S^2)$

DL = atténuation par l'air  $DL = \alpha_L x S$

où :

$$\alpha_L = 0.00209 \text{ dB/m}$$

DBM = atténuation météorologique et atténuation par le sol

$$DBM = \text{Max}(0 ; 4,8 - (h_q + h_A)/S(17+300/S))$$

$h_q$  hauteur du moyeu

$h_A$  hauteur du point étudié (= 5 m)

DD = atténuation par la végétation (= 0)

DG = atténuation par les constructions (= 0)

Les valeurs des paramètres données entre parenthèses sont les valeurs utilisées par défaut par WindRO et représentent le cas le plus défavorable. En pratique, les constructions et la végétation atténuent les sons et les niveaux réels sont normalement inférieurs aux niveaux calculés.

#### Paramétrage du calcul

La Figure 8 montre la fenêtre de paramétrage du calcul quand la norme VDI 2714 est choisie.

Les champs grisés ne peuvent pas être modifiés. Par défaut ils sont masqués ; pour les visualiser il faut cocher l'option *Afficher détails*.

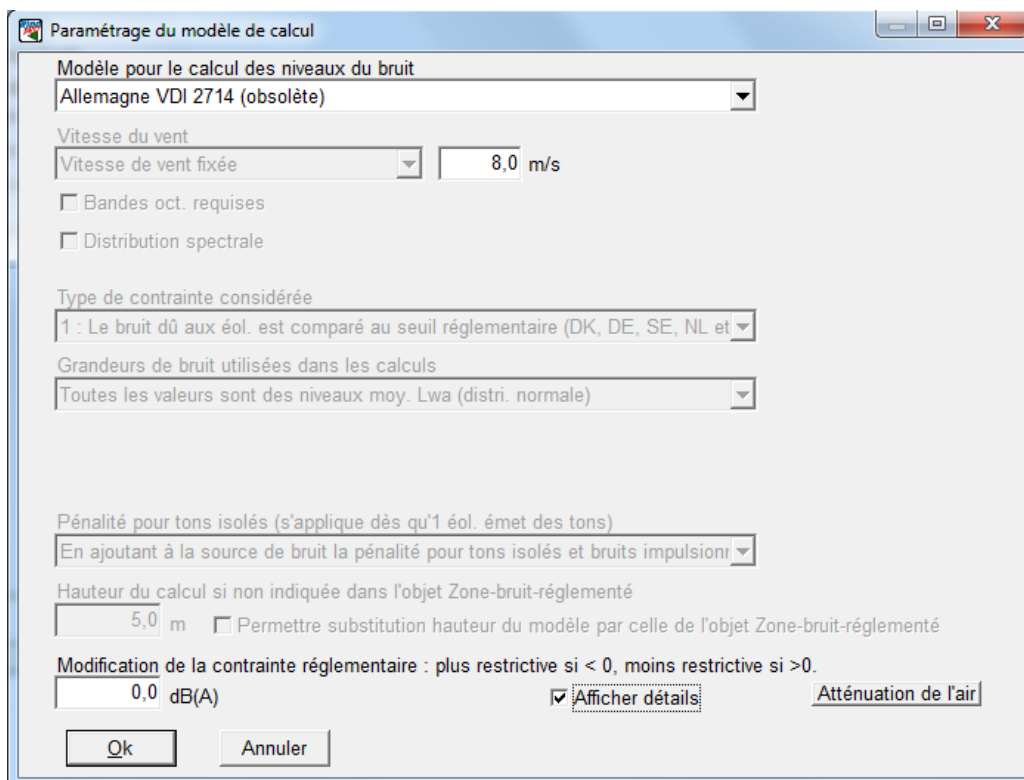


Figure 8

**Vitesse du vent**

Le calcul se fait à une vitesse de vent fixée, typiquement à 8 m/s.

**Type de contrainte considérée**

Le niveau du bruit résultant du fonctionnement des éoliennes est comparé aux seuils réglementaires.

**Application de la Pénalité pour tons isolés. Tons isolés.**

Le multiplicateur, le générateur, les systèmes hydrauliques de contrôle, etc. sont des sources potentielles de tons isolés. Les fabricants s'attachent à les réduire et si possible à les éliminer.

Si le ton est audible (> 2dB(A)), la section-1 de la norme VDI 2058 considère qu'il y a une gêne supplémentaire qui est quantifiée par l'ajout d'une pénalité au niveau sonore de la source. La pénalité varie de 3 à 6dB(A) selon le ton.

**Application de la Pénalité pour tons isolés. Bruits impulsionnels.**

Le bruit du passage de la pale, que l'on entend quand on est au pied d'une éolienne, est un bruit impulsionnel. La norme DIN-45645 a une définition du bruit impulsionnel. Si l'éolienne génère des bruits impulsionnels perceptibles ou des changements fréquents du niveau de bruit, plusieurs fois par minute, alors la norme VDI 2058 introduit une pénalité de 3 à 6dB(A) comme pour les tons isolés.

En cas de doute sur la manière d'appliquer ces pénalités, nous vous recommandons de contacter le fabricant de l'éolienne et les autorités locales.

**Hauteur du calcul si non indiqué dans l'objet Zone-bruit-réglementé**

La hauteur est fixée à 5m.

**Modification de la contrainte réglementaire**

Elle est laissée à l'appréciation de l'utilisateur.

**Paramétrage de l'objet Zone-bruit-réglementé**

Etant donné que cette norme est obsolète, il faut rechercher les anciennes valeurs maximales tolérées.

#### 4.1.1.6 Les normes danoises de 1991

Les normes danoises sont décrites le document "Bekendtgørelse om støj fra vindmøller" (du Ministère de l'Environnement) N° 304 du 14/5/91.

Les valeurs maximales de bruit sont indiquées dans le paragraphe 2 :

« Le niveau sonore résultant du fonctionnement des éoliennes, mesuré à l'extérieur, ne doit pas dépasser 45 dB(A) en bordure des zones d'habitation et 40 dB(A) en bordure des zones résidentielles ou sensibles au bruit »

Dans le paragraphe 3, il est indiqué que le niveau de bruit doit être calculé pour une vitesse du vent de 8m/s à 10m de hauteur.

Une pénalité de 5 dB est toujours appliquée, s'il y a émission de tons isolés perceptibles.

L'application d'une pénalité de 5 dB revient à réduire les valeurs maximales de 45 et 40 dB(A) à 40 et 35 dB(A), respectivement. Si dans un parc, il existe plus de une éolienne émettant des tons isolés, il faut consulter les administrations compétentes, car ce cas n'est pas décrit par la norme.

L'équation de base est:

$$L_{pA} = L_{WA,ref} - 10 \times \log(l^2 + h^2) - 8dB - \Delta L_a$$

où :

l = distance entre l'éolienne et le point étudié

h = différence d'altitude entre la nacelle de l'éolienne et le point étudié

$\Delta L_a$  = atténuation par l'air

$$\Delta L_a = \alpha_a \sqrt{(l^2 + h^2)}$$

où :

$\alpha_a$  = coefficient d'atténuation (sa valeur est donnée dans la table ci-dessous, si le niveau sonore de la source n'est pas disponible en bandes d'octave sa valeur est fixée à 0,005 dB/m).

Coefficient d'atténuation par bande d'octave :

Fréquence centrale de la bande. (Hz) ≤	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$\alpha_a$ (dB/m)	0	0	0,002	0,004	0,007	0,017	0,06

Si le niveau sonore de l'éolienne est donnée bandes d'octave (voir dans la section 2, BASIS, la partie consacrée à la *Bibliothèque d'éoliennes*) le résultat du calcul est plus précis, mais les bandes d'octave ne sont pas obligatoires.

**Paramétrage du calcul**

La Figure 9 montre la fenêtre de paramétrage du calcul.

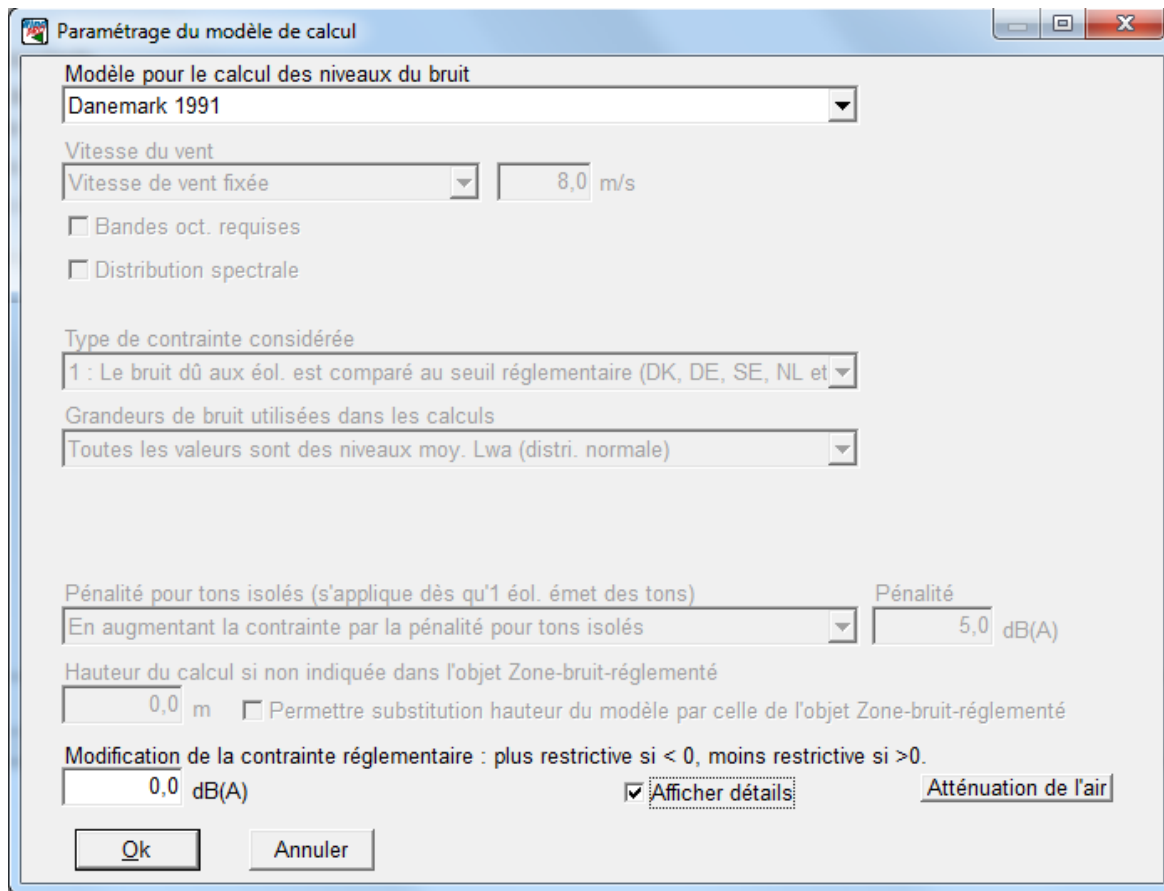


Figure 9

**Vitesse du vent**

Le calcul se fait à une vitesse de vent fixée, typiquement à 8 m/s à 10m de hauteur.

**Bandes d'octave requises**

Elles ne sont pas requises, en général les calculs sont faits à partir des niveaux globaux.

**Type de contrainte considérée**

Le niveau du bruit résultant du fonctionnement des éoliennes est comparé aux seuils réglementaires.

**Application de la pénalité pour tons isolés. Tons isolés.**

La contrainte est augmentée de 5 dB.

**Paramétrage de l'objet Zone-bruit-réglementé**

Les valeurs maximales sont de 45 dB(A) en bordure des zones d'habitation et 40 dB(A) en bordure des zones résidentielles ou sensibles au bruit.



#### 4.1.1.7 Les normes danoises de 2007

Depuis 2007, s'appliquent les normes décrites dans le « Bekendtgørelse nr. 1518 af 14. December 2006, Bekendtgørelse om støj fra vindmøller »

Le modèle de propagation change avec l'introduction d'atténuations différentes pour les installations onshore (à terre) et offshore (en mer).

L'équation de base est :

$$L_{pA} = L_{WA,ref} - 10 \times \log(l^2 + h^2) - 11\text{dB} + \Delta L_g - \Delta L_a$$

Par rapport à l'ancienne norme la différence se trouve dans les atténuations :

$\Delta L_g = 1,5$  dB atténuation du sol à terre et 3 dB de la mer offshore

$\Delta L_a$  = atténuation par l'air est donnée par le tableau suivant :

Fréquence centrale de la bande. (Hz) ≤	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$\alpha_a$ (dB/m)	0,0001	0,0004	0,001	0,002	0,0036	0,008	0,029	0,1045

Le calcul requiert la connaissance des niveaux en bandes d'octave.

Le niveau de bruit résultant de plusieurs groupes d'éoliennes se calcule en utilisant la formule suivante :

$$L_{total} = 10 * \log \left( 10^{\frac{L_{p1}}{10}} + 10^{\frac{L_{p2}}{10}} + \dots \right)$$

#### Paramétrage du calcul

La Figure 8 montre la fenêtre de paramétrage du calcul.

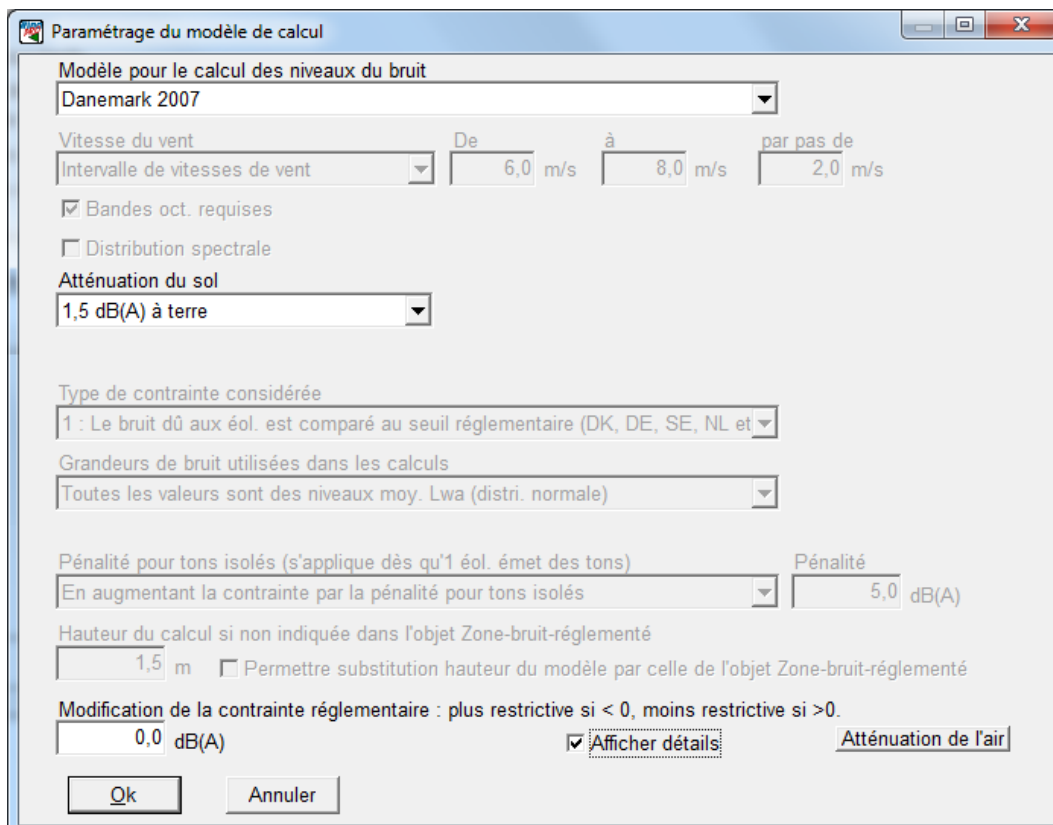


Figure 10

**Vitesse du vent**

Le calcul doit être fait pour des vitesses de vent de 6m/s et de 8 m/s à 10m de hauteur.

**Bandes d'octave requises**

Le calcul doit être fait avec les bandes d'octave.

**Atténuation du sol**

Il faut indiquer si les éoliennes sont à terre ou en mer, cela change la valeur de l'atténuation.

**Application de la Pénalité pour tons isolés.**

La contrainte est augmentée de 5 dB comme dans la précédente norme.

**Hauteur du calcul si non indiqué dans l'objet Zone- -au-bruit**

Elle est fixée à 1,5m.

**Modification de la contrainte réglementaire**

Elle est laissée à l'appréciation de l'utilisateur.

**Paramétrage de l'objet Zone-bruit-réglémenté**

Les valeurs maximales sont définies dans l'encadré suivant :

**DANISH RULES FOR NOISE CALCULATION.**

The calculation is based on the "Bekendtgørelse nr. 1518 af 14. dec 2006" from the Danish Environmental Agency.

The noise impact from WTGs are not allowed to exceed the following limits: (Wind speeds in 10 m height)

1) At outdoor areas maximum 15 m from neighbor settlements in the open land.

a) 44 db(A) at wind speed 8 m/s.

b) 42 db(A) at wind speed 6 m/s.

2) At outdoor areas in residential or recreational areas.

a) 39 db(A) at wind speed 8 m/s in residential areas.

b) 37 db(A) at wind speed 6 m/s in residential areas.

If a WTG has pure tones in the noise emission, a penalty of 5 dB is added.

#### 4.1.1.8 Les normes danoises de 2011

Depuis décembre 2011 les nouvelles normes « Bekendtgørelse nr. 1284 af 15.december 2011 » sont entrées en vigueur.

Un guide d'application de ces nouvelles normes « Støj fra Vindmøller, Vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 1, 2012 » a été publié le 16 Mai 2012.

<http://www.mst.dk/Publikationer/Publikationer/2012/Maj/978-87-92903-08-2.htm>

Une étude exhaustive des effets de cette modification de la réglementation « Experiences with the New Danish Rules for the Calculation of Low Frequency Noise from Wind Turbines, Sorensen, 2012 » est consultable dans la page FAQ de WindPRO.

Les nouvelles normes reprennent largement celles de 2007 avec toutefois trois nouveautés notables :

- Prises en compte des basses fréquences,
- Evolution de la documentation des dossiers,
- Introduction d'un nouveau seuil 15dB.

Les calculs et les contraintes se rapportant aux fréquences habituelles restent inchangées par rapport aux normes 2007.

##### a) Prises en compte des basses fréquences

Les basses fréquences considérées couvrent la bande 10-160Hz.

Depuis WindPRO 2.8, un nouvel onglet *Basses fréquences* a été ajouté à la fiche des éoliennes afin de pouvoir introduire le bruit aux basses fréquences ; le bruit doit être décrit par les niveaux de ses bandes 1/3 d'octave.

Notez que si le bruit est exprimé sur toute l'étendue de son spectre par les niveaux de ses bandes 1/3 d'octave, il n'est pas nécessaire de les réintroduire dans l'onglet *Basses fréquences*, voir Figure 11.

L'ouverture du fiche antérieure à la v2.8, même si le niveau du bruit est exprimé par les niveaux de ses bandes 1/3 d'octave, sera incomplète pour les calculs aux basses fréquences car la table ne comportait pas le deux premières fréquences.

**Données de bruit**

Nom: Copie de Level 0 - Guaranteed - Standard setting - 10-2009  
 Source: Manufacturer  
 Date: 16/10/2009

Vitesse(s) à 10m de hauteur. Vitesse(s) à hauteur de moyen

Fréquences normales	Basses fréquences
[m/s]	90,0 m
6,0	107,5*
7,0	108,0
8,0	108,0*
9,0	108,0
10,0	108,0

\*) Bandes d'octave disponibles

Ajouter vit. vent Ajouter haut. moyen

Copier sélection Coller Effacer sélection

Remarques  
 Octave band data not guaranteed.  
 Based on document E R WP SP EN-10-0000-0012-00

Valeur à 7.0 m/s pour une hauteur de 90.0 m  
 Cocher si l'éolienne produit des tons isolés  
 Ajouter 0,0 dB La valeur de ce champ est uniquement utilisée par les réglementations "Ajoutant à la source de bruit la pénalité pour tons isolés".

Bandes d'octave (recommandé si disponible)  
 Bandes 1/3 octave  
 Bandes octave et 1/3 octave déjà pondérées A

Pente dB=f(m/s) Utilisée quand une seule valeur est disponible  
 1,0 dB(A)/(m/s)

Bandes 1/3 octave	
Fréquence [Hz]	Lwa,p [dB]
10,0	52,5
12,5	57,6
16,0	58,0
20,0	58,6
25,0	59,4
31,5	60,2
40,0	61,0
50,0 *	61,6
63,0 *	62,0
80,0 *	63,2
100,0 *	65,0
125,0 *	66,3

\*) utilisées pour calcul standard du bruit

OK Annuler Coller octave/tierce

Figure 11

**Paramétrage de l'objet *Zone-bruit-réglementé***

Niveau de bruit max.		Vit. du vent	Basse fréquence [dB(A)]
<input checked="" type="checkbox"/>	Définir intervalle de vitesses	6,0 m/s	20,0
		8,0 m/s	20,0

L'étude doit être faite à 6m/s et 8m/s, ces vitesses du vent étant définies à 10m de hauteur.

Le niveau maximal autorisé aux basses fréquences est de 20 dB (à l'intérieur).

**Paramétrage du calcul**

Le paramétrage se réduit à indiquer s'il s'agit d'un parc offshore ; quand cette option est cochée le bouton *Délimitation eau/terre* apparaît, il permet d'indiquer la limite terre-mer. Cette délimitation est nécessaire pour prendre en compte les différences d'atténuation du bruit en mer, à terre et sur la bande côtière de transition (200m). La prise en compte de la transition est faite uniquement par le calcul basses fréquences.

**b) Evolution de la documentation des dossiers**

La pratique consistant à fournir la mesure du niveau global du bruit des éoliennes et à utiliser une distribution générique du spectre n'est plus acceptée. Maintenant des rapports présentant les mesures de la distribution bruit en bandes d'octave (au moins) sont exigés. Si ces mesures ne sont pas disponibles ce sont les distributions du « Miljøstyrelsen » qui doivent être utilisées.

Si les niveaux par bandes d'octave ne sont pas disponibles, lors des calculs *Danemark 2011* et *Danemark 2011 basses fréquences* impliquant des éoliennes  $\leq 2$  MW, WindPRO utilise les tables du « Miljøstyrelsen ». EMD complète progressivement les fiches des anciennes éoliennes avec des distributions mesurées. Pour les calculs impliquant des éoliennes  $> 2$  MW, WindPRO ignore leur niveau global du bruit en dB(A) et utilise à la place un niveau de bruit et sa distribution fondés sur la taille du générateur.

Dans les rapports DECIBEL les sources de bruit dont la description n'est pas conforme à la norme sont signalées.

**c) Introduction d'un nouveau seuil 15dB**

Le calcul du niveau sonore de la nuisance doit être fait en incluant les éoliennes existantes si leur niveau de nuisance est supérieur au niveau de la nuisance de nouvelles éoliennes seules moins 15dB. Pour plus de détails consultez « Experiences with the New Danish Rules for the Calculation of Low Frequency Noise from Wind Turbines, Sorensen, 2012 dans la page FAQ de WindPRO.

#### 4.1.1.9 Les anciennes normes suédoises

Les anciennes normes suédoises sont décrites dans « Metod för mätning av bullerimmission kring vindkraftverk » du « Statens Naturvårdsverk, Sten Ljunggren, FFAP-A-935, 1992 » Celles-ci sont identiques aux normes danoises à quelques exceptions près :

Le niveau du bruit résultant du fonctionnement des éoliennes à 8m/s ne doit pas excéder :

- 50 dB dans les zones industrielles,
- 40 dB dans les zones d'habitation,
- 35 dB dans les zones de loisir.

La valeur du coefficient d'atténuation  $\alpha_a$  utilisé est de 0,003 dB/m au lieu de 0,005 dB/m.

#### 4.1.1.10 Les normes suédoises de janvier 2002

Ces normes pour le calcul du bruit des éoliennes « Ljud från Vindkraftverk, Naturvårdsverket 2001, ISBN 91-620-6641-7 » ont été publiées en fin d'année 2001. Elles introduisirent une nouvelle méthode de calcul qui fait la différence entre les installations à terre et en mer.

Pour chacun des cas le « Naturvårdsverket » fourni la méthode de calcul sous la forme d'une feuille de calcul qui doit être utilisée pour présenter les demandes d'autorisation.

Un rapport montrant que WindPRO applique correctement les méthodes est téléchargeable à partir de notre site [www.emd.dk](http://www.emd.dk). Son nom est « Dokumentation af WindPROs beregning af svensk støj - vers2.pdf ».

Lorsque ce manuel sera publié les normes suédoises seront sur le point de changer ou auront changé. En attendant l'implémentation des nouvelles normes, il sera possible de calculer les niveaux de bruit dans les conditions les plus défavorables, la méthode est décrite dans notre site web.

##### 1/ Calcul onshore (à terre)

Pour ce calcul, il faut décrire la rugosité du terrain, en utilisant les classes de rugosité, afin de pouvoir extrapoler la vitesse du vent à la hauteur du moyeu des éoliennes. De plus, le calcul utilise un facteur k liant la variation du niveau sonore de l'éolienne à la variation de la vitesse de vent.

Le paramètre k est fixé à  $k = 1$  faute d'indications claires, à son sujet, dans les normes.

Enfin, la norme distingue les cas où la distance entre l'éolienne et le point étudié est inférieure ou supérieure à 1000m. Quand la distance est supérieure à 1000m, il faut utiliser les bandes d'octave.

a) Distance < 1000m, la formule suivante est utilisée :

$$L_A = L_{WA,corr} - 8 - 20 * \log(r) - 0,005*r$$

où :

r = distance entre le point d'impact étudié et le moyeu de l'éolienne.

$$L_{WA,corr} = L_{WA,measured} + k * \Delta v_h$$

où :

$L_{WA,measured}$  = niveau sonore de la source en dB(A) (au moyeu de l'éolienne) pour une vitesse de vent = 8 m/s à 10m de hauteur.

k = coefficient de variation du niveau sonore de la source en fonction de la variation de la vitesse du vent. Dans WindPRO, k est fixé à 1 dB(A) par 1 m/s.

$\Delta v_h$  = vitesse du vent à hauteur de moyeu - vitesse du vent à 10 m de hauteur.

Le calcul est fait à l'aide de la formule suivante :

$$\Delta v_h = v_h ([\ln(H/z_0)/\ln(h/z_0)] * [\ln(h/0,05)/\ln(H/0,05)] - 1)$$

où :

H = hauteur du moyeu

h = 10 m

$z_0$  = équivalence, en longueur, de la classe de rugosité du terrain. Dans WindPRO une seule classe de rugosité pour l'ensemble du site peut être entrée.

b) Distance > 1000m, la formule suivante est utilisée avec les niveaux sonores exprimés en bandes d'octave :

$$L_A = L_{WA,corr} - 10 - 20 \cdot \log(r) - \Delta L_a$$

où :

$$\Delta L_a = 10 \cdot \log(\sum 10^{(L_i + A_i)/10}) - 10 \cdot \log(\sum 10^{(L_i + A_i - r \cdot a_i)/10})$$

où :

$L_i$  = niveau de la bande  $i$

$A_i$  = pondération A correspondant à la bande  $i$

$r$  = distance entre le point d'impact étudié et le moyeu de l'éolienne.

Si les niveaux sonores en bandes d'octave ne sont pas disponibles, le calcul ne produit aucun résultat.

## 2/ Calcul offshore (en mer)

Pour le calcul de la propagation du son au-dessus de l'eau, les normes suédoises recommandent d'utiliser cette autre formule :

$$L_A = L_{WA,corr} - 8 - 20 \cdot \log(r) - \Delta L_a + 10 \cdot \log(r/200)$$

où :

$$\Delta L_a = 10 \cdot \log(\sum 10^{(L_i + A_i)/10}) - 10 \cdot \log(\sum 10^{(L_i + A_i - r \cdot a_i)/10})$$

Pour les calculs offshore, les niveaux sonores en bandes d'octave sont requis, sinon, le calcul ne produit aucun résultat.

## Paramétrage du calcul

La Figure 12 montre la fenêtre de paramétrage du calcul.

Figure 12

**Vitesse du vent**

Le calcul doit être fait pour une vitesse de vent de 8 m/s à 10m de hauteur.

**Bandes d'octave requises**

Le calcul doit être fait avec les bandes d'octave.

**Atténuation du sol**

Il faut indiquer si les éoliennes sont à terre ou en mer, cela change la valeur de l'atténuation.

**Classe de rugosité**

A terre, il faut indiquer la rugosité du terrain dans la zone du parc.

**Paramétrage de l'objet Zone-bruit-réglementé**

Journée	Zones d'industries légères	60 dB(A)
Journée	Zones d'habitation	50 dB(A)
Journée	Zones de loisir	40 dB(A)
Soir/férié	Zones d'industries légères	55 dB(A)
Soir/férié	Zones d'habitation	45 dB(A)
Soir/férié	Zones de loisir	35 dB(A)
Nuit	Zones d'industries légères	50 dB(A)
Nuit	Zones d'habitation	40 dB(A)
Nuit	Zones de loisir	35 dB(A)

Les valeurs maximales habituellement utilisées sont données dans le tableau ci-contre.

**4.1.1.11 Les normes suédoises de 2009**

Les normes 2009 sont une évolution de « Ljud från vindkraftverk, Naturvårdsverket ». Des mises à jour ont été faites après 2009 mais par commodité, l'appellation normes suédoises 2009 sera conservée dans la suite du document.

Les évolutions notables sont :

- a) La suppression de la rugosité du sol et son remplacement par la rugosité « standard » = 0,05m pour la correction des niveaux sonores des sources.
- b) La modification du calcul offshore.
- c) La possibilité de comparer la nuisance avec le bruit résiduel (ambient sans la nuisance).
- d) L'acceptation de l'utilisation de Nord2000 pour faire les calculs.

**a) Suppression de la rugosité du sol**

La suppression de la rugosité du sol a beaucoup simplifié les calculs. Maintenant le calcul des vitesses du vent à hauteur de moyeu ne se fait plus en utilisant un profil vertical particulier des vitesses du vent mais en utilisant le profil IEC standard ( $z_0=0,05m$ ), c'est le cas de la plupart des normes nationales. Par conséquent, les niveaux sonores consignés dans les fiches de la bibliothèque d'éoliennes de WindPRO peuvent être utilisés directement. Cette évolution concerne les calculs à terre et offshore.

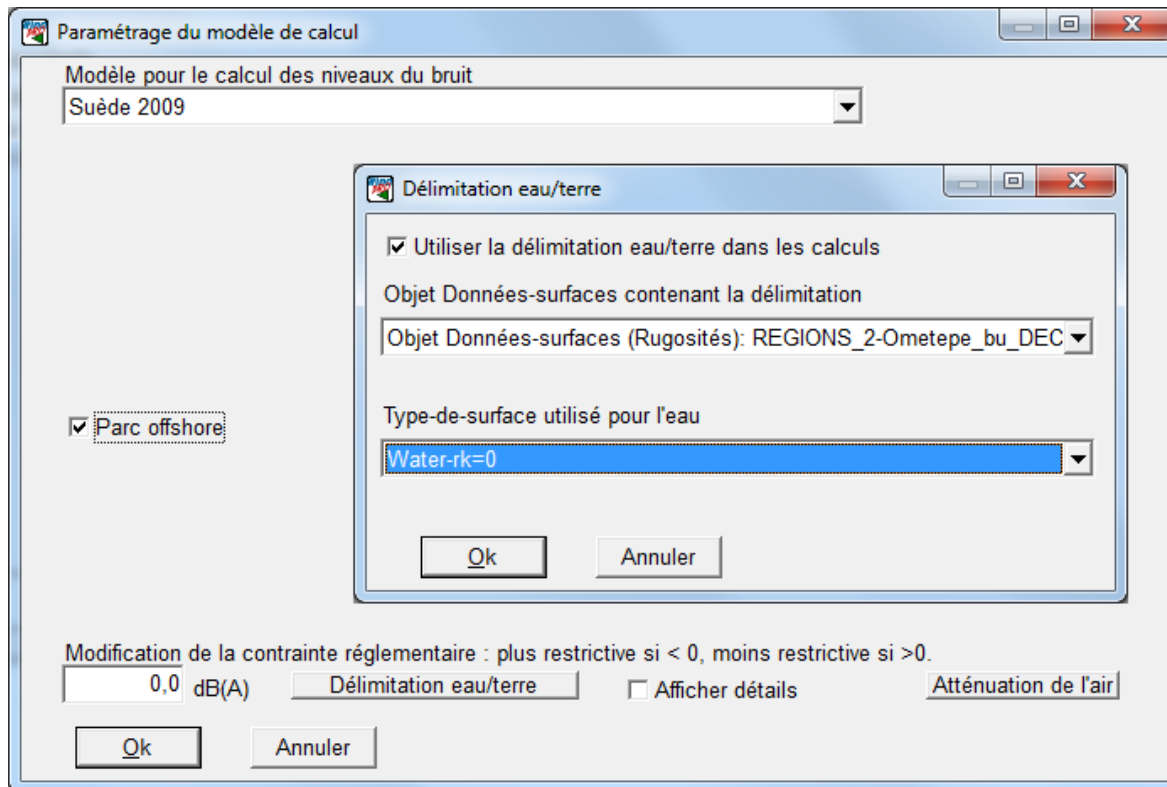
**b) Modification du calcul offshore**

Le calcul offshore est identique au calcul à terre jusqu'à une distance de 1000m des éoliennes, au-delà les atténuations ont été modifiées par rapport à la norme de 2002. Le niveau sonore à la ligne de côte, ainsi calculé, est ensuite utilisé comme entrée du calcul à terre.

Au moment de l'écriture de ces lignes, la formule était disponible uniquement sur la page <http://www.naturvardsverket.se/upload/stod-i-miljoarbetet/vagledning/buller/buller-vindkraft/matning-berakning-vindkraftljud.pdf>

**Paramétrage du calcul**

Choisissez le modèle *Suède 2009*, cochez *Parc offshore*, cliquez sur le bouton *Délimitation eau/terre*, sélectionnez l'*Objet Données-surfaces contenant la délimitation* et indiquez le *Type-de-surface utilisé pour l'eau*. L'*Usage* de l'objet *Données-surfaces* est indifférent et n'importe quel *Type-de-surface* peut être utilisé pour désigner la mer, tous les autres *Types-de-surface* seront considérés comme étant la terre.

**c) Comparaison de la nuisance avec le bruit résiduel**

Si la différence entre le niveau de la nuisance et le niveau du bruit résiduel est faible, la norme 2009 permet d'ignorer la nuisance due au bruit des éoliennes. Ce calcul n'est préconfiguré dans WindPRO, mais on peut utiliser à cet effet la possibilité d'introduire les valeurs du bruit résiduel.

**c) Utilisation Nord2000**

L'utilisation de Nord2000 est une alternative de calcul acceptée. Nord2000 est un module indépendant décrit à fin de cette section, voir 4.5.

**4.1.1.12 La norme hollandaise de 1999**

La norme hollandaise de 1999 est décrite dans « Handleiding meten en rekenen Industrielawaai » du « Ministerie van VROM, Zoetemeer » 1999, ISBN 90 422 0232 7.

Le bruit des éoliennes est spécifiquement traité dans le « Module C, method II.8 ».



## Formule de calcul

$$L_i = L_{WR} - \Sigma D$$

où :

$L_i$  = niveau du bruit résultant du fonctionnement des éoliennes au point étudié.

$L_{WR}$  = niveau sonore de la source (éolienne).

$$\Sigma D = D_{geo} + D_{lucht} + D_{refl} + D_{scherm} + D_{veg} + D_{terrein} + D_{boden} + D_{huis}$$

où :

$D_{geo}$  est l'atténuation due à la divergence géométrique et se calcule comme suit:

$$D_{geo} = 20 \cdot \log(d) + 11 \text{ dB}$$

où:

$d$  = distance entre l'éolienne et le point étudié

$D_{lucht}$  est l'atténuation atmosphérique. Si les niveaux sonores en bandes d'octave sont disponibles, alors l'atténuation est calculée pour chaque bande, si non la valeur d'atténuation  $D_{lucht}$  est utilisée.

$$D_{lucht} = 0,002 \cdot d$$

$D_{refl}$  est l'effet des réflexions. Il est = 0 dans WindPRO.

$D_{scherm}$  est l'atténuation par les barrières anti-bruit. Elle est = 0 dans WindPRO.

$D_{veg}$  est l'atténuation par la végétation. Elle est = 0 dans WindPRO.

$D_{terrein}$  est l'atténuation dans un milieu industriel. Il est = 0 dans WindPRO.

$D_{boden}$  est l'atténuation par le sol.

$$D_{boden} = -2 - B$$

où :

$B$  est fonction de la dureté acoustique du sol. Dans WindPRO,  $-3\text{dB(A)}$  (terrain souple) <  $B$  <  $0\text{dB(A)}$  (terrain dur)

$D_{huis}$  est spécifique à l'atténuation par les maisons. Elle est = 0 dans WindPRO.

Les niveaux sonores exprimés en bandes d'octaves sont utilisés. S'ils ne sont pas disponibles on utilise les niveaux de bruit globaux.

Dans WindPRO, les hypothèses suivantes sont faites:

- le calcul est fait à 5 m de hauteur
- il n'y a pas de barrières anti-bruit et pas de réflexions
- les niveaux des basses fréquences (31,5/63Hz) sont insignifiants
- la distance entre le point étudié et l'éolienne est supérieure à 1,5 fois le diamètre du rotor.

## Paramétrage du calcul

La Figure 13 montre la fenêtre de paramétrage du calcul

Figure 13

**Vitesse du vent**

Le calcul doit être fait pour les vitesses de vent allant 3 m/s à 12 m/s à 10m de hauteur.

**Bandes d'octave requises**

Les bandes d'octave ne sont pas obligatoires.

**Atténuation du sol**

L'utilisateur doit estimer la valeur de l'atténuation par le sol ( $D_{\text{bodem}}$ ) entre 0 dB(A) pour les sols dur et -3dB(A) pour les sols très souple.

**Hauteur du calcul si non indiqué dans l'objet Zone-bruit-réglementé**

Elle est fixée à 5m.

**Modification de la contrainte réglementaire**

Elle est laissée à l'appréciation de l'utilisateur.

**Paramétrage de l'objet Zone-bruit-réglementé**

Vitesse du vent (m/s)	Bruit maximal toléré (dBA)
4	41,1
5	41,7
6	42,5
7	43,4
8	44,5
9	45,6
10	46,9
11	48,3
12	49,7

Les valeurs maximales habituellement utilisées sont données dans le tableau ci-contre.

**4.1.1.13 L'ancienne norme hollandaise IL-HR-13-01**

C'est l'ancienne norme hollandaise de calcul de la propagation du bruit des éoliennes.

Dans WindPRO, elle est identique à celle de 1999 à l'exception de l'atténuation du sol où  $B = 0$ , c'est à dire que l'on considère que le sol est toujours dur.

#### 4.1.1.14 La norme hollandaise de 2010

Cette norme est entrée en application en 2011, elle est décrite dans « Reken- en meetvoorschrift windturbines, 2/2-2010 ». Elle se fonde sur l'ISO 9613-2 et, comme en Norvège c'est le niveau L<sub>jsn</sub> (combinaison des niveaux jour, soir et nuit) qui est calculé.

##### Formule de calcul

Le niveau L<sub>jsn</sub> est donné par la formule suivante :

$$L_{den} = 10 \lg \left( \frac{12}{24} 10^{\frac{L_{dag}}{10}} + \frac{4}{24} 10^{\frac{L_{avond}+5}{10}} + \frac{8}{24} 10^{\frac{L_{nacht}+10}{10}} \right)$$

Le niveau Leq est calculé indépendamment pour chacune des périodes jour, soir et nuit ( $L_{dag}$ ,  $L_{avond}$  et  $L_{nacht}$ ) à partir de la formule suivante :

$$L_{eq} = 10 \lg \sum_{i=1}^9 \sum_{n=1}^N 10^{L_{eq,i,n}/10}$$

où :  $i$  est la bande d'octave (8 bandes d'octave)  
 $n$  est le nombre d'éoliennes

Le niveau du bruit de chaque bande d'octave est calculé comme suit :

$$L_{eq,i,n} = L_E - D_{geo} - D_{lucht} - D_{ref} - D_{scherm} - D_{veg} - D_{terrein} - D_{bodem} - C_{meteo}, \text{ met}$$

où :  $D_{ref}$ ,  $D_{scherm}$ ,  $D_{veg}$  et  $D_{terrein}$  peuvent être ignorées

$L_E$  = niveau de la source qui n'est pas exprimé de la manière habituelle, il donné par :

$$L_E = 10 \lg \left( \sum_{j=V_{ci}}^{V_{co}} \left( \frac{U_j}{100} 10^{L_{W,j}/10} \right) \right) + \Delta L$$

$L_E$  est la somme des niveaux du bruit aux vitesses du vent comprises entre la vitesse au couplage  $V_{ci}$  et au découplage  $V_{co}$ . Le niveau du bruit est considéré constant entre la vitesse du vent donnant la puissance maximale et la vitesse de découplage.

$U_j$  = fréquence pour vitesse du vent  $j$ .

$\Delta L$  est fonction de la direction du vent, sa valeur est en général indisponible et par défaut forcée à zéro.

$D_{geo}$  est l'atténuation due à la divergence géométrique, comme pour l'ISO 9613-2 elle est donnée par la formule :

$$D_{geo} = 10 \lg(4\pi r_i^2) = 20 \lg r_i + 11,$$

où :  $r$  = distance entre le point étudié et l'éolienne.

$D_{lucht}$  est l'atténuation atmosphérique, comme pour l'ISO 9613-2 elle est donnée par la formule :

$$D_{lucht} = a_{lu}(f) r_i$$

mais les valeurs des coefficients sont différentes :

middenfrequentie octaafbanden [Hz]	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$a_{lu}$ [dB/m]	$2.10^{-5}$	$7.10^{-5}$	$2,5.10^{-4}$	$7,6.10^{-4}$	$1,6.10^{-3}$	$2,9.10^{-3}$	$6,2.10^{-3}$	$1,9.10^{-2}$	$6,7.10^{-2}$

$D_{bodem}$  est l'atténuation par le sol, elle est similaire à l'atténuation *Générale* de l'ISO 9613-2 :

La zone proche de l'éolienne est définie comme suit :

$$r_b = 30 h_b \quad \text{als } r_i \geq h_b$$

$$r_b = r_i \quad \text{als } r_i < 30 h_b$$

La zone éloignée de l'éolienne est définie comme suit :

$$r_o = 30 h_o \quad \text{als } r_i \geq h_o$$

$$r_o = r_i \quad \text{als } r_i < 30 h_o$$

La zone intermédiaire est tout ce qui est compris entre les zones proche et éloignée de l'éolienne.

B est le facteur sol. B=1 pour les sols absorbants et B=0 pour les sols durs.

Note : dans WindPRO, la valeur du facteur sol est donné par l'utilisateur et il s'applique aux trois zones définies antérieurement.

Les atténuations des 3 zones sont additionnées pour donner l'atténuation totale :

$$D_{bodem} = D_{b,br} + D_{b,ont} + D_{b,mid}$$

où  $D_{b,mid}$  est donné par la table suivante :

Middenfrequentie octaafband [Hz]	$D_{b,mid}$ [dB]
31,5 en 63	-3 m
125 en hoger	+3 m ( $B_m - 1$ )
met: $m = 0$	als $r_i \leq 30 (h_b + h_o)$
$m = 1 - 30 (h_b + h_o)/r_i$	als $r_i > 30 (h_b + h_o)$

où  $D_{b,br}$  et  $D_{b,ont}$  sont données dans la table suivante,  $h$  étant la hauteur de moyeu. Par Note : les atténuations utilisées n'ont pas les mêmes valeurs que dans l'ISO 9613-2.

Middenfrequentie octaafband [Hz]	$D_{b,br}$ of $D_{b,ont}$ [dB]
31,5	-3
63	-3
125	$-1 + B_b (a(h) + 1)$
250	$-1 + B_b (b(h) + 1)$
500	$-1 + B_b (c(h) + 1)$
1000	$-1 + B_b (d(h) + 1)$
2000	$-1 + B_b$
4000	$-1 + B_b$
8000	$-1 + B_b$
met	$a(h) = 3,0e^{-0,12(h-5)^2} (1 - e^{-r/50}) + 5,7e^{-0,09h^2} (1 - e^{-2,8 \cdot 10^{-8} r_i^2})$
	$b(h) = 8,6e^{-0,09h^2} (1 - e^{-r_i/50})$
	$c(h) = 14,0e^{-0,46h^2} (1 - e^{-r/50})$
	$d(h) = 5,0e^{-0,90h^2} (1 - e^{-r/50})$

$C_{meteo}$  est définie comme suit :

$$C_{meteo} = 0$$

pour  $r \leq 10(h_b + h_o)$

$$C_{meteo} = 5 \left[ 1 - 10 \left( \frac{h_b + h_o}{r} \right) \right] \left[ 1 - \frac{1}{2} \cos(\beta - 45^\circ) \right]$$

pour  $r > 10(h_b + h_o)$ , met

où :  $h_b$  est l'altitude du moyeu  
 $h_o$  est l'altitude du point étudié  
 $\beta$  est l'angle entre la direction du vent et la direction éolienne-point étudié

**Paramétrage du calcul**
**Vitesse du vent**

La norme fait appel au niveau moyen du bruit de chacune des périodes de la journée : jour, soir et nuit. Le calcul de ces niveaux requiert la connaissance des niveaux, en bandes d'octave, du bruit des éoliennes pour chaque vitesse du vent comprise entre les vitesses de couplage et de découplage ainsi que la fréquence de chacune des vitesses du vent.

Il va sans dire que la totalité des données requises n'est jamais présente dans la fiche des éoliennes. A partir des données disponibles et de modèles génériques WindPRO génère la totalité des données nécessaires au calcul, dont les résultats seront par conséquent affectés d'une grande incertitude.

Les fréquences des vitesses du vent sont mises à disposition par le KNMI sur le site [www.windenergie.nl](http://www.windenergie.nl). WindPRO recherche et extrait de la BD du KNMI les tables des fréquences jour, soir et nuit se rapportant au lieu du projet.

**Atténuation du sol**

Le paramétrage est similaire à celui de la méthode *Générale* de l'ISO 9613-2. WindPRO applique le même *Facteur sol* et par conséquent la même atténuation sur tout le trajet entre l'éolienne et le point étudié.

**Coefficient météorologique C0**

Il ne doit pas être introduit, il calculé. Pour les distances inférieures à 10 fois la hauteur de moyeu (en fait 10 fois la différence d'altitude entre le moyeu de l'éolienne et le point étudié)  $C_0 = 0$ . Au-delà, il est fonction de la distance et de l'angle entre la direction du vent et la direction éolienne-point étudié,  $C_0$  est maximal quand le point étudié est sous le vent.

**Type de contrainte considérée**

Le niveau du bruit résultant du fonctionnement des éoliennes est comparé aux seuils réglementaires.

**Grandeurs de bruit utilisées dans les calculs**

Les niveaux sonores des bruits sont décrits en L<sub>jsn</sub> (niveaux le jour, le soir et la nuit). WindPRO applique la table de pondération présentée au paragraphe suivant « Modifier périodes ».

**Pénalité pour tons isolés**

Ici la valeur de la pénalité est retranchée de la contrainte à respecter au lieu d'être ajoutée au niveau sonore émis par l'éolienne.

**Hauteur du calcul si non indiqué dans l'objet Zone-bruit-réglementé**

Elle est fixée à 5m.

**Modification de la contrainte réglementaire**

Elle est laissée à l'appréciation de l'utilisateur.

**Modifier les périodes**

Niveau	Nom	De	à	Heures	Pénalité [dB]	Nb de jours par an
0	Jour	7	19	12	0	365
1	Soir	19	23	4	5	365
2	Nuit	23	7	8	10	365

La réglementation donne des poids différents à des niveaux de bruit identiques selon l'heure à laquelle ils se produisent. Cette pondération est faite en appliquant les pénalités présentées dans la table de la Figure 14.

Le bouton *Modifier les périodes* ouvre la fenêtre de la Figure 14 où les périodes et les pondérations peuvent être modifiées.

Figure 14

**Paramétrage de l'objet Zone-bruit-réglementé**

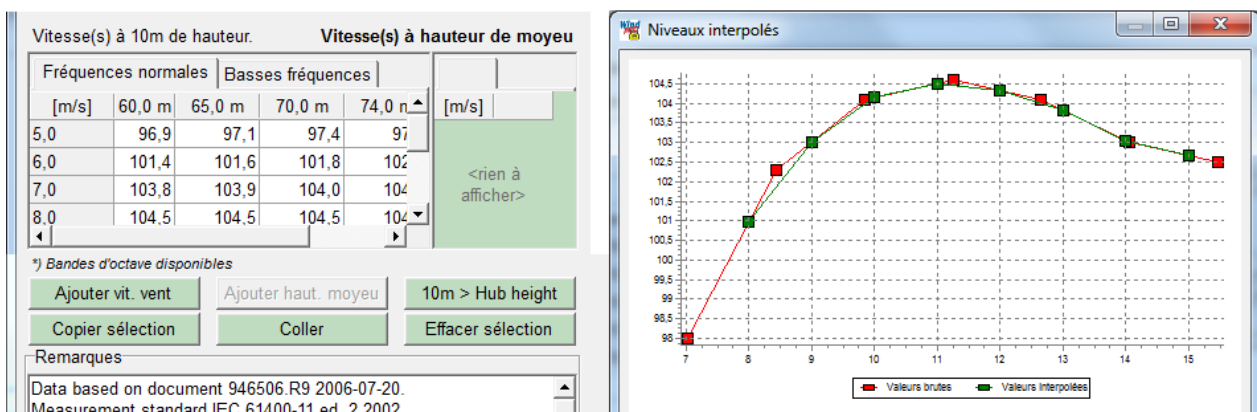
Le niveau maximal L<sub>jsn</sub> réglementaire est égal à 47dB(A) et le niveau maximal pendant la nuit L<sub>nuit</sub> est égal à 41dB(A).

Dans l'objet *Zone-bruit-réglementé* apparaît seulement la contrainte L<sub>jsn</sub>, et sur les cartes du rapport c'est ligne

ISO 47dB(A) qui est tracée, mais la valeur de L<sub>nuit</sub> au point étudié est donnée dans le rapport DECIBEL.

**Bruit des éoliennes.**

Les niveaux sonores des éoliennes doivent être exprimés en fonction de la vitesse du vent à hauteur de moyeu. Si les niveaux sont donnés en fonction de la vitesse du vent à 10m de hauteur et de la hauteur de moyeu, il faut effectuer la conversion à l'aide de l'utilitaire décrit dans la section BASIS au 2.6.3.2.



## 4.1.2 Entrée des données

Un fond de carte est nécessaire, mais on peut utiliser une *Carte vierge*.

Si le projet est déjà créé dans WindPRO et que plusieurs cartes sont disponibles, cliquez sur les boutons d'affichage des cartes et choisissez une carte. Les informations relatives au maniement des cartes se trouvent dans la section 2, BASIS.

Notez qu'il est possible de créer sur la carte plusieurs objets aux propriétés identiques en cliquant sur l'icône de l'objet sur la barre d'objets avec la touche <Maj> enfoncée, ensuite un objet identique au précédent est créé à chaque clic sur la carte. Par exemple, vous pouvez créer plusieurs objets *Zone-bruit-réglementé* avec les mêmes *Niveaux de bruit max* et les mêmes *Contraintes de distance*, ou encore plusieurs éoliennes identiques.

### 4.1.2.0 Eoliennes

La création des éoliennes est expliquée au 2.5.1 de la section 2, BASIS. Concernant les données de bruit des éoliennes reportez-vous au 2.6.3.1. de BASIS également.

Les données sonores des éoliennes contenues dans la bibliothèque peuvent être plus ou moins complètes. En général on trouve les niveaux sonores globaux de la source (Lwa,ref) pour plusieurs vitesses de vent à 10m de hauteur (souvent 8m/s et 10m/s) et pour plusieurs hauteurs de moyeu. Plus rarement, on trouve les niveaux sonores exprimés en bandes d'octave (et encore plus rarement en 1/3 d'octave). Le format des niveaux est souvent imposé par la méthode de calcul choisie ou par la norme applicable, voir 4.1.1.

Avec WindPRO2.7, un onglet supplémentaire donnant les niveaux sonores pour les vitesses de vent à hauteur de moyeu a été introduit pour le futur module Nord2000. Il n'est pas utilisé par DECIBEL.

Si aucun choix n'est fait, WindPRO utilise la courbe de puissance « par défaut ». Le choix d'une autre courbe de puissance pour un fonctionnement en mode bridé, se fait dans les *Propriétés de l'éolienne*, voir le paragraphe « Choix des bridages » à la suite.

Si l'éolienne n'a pas toutes les données de bruit nécessaires aux calculs, vous pouvez les obtenir auprès du fabricant et compléter la fiche de l'éolienne dans la bibliothèque.

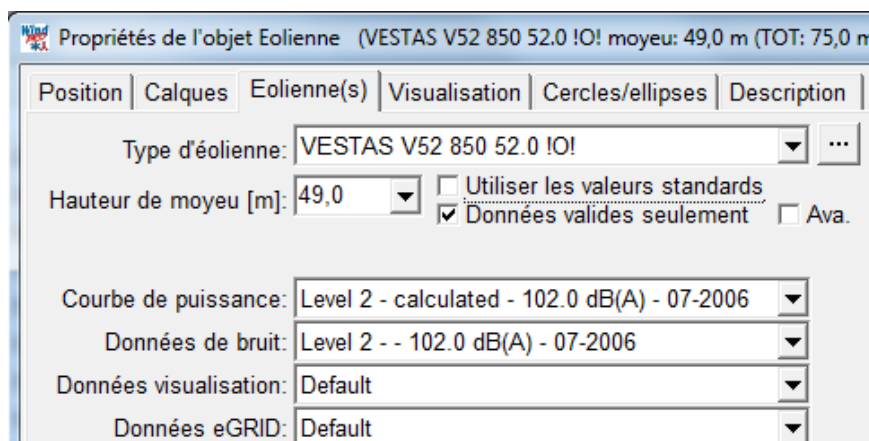
#### Bridages

Beaucoup de machines proposent des fonctionnements en mode bruit réduit. Dans la fiche de l'éolienne de la bibliothèque apparaissent alors plusieurs courbes de puissance avec les dénominations suivantes Level 0, Level 1, level 2, etc. Level 0 est la courbe de puissance standard sans réduction de bruit, Level 1 est la première courbe de puissance avec réduction de bruit, etc.

Ainsi, « Level 3 – calculated – 103dB – 09/2009 » représente le 3<sup>ème</sup> niveau de bridage, « calculated » indique que ce sont des valeurs calculées, « 103dB » est le nom donné par le fabricant à ce niveau de bridage (ce n'est pas forcément le niveau sonore maximal de ce bridage), enfin « 09/2009 » est la date de la spécification.

#### Choix des bridages

Le choix du bridage se fait en décochant l'option *Utiliser les valeurs standards* et en choisissant la courbe de puissance adéquate dans le menu *Données de bruit*, voir Figure 15.



Ne pas oublier dans le menu *Courbe de puissance* de choisir la même courbe de puissance.

Figure 15



### Choix avancé des bridages

L'option *Ava.* donne accès aux possibilités avancées *Optimiser* et *Ljsn*.

L'option *Optimiser*, voir Figure 16, permet de définir les différentes configurations de bridage qui devront être utilisées par le calcul d'optimisation automatique du bridage (voir la section 8, OPTIMISATION).

En cliquant sur le bouton « + » on définit une nouvelle *Config.*, en cliquant sur « - » on supprime la *Config.* affichée. Les flèches permettent de faire défiler les différentes *Config.* définies. En cochant l'option *Util.*, on indique à WindPRO que la courbe de puissance de la *Config.* affichée devra être utilisée pour les autres calculs.

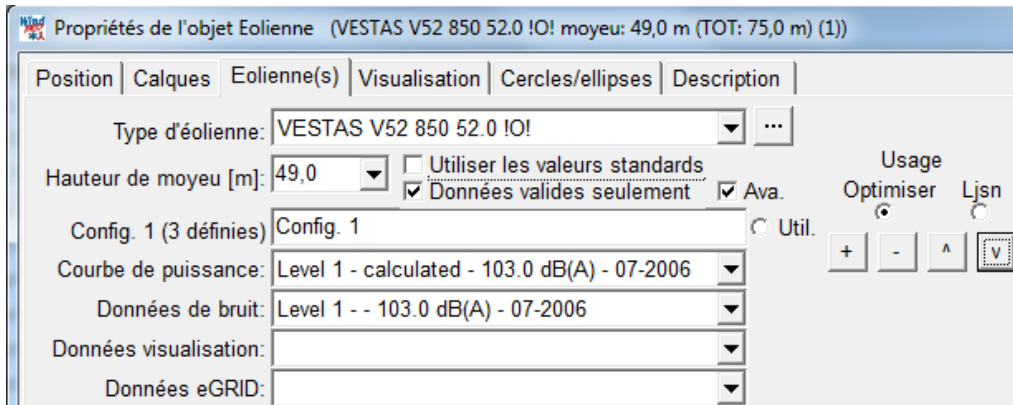


Figure 16

L'option *Ljsn*, voir Figure 17, permet de définir les bridages qui devront être utilisés pendant la journée, le soir et la nuit. Les trois bridages sont créés automatiquement avec, par défaut, la même courbe de puissance pour les trois périodes.

Un calcul avec *Ljsn* combine trois calculs individuels avec les trois bridages. Au départ, cette option est destinée aux calculs de bruit avec la norme norvégienne, voir 4.1.1.4.

Le calcul de productible, malheureusement, ne se fait pas avec les trois bridages. Il se fait avec celui dont l'option *Util.* est cochée.

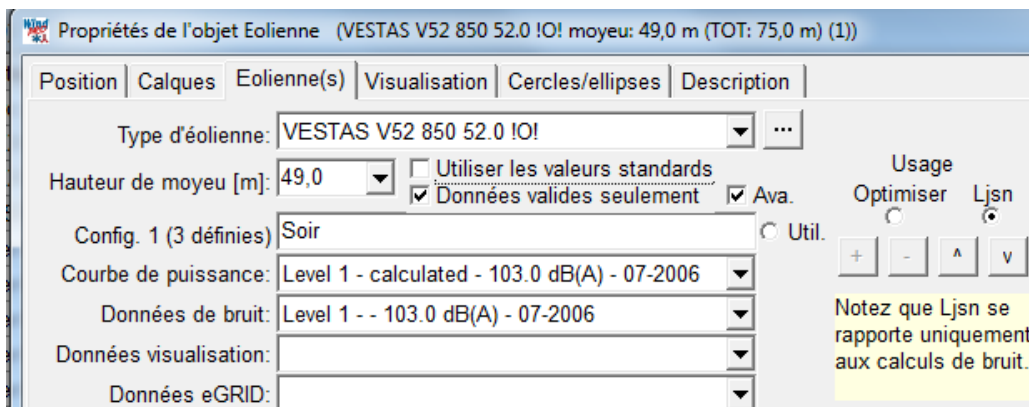


Figure 17

#### 4.1.2.1 Zones-bruit-réglémenté



Pour créer un objet *Zone-bruit-réglémenté* cliquez, dans la barre d'objets, sur l'icône ci-contre, puis posez l'objet sur la carte, à l'emplacement voulu, par un double clic pour définir le point de l'étude ou par plusieurs clics pour définir un polygone délimitant la zone de l'étude. La fenêtre *Propriétés de l'objet Zone-bruit-réglémenté*, de la Figure 18, s'ouvre automatiquement.

#### Onglet *Position*

Note: l'altitude des objets *Zone-bruit-réglémenté* doit être définie dans le même référentiel que les éoliennes. Si par exemple l'altitude des éoliennes a été forcée à 0m et que le point étudié est plus bas que les éoliennes, il faudra entrer une valeur d'altitude négative dans le champ Z(altitude) de l'objet. Il est recommandé d'utiliser les

altitudes réelles, ou de cocher l'option *Altitude du MNT* pour tous les objets, afin que leur altitude soit automatiquement calculée à partir du MNT.

Avec l'objet *Zone-bruit-réglé* on peut définir :

- un point
- une zone

On utilise un point quand on souhaite faire l'étude en un point que l'on veut placer précisément en entrant ses coordonnées. On utilise une zone quand on veut connaître le point le plus exposé d'une zone que l'on délimite par un polygone. Le programme trouvera le point le plus exposé (sur le périmètre du polygone) et fera l'étude en ce point.

### Onglet *Contraintes*

Lors de la création de l'objet *Zone-bruit-réglé*, WindPRO détecte le pays du projet et propose la fenêtre de saisie prédéfinie correspondant à la réglementation locale. Par exemple, pour un projet situé au Danemark, voir Figure 18, les vitesses de vent sont prédéfinies (et verrouillées) à 6m/s et 8m/s comme l'impose la norme, il reste seulement à indiquer le type de zone où se fait l'étude, selon le choix le *Niveau de bruit max* est modifié automatiquement.

Propriétés de l'objet Zone-bruit-réglé (Zone-bruit-réglé: (6))

Position | Calques | **Contraintes** | Zone | Description

A définir dans le paramétrage du calcul

Entrée des données de la zone étudiée

Réglementation Danemark Danoise 2007

Libre paramétrage

Zone rurale  
 Zone résidentielle  
 Définie par l'utilisateur

Contrainte de bruit

**Niveau de bruit max.**  
 Définir intervalle de vitesses

Vitesses du vent: de, à, par pas de

Vit. du vent	Niveau de bruit max. [dB(A)]
6,0 m/s	42,0
8,0 m/s	44,0

Figure 18

Seules les réglementations de quelques pays sont prédéfinies.

Si la réglementation du pays n'est pas prédéfinie ou si vous voulez introduire des paramètres supplémentaires, il faut sélectionner l'option *Libre paramétrage* et choisir les paramètres adéquats. Les paramètres définissables sont ceux relatifs à la *Contrainte de bruit*, à la *Contrainte de distance* minimale des éoliennes et à la *Hauteur à laquelle doit être calculé le bruit*, voir Figure 19.

Propriétés de l'objet Zone-bruit-réglé (Zone-bruit-réglé: (6))

Position | Calques | **Contraintes** | Zone | Description

A définir dans le paramétrage du calcul

Entrée des données de la zone étudiée

Réglementation  
 Libre paramétrage

Contrainte de bruit

Contrainte sur le bruit des éoliennes (DK, DE, SE, NL etc.)  
 Contrainte sur l'émergence (UK, FR etc.)

Contrainte de distance

**Distance minimale**  +  \* Diamètre rotor [m]

Hauteur à laquelle doit être calculé le bruit

Utiliser la valeur standard du modèle de calcul  
 Indiquer la hauteur du calcul  m

Ok  
Annuler  
Précédent  
Suivant  
Conv. en "par défaut"  
Eff. "par"

Figure 19

Hauteur à laquelle doit être calculé le bruit

WindPRO propose d'utiliser la hauteur définie dans le modèle de calcul et il est inutile d'entrer une valeur. Si l'étude comporte plusieurs points et que pour un point il est nécessaire de faire le calcul à une hauteur particulière (par exemple sur la terrasse d'un édifice), alors, il suffit de décocher l'option *Utiliser la valeur standard du modèle de calcul* et d'*Indiquer la hauteur du calcul* dans le champ du même nom.

Contrainte de bruit

Si aucune *Contrainte de bruit* n'est cochée, il n'y a pas de calcul de conformité et le résultat de la vérification de la conformité n'apparaît plus dans le rapport. Les choix des niveaux de bruits en L<sub>wa</sub> ou L<sub>90</sub> se fait dans le paramétrage du modèle.

Autrement deux types de contraintes de bruit sont analysables :

a) La contrainte portant sur le niveau de bruit résultant du fonctionnement des éoliennes.

On peut définir le *Niveau de bruit max.* admissible en entrant sa valeur dans le champ du même nom, voir Figure 20.

Si le *Niveau de bruit max.* admissible dépend de la vitesse du vent, il faut cocher l'option *Définir intervalle de vitesses* et entrer le *Niveau de bruit max.* admissible pour chaque vitesse de l'intervalle, voir Figure 21. De même, si le *Niveau de bruit max.* admissible dépend de la bande d'octave, il faut cocher l'option *Définir bandes d'octave* et entrer le *Niveau de bruit max.* admissible pour chaque bande.

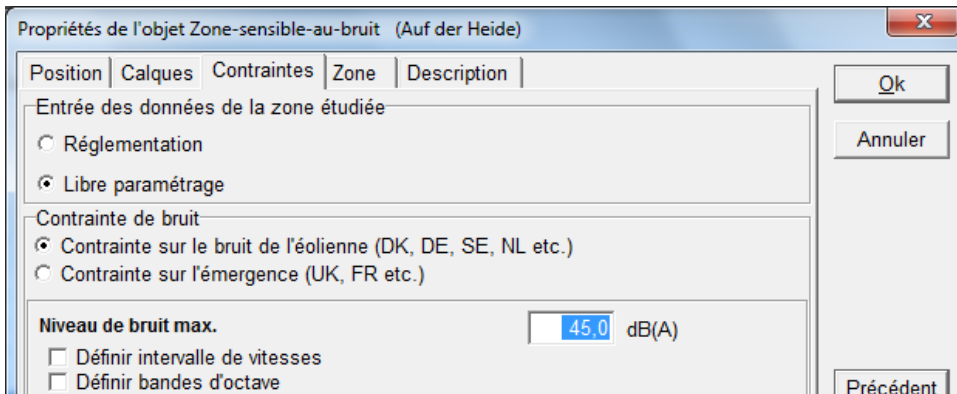


Figure 20

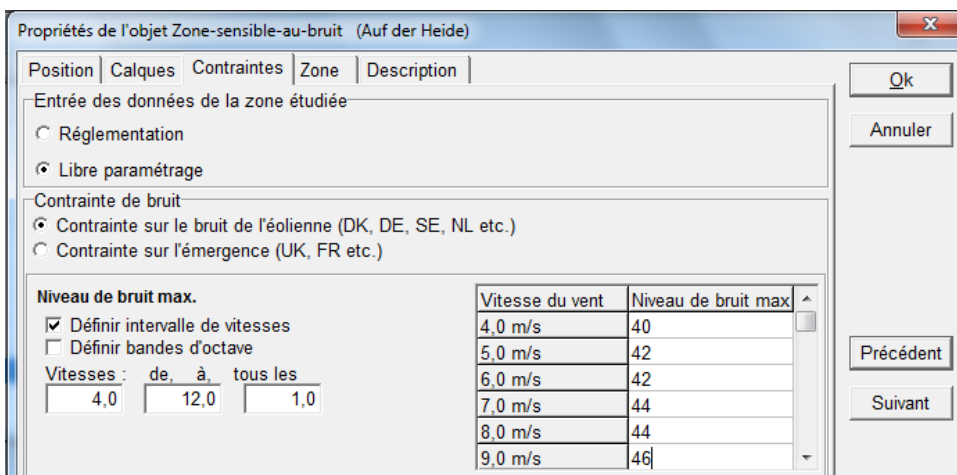


Figure 21

b) La contrainte portant sur la remontée globale du bruit ambiant (*Emergence*) due aux éoliennes qui nécessite la connaissance du bruit ambiant sans les éoliennes (*Bruit résiduel*).

Si les émergences doivent être calculées pour plusieurs vitesses de vent, il faut cocher l'option *Définir intervalle de vitesses* et entrer le niveau de *Bruit résiduel* pour chaque vitesse de l'intervalle.

Si la valeur de l'*Emergence max.* admissible dépend de la vitesse du vent, il faut cocher l'option *Définir intervalle de vitesses* et entrer l'*Emergence max.* pour chaque vitesse de l'intervalle.

De même, le *Bruit résiduel* et l'*Emergence max.* peuvent être entrés pour chaque bande d'octave si nécessaire.

Enfin, si en-dessous d'un niveau de bruit global (résiduel + éoliennes), il n'y a plus de contrainte réglementaire, on peut entrer ce niveau dans le champ *Pas de contrainte si le niveau global reste <= à*, voir Figure 22.

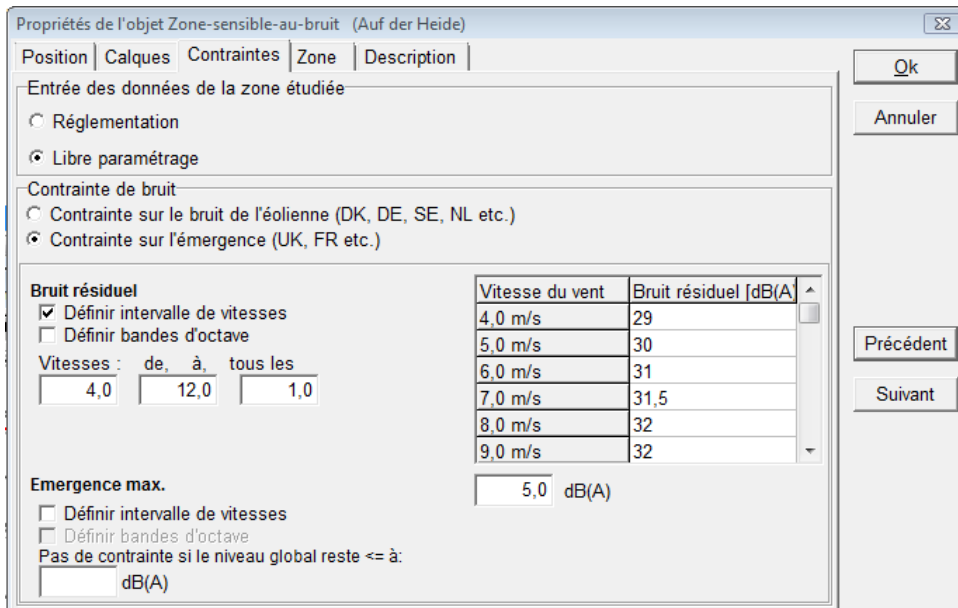


Figure 22

### Onglet Zone

Si la *Zone-bruit-réglémenté* est un polygone, alors les coordonnées des sommets du polygone sont listées dans l'onglet *Zone*, voir Figure 23.

On peut *Ajouter* ou *Supprimer* des points à la liste. On peut également *Copier* les coordonnées dans Excel ou les *Coller* à partir d'Excel. Les opérations *Copier* et *Coller* s'appliquent à la liste complète.

#### Notes :

Quand la *Zone-bruit-réglémenté* est un polygone, le point le plus exposé est recherché sur les côtés du polygone. Etant donné qu'une seule valeur d'altitude est associée à un polygone, il peut être préférable de créer plusieurs polygones adjacents pour tenir compte des différences d'altitude lorsque les dénivelés sont importants.

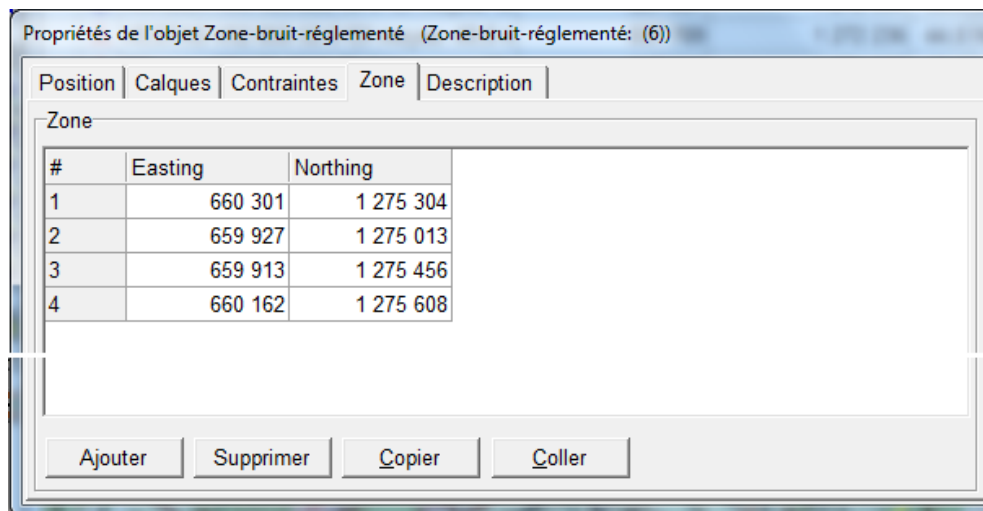
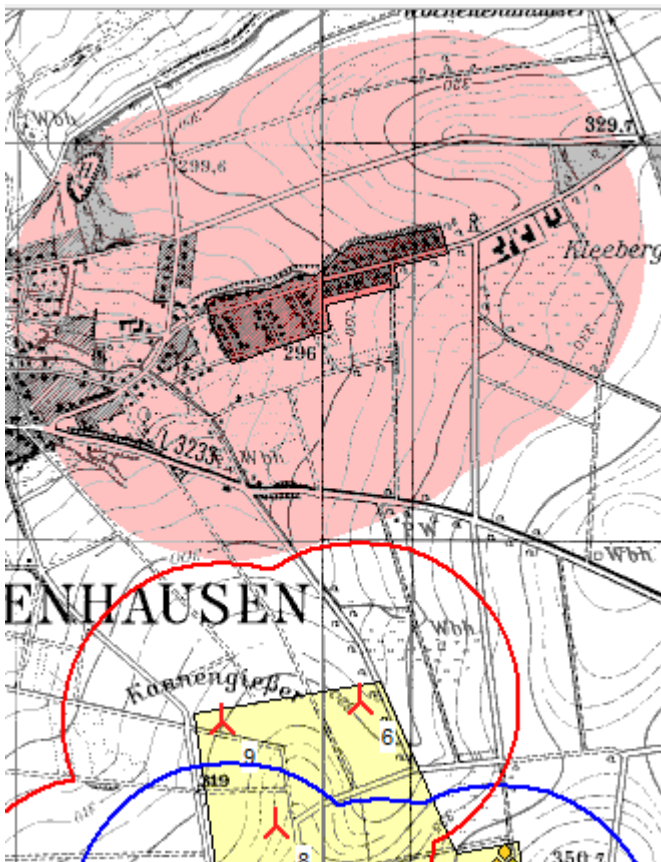


Figure 23

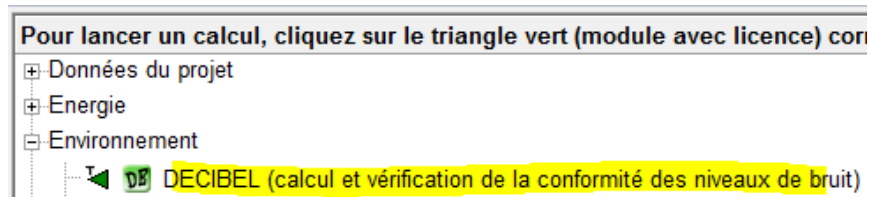
#### 4.1.2.2 Représentation des contraintes de distance sur la carte



Si dans le paramétrage de l'objet *Zone-bruit-réglémenté* vous avez défini une *Distance minimale*, on peut la montrer sur la carte, voir Figure 24. Pour cela, il suffit de faire un clic droit dans le polygone de la *Zone-bruit-réglémenté* et de cocher le dans menu contextuel qui s'affiche la commande *Afficher les Zones- tampons*.

Figure 24

### 4.1.3 Calculs et rapports



Dans la fenêtre *Calculs et rapports* cliquez sur la flèche verte devant *DECIBEL...*, pour lancer les calculs.

#### 4.1.3.0 Paramétrage du calcul

Le calcul DECIBEL suit le même principe que les autres calculs WindPRO, la première étape étant son paramétrage dans la fenêtre de la Figure 25.

##### Onglet *Principal*

L'onglet *Principal* sert principalement à sélectionner les types de calculs, voir Figure 25.

Trois types de calculs sont proposés :

- les *Calculs standards*
- l'affichage à l'écran d'*Isophones interactifs pour optimiser l'implantation*
- la génération d'une *Carte des émissions de bruit permises*

La présente partie est consacrée aux *Calculs standards* ; les autres types de calculs sont décrits en détail respectivement aux paragraphes 4.1.3.3 et 4.1.3.4.

Les *Calculs standards* permettent de calculer les niveaux sonores aux emplacements définis par les objets *Zone-bruit-réglémenté* ou de générer une carte montrant les niveaux sonores sous forme d'isophones. Les deux calculs peuvent être sélectionnés à la fois.

Les options *Introduire vérification distance* et *Calculer marge de distance* permettent respectivement de vérifier que la *Contrainte de distance* entrée dans l'objet *Zone-bruit-réglémenté* est respectée et de calculer de combien on pourrait rapprocher le parc de la *Zone-bruit-réglémenté* sans dépasser le niveau de bruit autorisé.

L'option *Ouvrir onglet paramétrage Zones-bruit-réglémenté* fait apparaître un onglet permettant de paramétrer, mais de façon identique, tous les objets *Zones-bruit-réglémenté* à la fois.

Le menu *Modèle utilisé pour le calcul de bruit*, permet de choisir le modèle en fonction de la réglementation applicable, le bouton *Modifier les paramètres* permet de réviser les paramètres utilisés et de les modifier si nécessaire, voir 4.1.1.

Le contenu du champ *Nom* apparaîtra en titre de toutes les pages du rapport qui sera produit à l'issue des calculs.

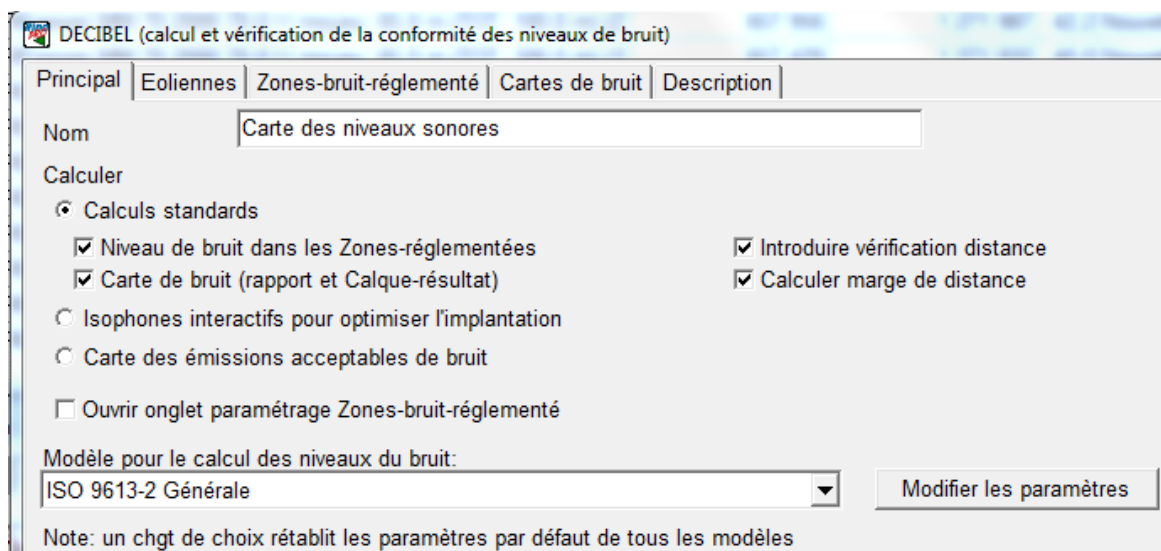
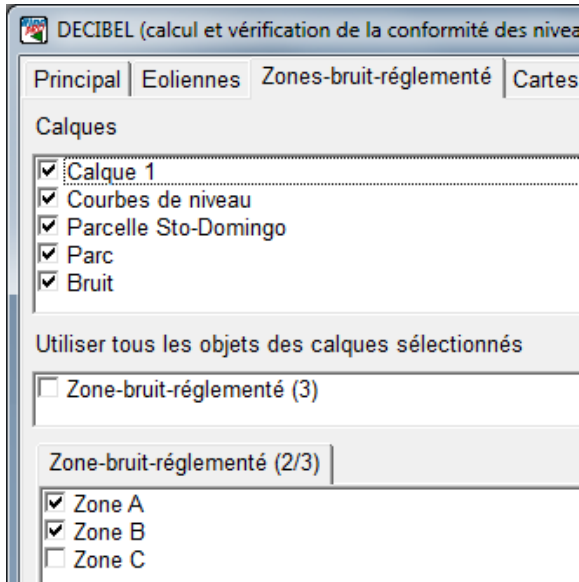


Figure 25

### Onglet *Eoliennes*

A partir de cet onglet on peut sélectionner individuellement les éoliennes qui doivent être utilisés pour les calculs. On peut aussi créer plusieurs calques avec chacun une implantation différente et sélectionner uniquement les éoliennes d'une implantation en sélectionnant simplement le calque correspondant.

### Onglet *Zones-bruit-réglémenté*



A partir de cet onglet on sélectionne les objets *Zone-bruit-réglémenté* qui doivent être utilisés pour les calculs. Comme pour les éoliennes on peut les grouper dans différents calques et sélectionner l'ensemble des objets d'un calque simplement en sélectionnant le calque. On peut ainsi créer un calque contenant les objets paramétrés avec les valeurs maximales de bruit pour la nuit et un autre avec les objets paramétrés avec les valeurs maximales de bruit pour le jour et choisir directement le calque selon le calcul, nuit ou jour, que l'on veut effectuer, voir Figure 26.

Figure 26

### Onglet *Carte de bruit*

Cet onglet apparaît seulement si le calcul *Carte de bruit* a été coché. Il permet de sélectionner les cartes qui devront être incluses dans le rapport et de les configurer, voir Figure 27.

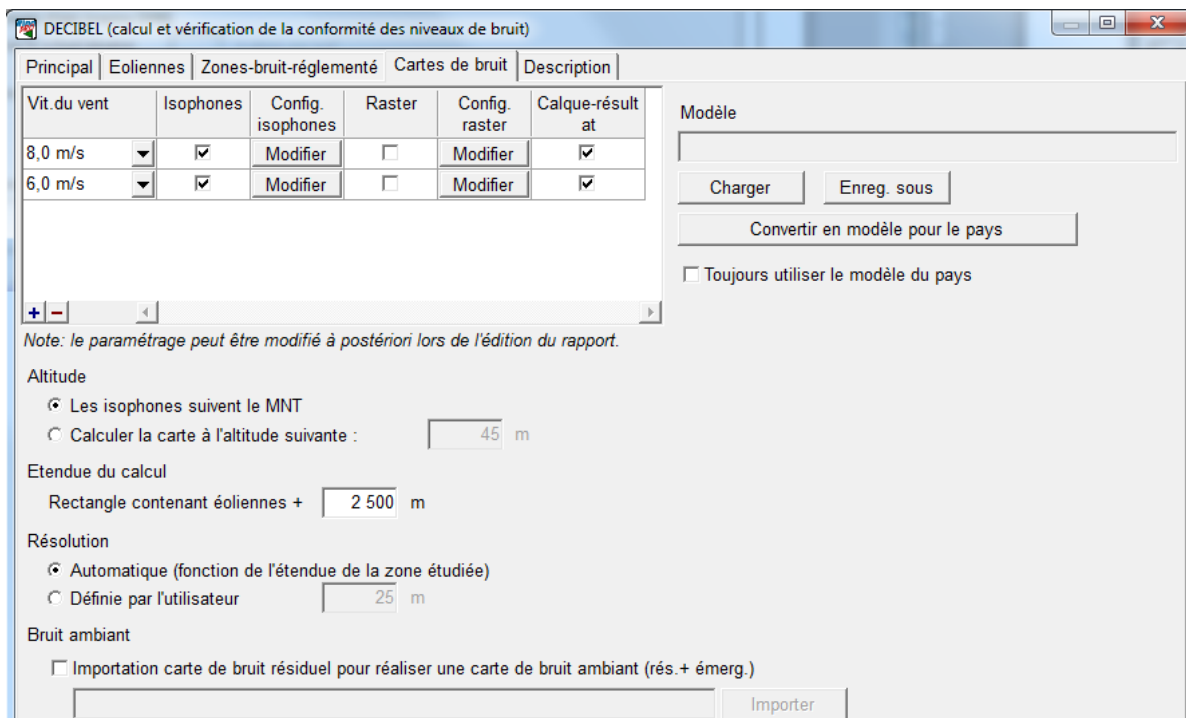


Figure 27

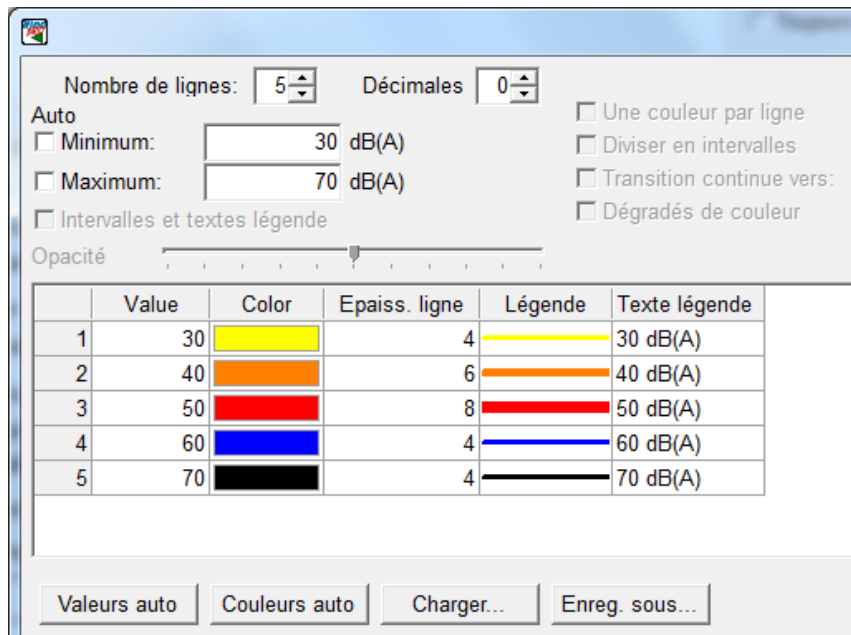
Selon le *Modèle utilisé pour le calcul de bruit*, il y aura une ou plusieurs cartes. Dans le cas de la Figure 27, c'est la réglementation danoise qui est utilisée, elle impose que les calculs soient faits à 6m/s et à 8m/s d'où les 2 cartes proposées.

Trois possibilités de présentation des résultats sont possibles en cochant les options correspondantes :

- *Isophones* : la carte du rapport présente les niveaux sonores sous forme d'isophones.
- *Raster* : la carte du rapport présente les niveaux sonores sous forme de bandes colorées, chaque bande correspondant à une plage de bruit.
- *Calque-résultat* : cette option permet de présenter le résultat à l'écran sous forme d'isophones et/ou de raster.

Il est possible de sélectionner plusieurs cartes, toutes les cartes sélectionnées seront incluses dans le rapport.

L'option *Config. isophones* ouvre la fenêtre de la Figure 28, qui permet de configurer la présentation des isophones en choisissant le *Nombre de lignes* (isophones), les *Valeur min et max* et les couleurs à utiliser.

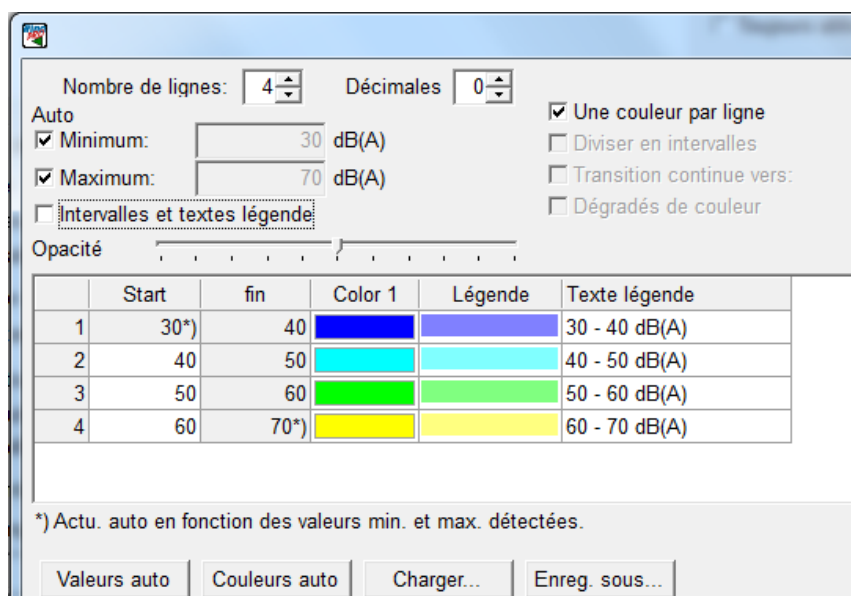


La configuration peut également être faite au moment de l'affichage du rapport via une fenêtre similaire.

Le bouton *Enreg. Sous...* permet sauvegarder la configuration afin de la réutiliser lors d'un autre calcul. Pour appeler une configuration enregistrée il suffit de cliquer sur le bouton *Charger*.

Figure 28

L'option *Config. Raster* ouvre la fenêtre de la Figure 29, qui permet de configurer la présentation des résultats sous forme de raster, le principe est le même que pour les isophones : on indique le *Nombre de lignes* (plages de bruit), les *Valeur min et max* et les couleurs à utiliser.



Comme pour les isophones, cette configuration peut également être faite au moment de l'affichage du rapport. Cette fenêtre de configuration se retrouve à plusieurs endroits de WindPRO.

Figure 29

Dans l'onglet *Carte de bruit* le bouton *Convertir en modèle pour le pays* permet de transformer la configuration établie en modèle que WindPRO utilisera par défaut pour les calculs effectués dans le pays.



Dans la partie *Altitude*, l'option *Les isophones suivent le MNT* est cochée par défaut ; dans ce cas les distances utilisées lors des calculs prennent en compte les dénivelés. Alternativement, il est possible de calculer la carte sur un plan dont l'altitude s'indique dans le champ *Calculer la carte à l'altitude suivante* ; dans ce cas les distances utilisées sont celles séparant les moyeux des éoliennes des points sur le plan, en terrain montagneux les distances ainsi calculées peuvent être sensiblement erronées.

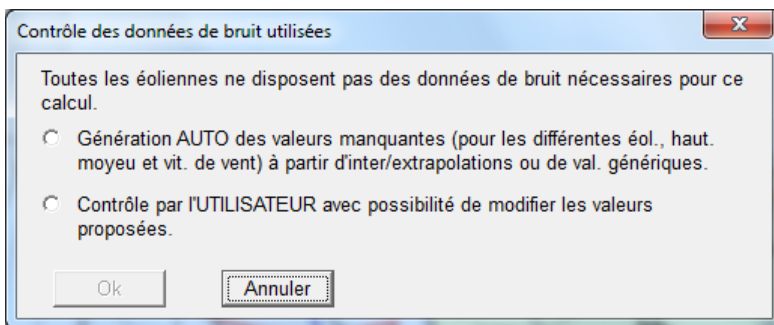
Dans la partie *Etendue du calcul*, le paramétrage par défaut limite la carte à un périmètre de 2500m autour du parc. Cette valeur peut être modifiée si nécessaire (très grands parcs ou pour faire apparaître des niveaux sonores très faibles).

Dans la partie *Résolution*, l'option *Automatique (fonction de l'étendue de la zone étudiée)* est cochée par défaut ; cette option détermine automatiquement la finesse de la maille de calcul afin que sa durée reste raisonnable. Mais on peut aussi choisir la finesse de la maille en entrant la valeur souhaitée dans le champ *Définie par l'utilisateur*.

Pour générer une carte montrant les niveaux des émergences, il faut aussi une carte donnant les niveaux du bruit résiduel dans la zone étudiée. Pour introduire cette carte, cochez l'option *Utiliser une carte de bruit résiduel...*, puis cliquez sur le bouton *Importer* pour charger la carte à partir d'un fichier Shape et enfin sélectionnez le système de coordonnées utilisé par le fichier ainsi que le champ de la base de données contenant les valeurs de bruit résiduel.

#### 4.1.3.1 Calculs

Si toutes les données nécessaires aux calculs sont disponibles, alors les calculs DECIBEL démarrent à la



fermeture de la fenêtre de paramétrage, voir 4.1.3.0. Si les données sonores des éoliennes sont insuffisantes, la fenêtre de la Figure 30 s'ouvrira et il faudra choisir soit la *Génération AUTO des valeurs manquante...* par WindPRO, soit le *Contrôle par l'UTILISATEUR...*

Figure 30

Il est recommandé de choisir la seconde option, qui ouvre la fenêtre de la Figure 31, afin de pouvoir examiner les propositions faites par WindPRO et, le cas échéant, de les modifier manuellement.

Dans cette fenêtre, les données présentées sur un fond rouge sont les données proposées par WindPRO car elles ne sont pas disponibles dans la bibliothèque d'éoliennes.

Les deux champs supérieurs indiquent respectivement le type d'éolienne et la courbe de puissance utilisée. Pour parcourir les différents types d'éoliennes intervenant dans le calcul, dont les données sonores sont incomplètes, il faut cliquer sur le bouton *Eolienne suivante >>* situé au bas de la fenêtre.

Dans le cas présenté à la Figure 31, les niveaux sonores sont manquants pour les vitesses de 4, 5, 6 et 7m/s et pour la hauteur de moyeu de 50m. Il manque également l'expression des niveaux en bandes d'octave. La colonne *Valeur* indique comment WindPRO a calculé les valeurs proposées.

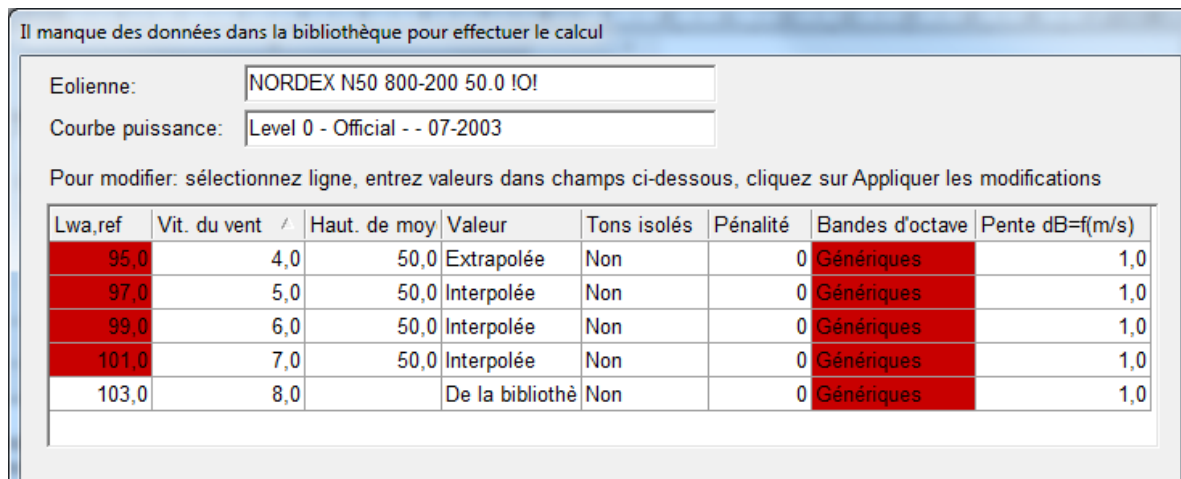


Figure 31

Pour visualiser toutes les données et, le cas échéant faire des modifications, sélectionner la ligne voulue, voir la Figure 32. Les modifications se font dans le cadre *Données générées par WindPRO...*, une fois les modifications faites il faut cliquer sur le bouton *Appliquer les modifications* pour qu'elles soient prises en compte.

Note : les modifications seront uniquement utilisées par le calcul en cours, elles ne sont pas mémorisées et si vous recommencez le calcul vous devrez entrer de nouveau les modifications. Si vous souhaitez que les données soient enregistrées afin de les réutiliser, il faut les saisir dans la fiche de l'éolienne de la bibliothèque.

Note : dans les rapports les données générées par WindPRO sont signalées.

Pour démarrer les calculs cliquez sur le bouton *Commencer les calculs*.

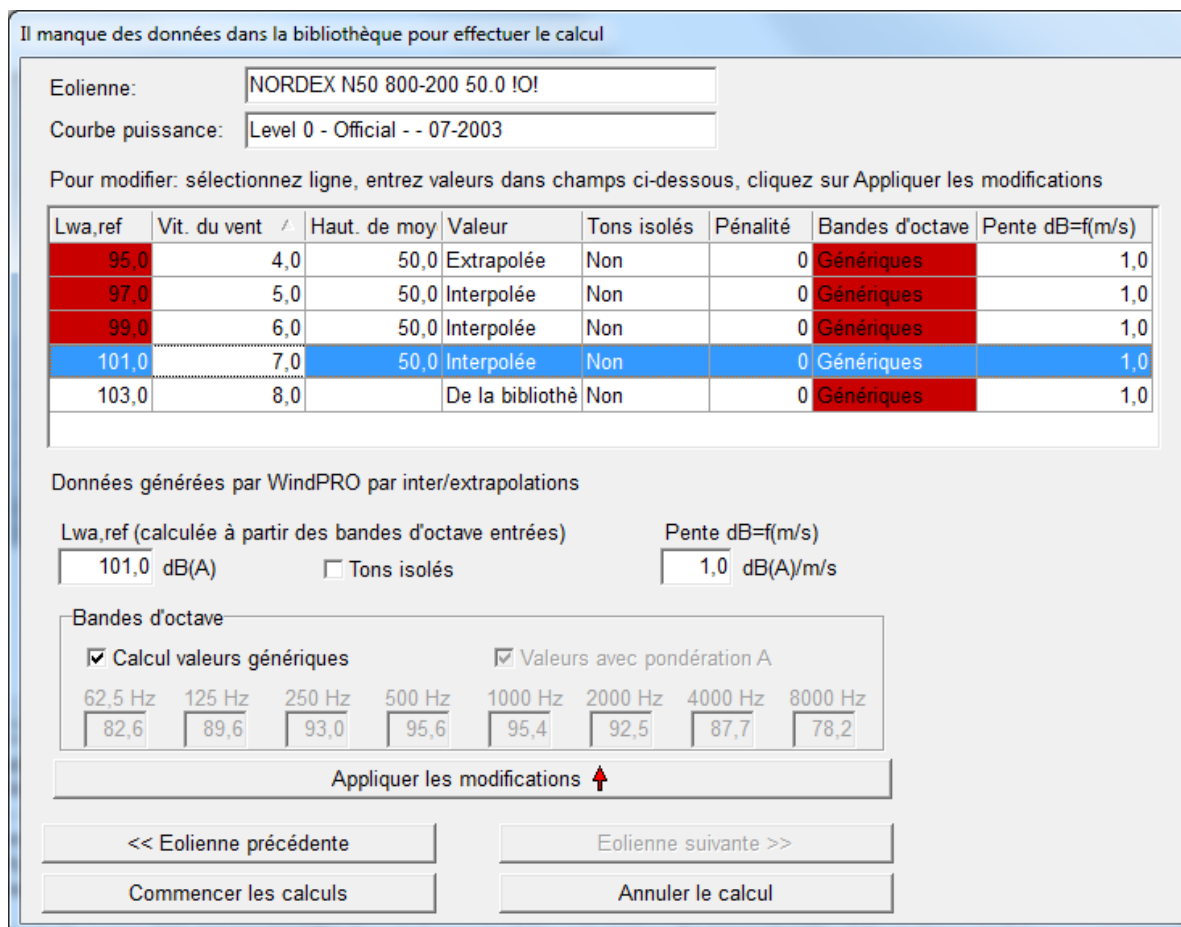


Figure 32

### Génération des données manquantes

Dans le cas où toutes les données nécessaires aux calculs ne sont pas disponibles, EMD recommande vivement de les demander au fabricant et de les introduire dans la *Bibliothèque d'éoliennes*. Mais très souvent, pour des calculs préliminaires ou parce que les données n'existent pas, il est très pratique d'utiliser les valeurs génériques ou dérivées proposées par WindPRO.

Les données nécessaires aux calculs sont les niveaux sonores des éoliennes pour les différentes vitesses de vent et les différentes hauteurs de moyeu ; dans certains cas ces niveaux doivent être exprimés en bandes d'octave.

#### 1) Pas de niveau sonore pour certaines vitesses de vent :

Dans ce cas, WindPRO les calcule par inter/extrapolation linéaire à partir des niveaux voisins disponibles. Etant donné que le niveau sonore d'une éolienne et la vitesse du vent ne sont pas liés par une relation linéaire il faut utiliser ces valeurs avec prudence.

Si le niveau sonore est disponible pour une seule vitesse de vent, WindPRO calcule les valeurs manquantes en utilisant la pente donnée dans le champ *Pente dB = f(v)*.

Si aucune valeur n'est disponible, WindPRO déterminera, à partir de la puissance de l'éolienne, son niveau sonore  $L_{WA,ref}$  en utilisant la statistique présentée à la Figure 33 (Møller, Aalborg University). Etant donné la dispersion des valeurs l'incertitude affectant les résultats sera très élevée.

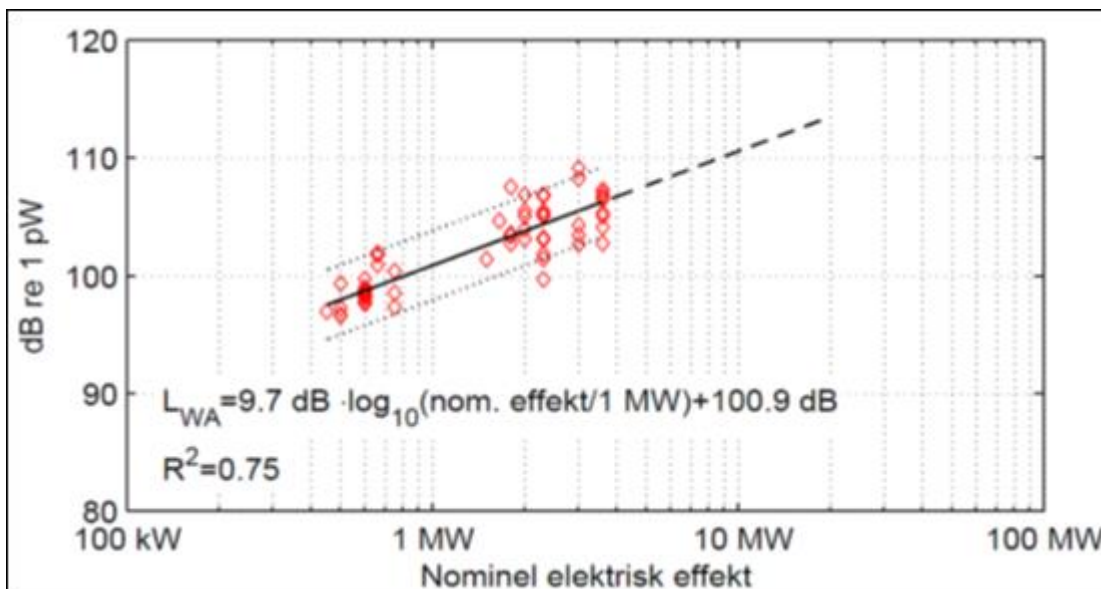


Figure 33

Si le niveau sonore de l'éolienne est uniquement donné à 95% de sa puissance nominale, aucune extrapolation ne peut être faite car on ne connaît pas la vitesse de vent correspondante.

#### 2) Pas de niveaux sonores pour certaines hauteurs de moyeu :

Dans ce cas, WindPRO détermine le niveau sonore pour la hauteur de moyeu utilisée, par interpolation ou extrapolation à partir des valeurs disponibles pour les hauteurs voisines. Si les niveaux sonores de l'éolienne sont donnés pour une seule hauteur de moyeu, les valeurs relatives à cette hauteur seront utilisées.

Si pour la vitesse de vent utilisée le niveau sonore n'est disponible pour aucune hauteur de moyeu, WindPRO commencera par déterminer le niveau sonore pour cette vitesse de la manière indiquée en 1) puis, à partir de la valeur obtenue, calculera le niveau pour la hauteur de moyeu utilisée de la manière indiquée dans les lignes précédentes. Si les données sont insuffisantes pour appliquer cette procédure alors le niveau sonore est extrait de la statistique de la Figure 33.

Note : parfois les fabricants donnent des niveaux valables pour toutes les hauteurs de moyeu.

### 3) Les niveaux sonores ne sont pas exprimés en bandes d'octave :

Dans ce cas, à partir d'un niveau sonore global exprimé en dB(A), WindPRO sait proposer, si nécessaire aux calculs, une distribution en bandes d'octave. Note : le niveau proposé pour chaque bande est pondéré A et leur somme est donc égale au niveau global en dB(A).

Si pour l'éolienne considérée, il existe :

- un seul niveau exprimé en bandes d'octave, il sera utilisé pour déterminer le poids de chaque bande dans la composition des niveaux manquants.
- plusieurs niveaux en bandes d'octave, pour la hauteur de moyeu utilisée, alors celui de la vitesse la plus proche sera utilisé pour déterminer le poids de chaque bande dans la composition des niveaux manquants.
- plusieurs niveaux en bandes d'octave, pour différentes hauteurs de moyeu, alors c'est celui de la hauteur la plus proche qui sera utilisé pour déterminer le poids de chaque bande dans la composition des niveaux manquants.
- aucun niveau exprimé en bandes d'octave, alors WindPRO appliquera un poids générique à chaque bande. L'expérience montre que cette distribution des poids donne de bons résultats pour beaucoup de machines.

La transposition du poids des bandes d'une vitesse, pour déterminer les bandes d'octave d'une autre vitesse, donne des erreurs insignifiantes. Il est, néanmoins, recommandé de demander l'information au fabricant surtout quand aucun niveau sonore exprimé en bandes d'octave n'est disponible.

### 4) Cas particulier quand la réglementation du Danemark est choisie :

Lorsqu'on choisit *Danemark 2011 basses fréquences* la routine de génération des données manquantes présentée antérieurement n'est pas utilisée. Si les niveaux en bandes d'octave ne sont pas disponibles, pour les machines  $\leq 2$ MW alors un jeu de valeurs génériques officiel est utilisé, pour les machines  $> 2$ MW des valeurs génériques fonction de la puissance sont utilisées.

## 4.1.3.2 Rapports

Quand le calcul est terminé, le sommaire du rapport de calcul s'affiche dans la partie gauche de la fenêtre *Calculs et rapports* présentée à la Figure 34.

En plus du sommaire du rapport, d'autres informations s'affichent dans cette fenêtre : la date du calcul, la version de WindPRO utilisée, etc. Ces informations peuvent être masquées/affichées individuellement en appelant le menu contextuel par un clic sur le bouton à gauche du titre *Nom*.

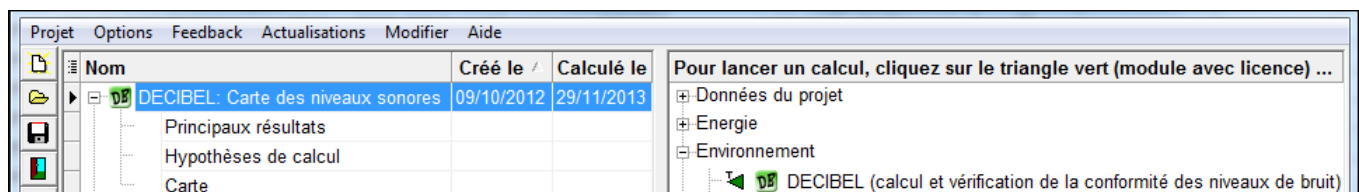


Figure 34

Un double clic sur un titre du sommaire affiche son contenu à l'écran.

En faisant un clic droit sur le titre du rapport on ouvre un menu contextuel et en choisissant l'option *Ouvrir le rapport* dans ce menu, on accède à la fenêtre *Options de présentation* de la Figure 35. Cette fenêtre propose diverses options permettant de personnaliser le rapport.

On choisit le contenu du rapport en cochant les chapitres voulus dans le cadre *Sommaire*. Lorsqu'on sélectionne un chapitre apparaissent, dans la partie droite de la fenêtre, des options de présentation se rapportant à son contenu. L'exemple de la Figure 35, montre les options se rapportant à la carte, un clic sur le bouton à gauche d'*Isophones* ouvre la fenêtre de paramétrage des isophones déjà présentée au 4.1.3.0, cela permet de redéfinir leur présentation sans refaire le calcul.

Pour plus d'informations sur les *Options de présentation* d'un rapport, reportez-vous à la section 2, BASIS.

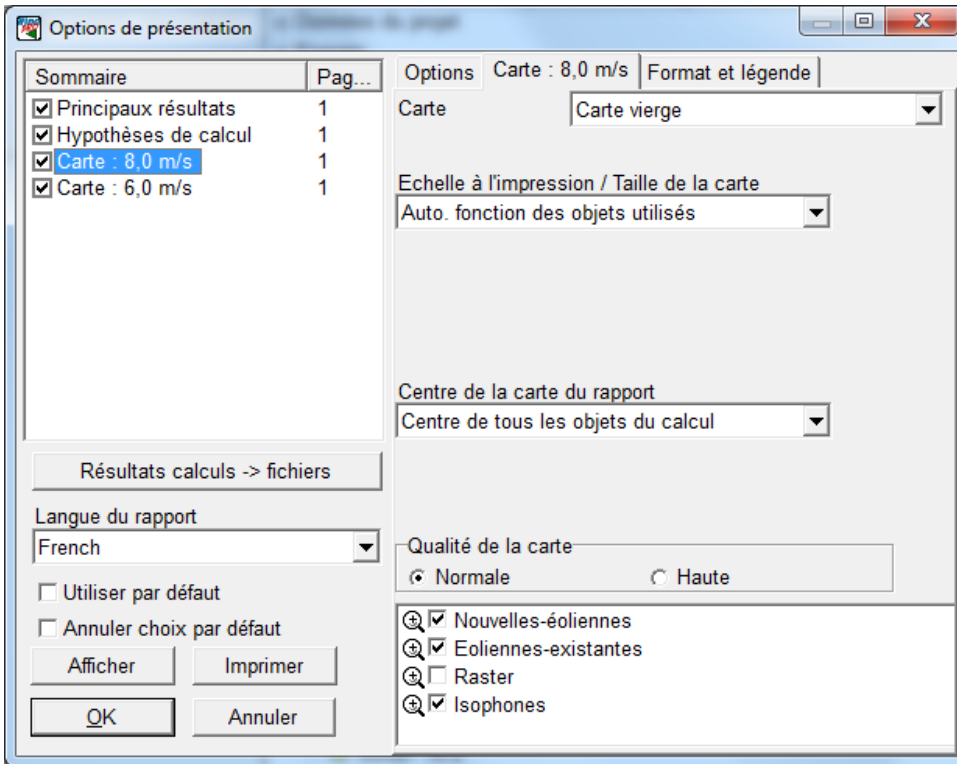


Figure 35

Le contenu du rapport sera différent selon la réglementation choisie. Les différences les plus notables apparaissent quand l'étude est faite pour une plage de vitesses de vent. Dans ce cas, le chapitre *Principaux résultats* donnera seulement le résultat pour chaque *Zone-bruit-réglémenté* à la vitesse de vent la plus critique. Les résultats complets sont donnés au chapitre *Résultats détaillés*, un exemple est donné à la Figure 36, montrant, pour la plage de vitesses étudiée [4, 8m/s], le bruit résiduel (courbe verte), la contrainte (courbe rouge) et l'émergence (courbe bleu). Dans le tableau à la droite du graphique est indiqué explicitement pour chaque vitesse de vent si la contrainte est respectée.

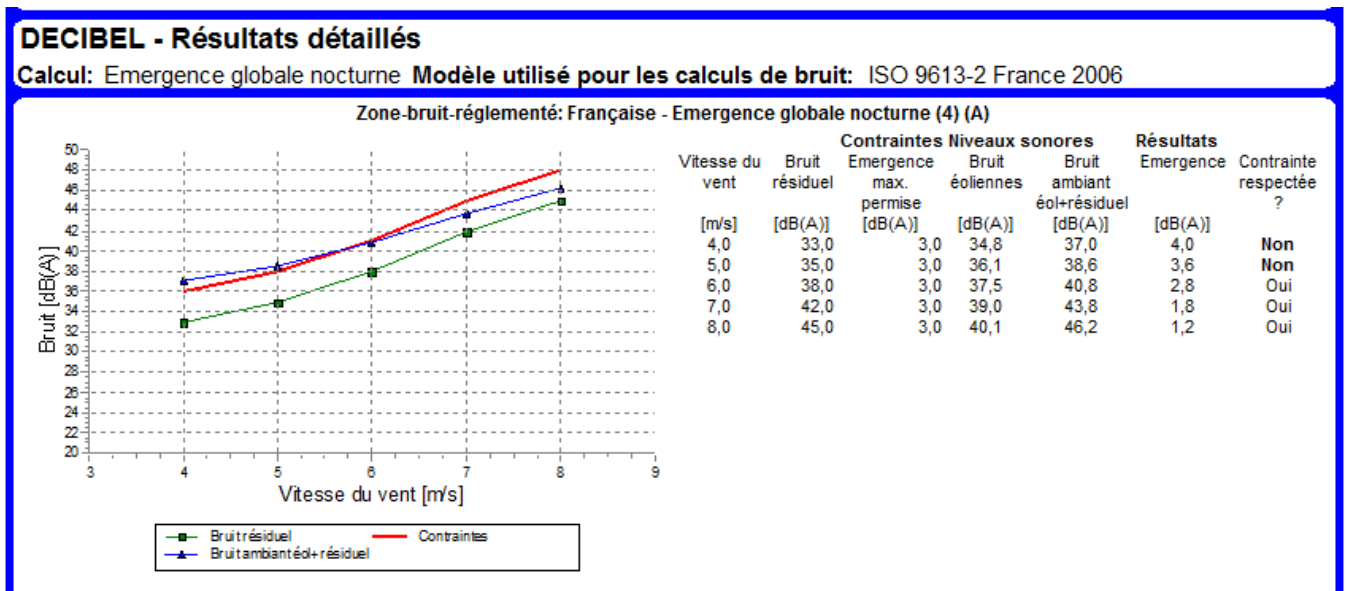
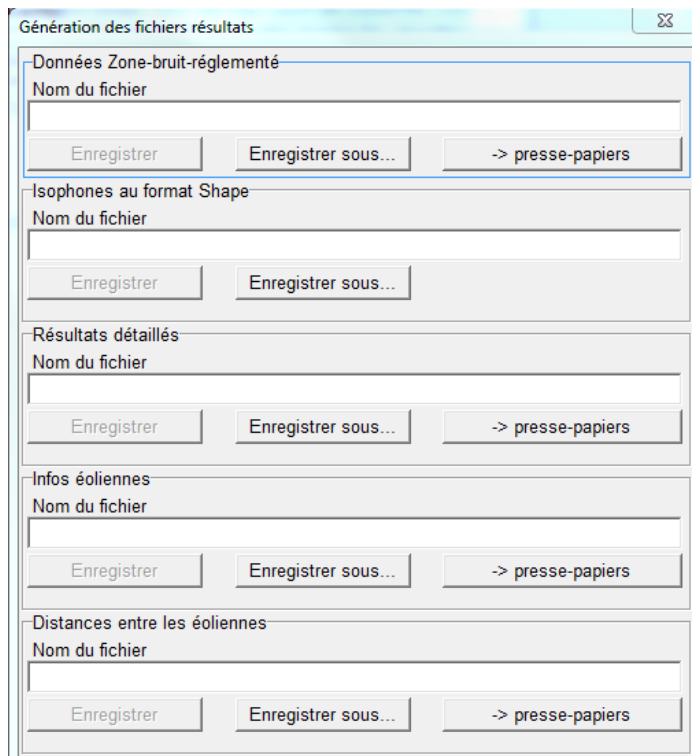


Figure 36

Si l'objet *Zone-bruit-réglémenté* délimite une zone, le résultat se rapporte au point le plus affecté dont les coordonnées sont indiquées dans le chapitre *Principaux résultats*.



### Résultats calculs -> fichiers

A partir du menu contextuel qui s'ouvre par un clic droit sur le titre du rapport ou à partir du bouton *Résultats calculs -> fichiers* de la fenêtre *Options de présentation*, il est possible d'enregistrer les résultats dans des fichiers texte, Shape pour les isophones, ou de les copier dans le presse-papiers afin de les coller dans Excel par exemple. Les choix se font dans la fenêtre *Création des fichiers résultats* de la Figure 37.

Figure 37

#### 4.1.3.3 Optimisation à l'écran

Il est possible d'avoir un affichage dynamique des isophones sur le fond de carte à l'écran qui permet de voir, en temps réel, les effets des déplacements des éoliennes. Cette possibilité peut être d'une grande aide dans la recherche de l'implantation optimale.

Pour sa mise en œuvre, il faut lancer le calcul DECIBEL, comme décrit antérieurement, puis dans l'onglet *Principal* de la fenêtre de paramétrage du calcul il faut cocher l'option *Isophones interactifs pour optimiser l'implantation*, voir Figure 38.

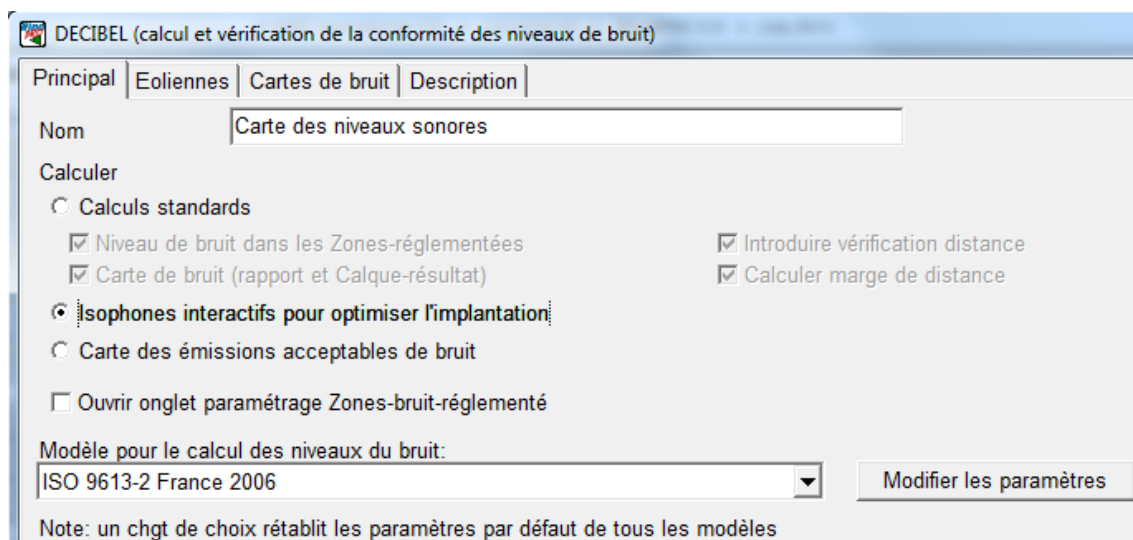


Figure 38

La représentation ne peut se faire que pour une vitesse de vent à la fois dont la valeur se choisit dans l'onglet *Cartes de bruit*.

A l'issue du calcul, WindPRO présente les isophones à l'écran via un *Calque-résultat* interactif. Ainsi, vous pouvez voir immédiatement les effets des changements suivants : position des éoliennes, courbe de puissance, type de machine, ajout et suppression de machines (concerne les éoliennes sélectionnées dans l'onglet *Eoliennes* de la fenêtre de paramétrage du calcul). L'actualisation des isophones se fait lorsque aucune éolienne

n'est plus sélectionnée. Par conséquent, il est préférable de sélectionner les éoliennes à modifier les unes après les autres afin d'éviter des pertes de temps avec des actualisations intermédiaires.

Le calcul d'actualisation des isophones à l'écran est beaucoup plus rapide que le calcul des isophones pour le rapport car la maille de calcul est volontairement moins fine. Néanmoins, dans le cas de grands parcs, ce temps peut être assez long ; il convient alors, pour accélérer les essais d'optimisation, de choisir un modèle simple et d'utiliser un plan d'altitude fixée puis de revenir au modèle de départ et au MNT pour le calcul final.

Un double-clic sur le *Calque-résultat* ouvre la fenêtre de paramétrage de la présentation des isophones, voir Figure 39.

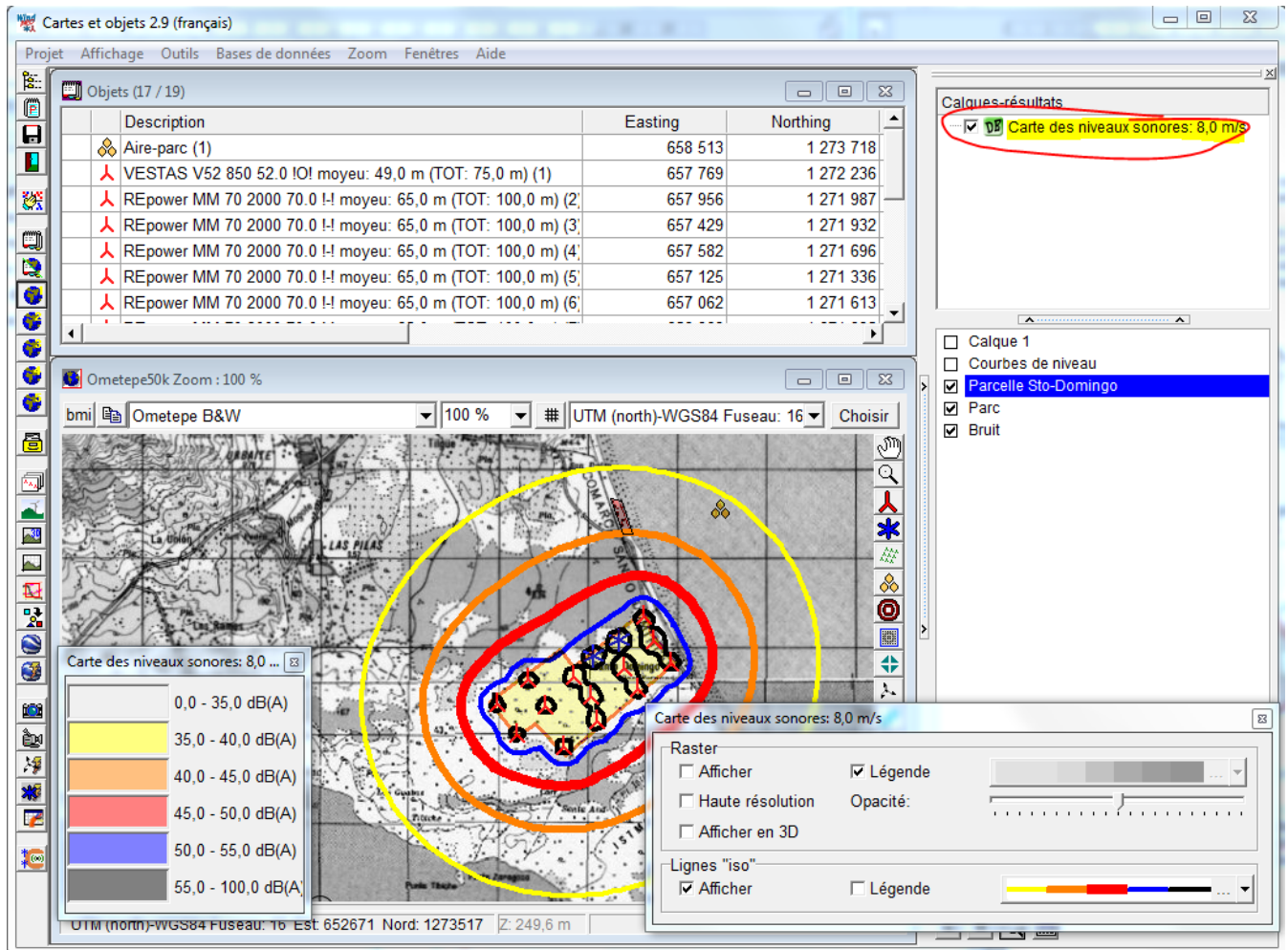


Figure 39

Un clic-droit sur le *Calque-résultat* ouvre un menu contextuel proposant de nombreux formats d'exportation, voir Figure 40.

Quand le travail d'optimisation est terminé, il est recommandé d'effacer le *Calque-résultat*, afin que des actualisations intempestives des isophones se produisent à chaque fois qu'un changement est fait dans le projet. Pour le récréer, il suffit de relancer le calcul.

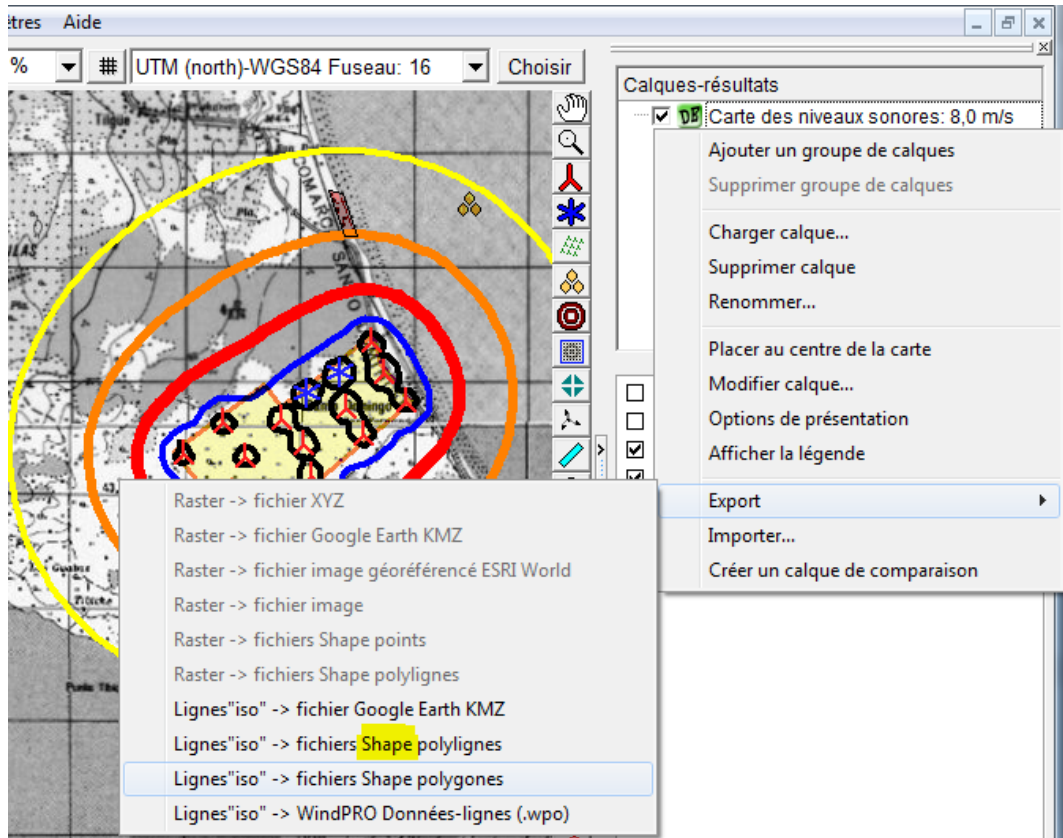
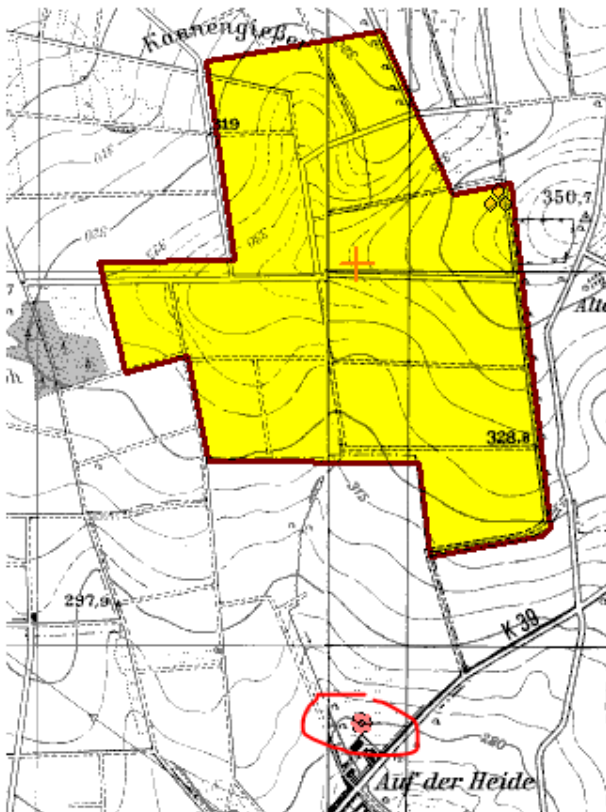


Figure 40

#### 4.1.3.4 Génération d'une carte des émissions acceptables de bruit



Ce calcul proposé par DECIBEL permet d'établir la carte des émissions de bruit acceptables.

Les objets nécessaires à ce calcul sont :

- un objet *Aire-parc* qui sert à délimiter la zone d'implantation du parc étudié ; l'objet ne servant qu'à délimiter la zone, il n'est pas nécessaire d'entrer les informations relatives au *Nbre d'éoliennes*, à la *Distance entre éoliennes*, etc. voir Figure 41.

- des objets *Zone-bruit-réglementé* pour indiquer les niveaux de bruit des éoliennes à ne dépasser aux emplacements étudiés.

Le résultat est une carte indiquant, avec des bandes colorées, les niveaux cumulés maximaux possible des sources sonores dans les différentes zones du parc.

Figure 41



La mise en œuvre de ce calcul se fait en cochant l'option *Carte des émissions acceptables de bruit* dans l'onglet *Principal* de la fenêtre de paramétrage du calcul DECIBEL, voir Figure 42.

Remarquez que le menu *Modèle pour le calcul des niveaux du bruit* est désactivé.

Les onglets présents pour le paramétrage du calcul sont *Zone-bruit-réglementé* et *Carte des émissions acceptables de bruit*.

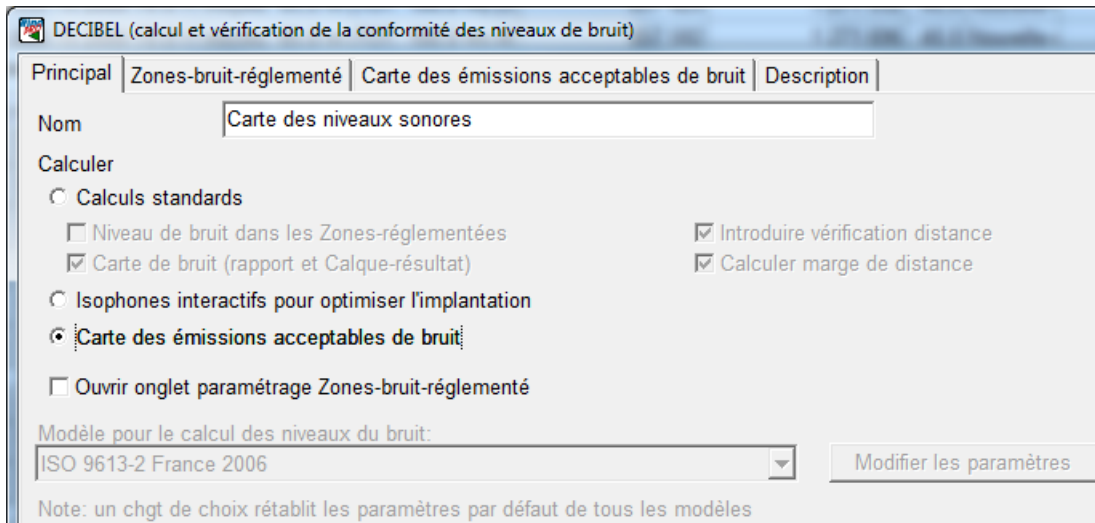


Figure 42

### Onglet *Zones-bruit-réglementé*

Dans cet onglet se fait le choix des objets *Zone-bruit-réglementé* qui devront être utilisées pour le calcul. Ce choix se fait comme pour les autres calculs.

### Onglet *Carte des émissions acceptables de bruit*

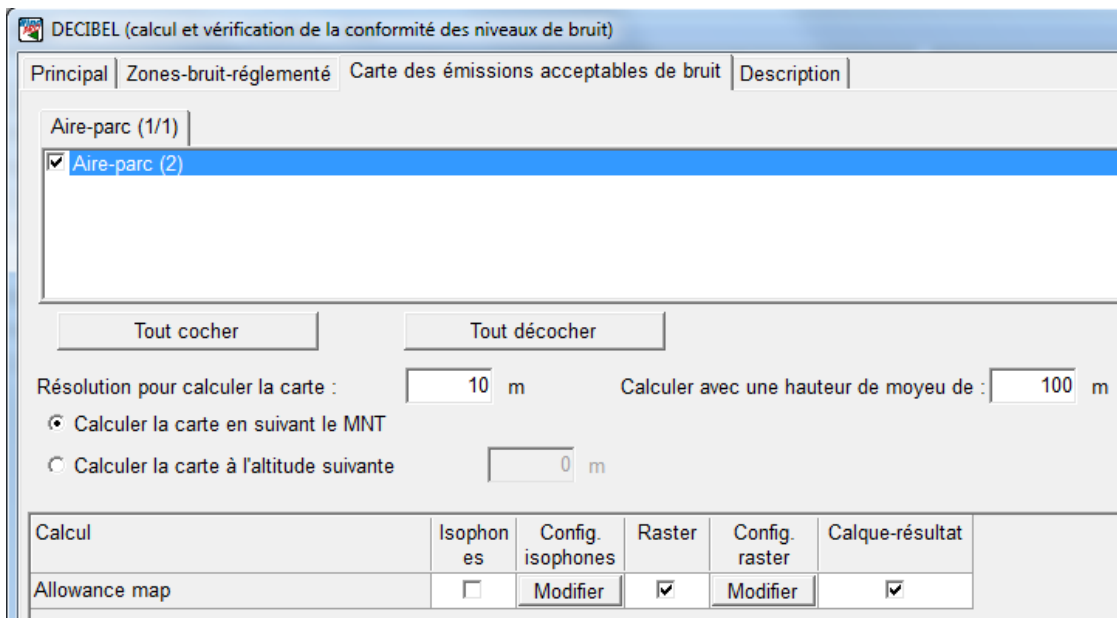
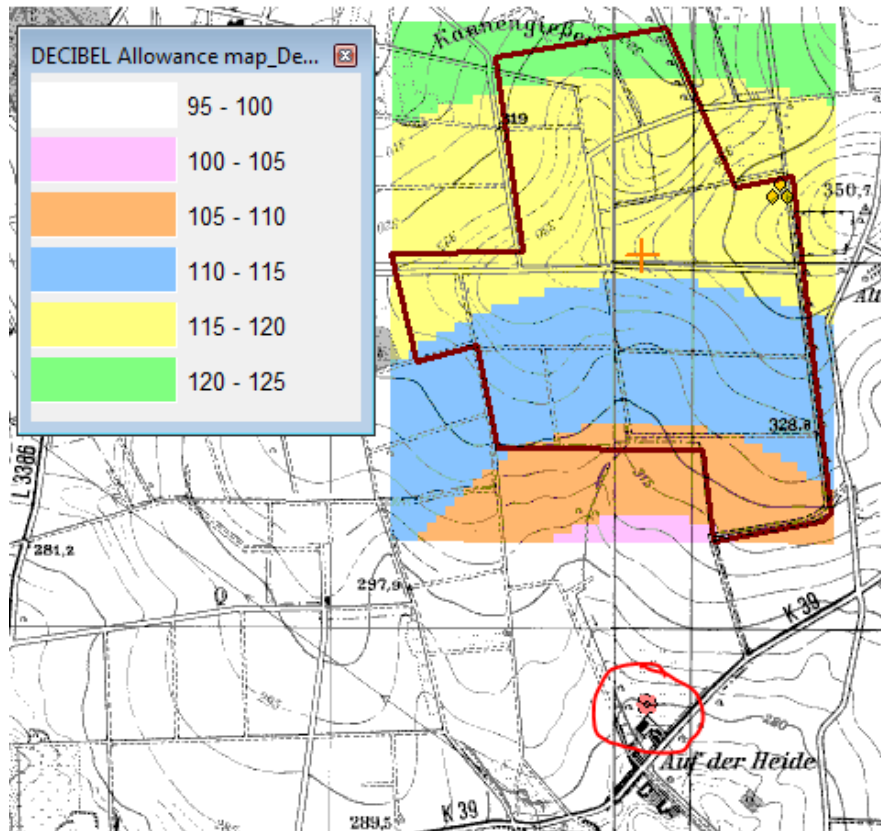


Figure 43

Dans le cadre *Aire-parc* doivent être sélectionnés les objets servant à délimiter le parc ; dans le champ *Résolution pour calculer la carte* se fait le choix de la maille de calcul, plus elle est fine plus il est long ; dans le champ *Calculer avec une hauteur de moyeu de* doit être indiquée la hauteur des sources de sonores.



Le résultat à l'écran est présenté à l'aide d'un objet *Calque-résultat*, voir Figure 44.

En faisant un clic droit sur l'icône de l'objet on ouvre un menu contextuel permettant d'afficher la légende.

Figure 44

## 4.2 SHADOW – Durée du papillotement des ombres

### 4.2.0 Introduction

SHADOW est le module de WindPRO qui permet de calculer le calendrier du papillotement des ombres projetées par les éoliennes en un point ou en une zone donnée. Le papillotement se produit quand la rotation des pales vient masquer périodiquement le soleil à un observateur (placé, par exemple, à la fenêtre d'une habitation).

Le calcul est fait dans le pire des cas (en supposant que le soleil luit toute la journée, que les éoliennes fonctionnent en permanence et que les rotors sont toujours perpendiculaires aux rayons du soleil). Si le ciel est couvert, s'il n'y a pas de vent ou si sa direction est perpendiculaire aux rayons du soleil, il n'y a pas de phénomène de papillotement, mais ces situations ne sont pas reflétées dans ce calcul.

En d'autres mots, le calendrier calculé représente les périodes où le papillotement peut se produire à un endroit donné.

Outre la production des calendriers relatifs aux différents endroits étudiés, SHADOW permet de visualiser sur la carte de travail, avec des lignes d'iso-durée, comment pourrait être affecté le voisinage du parc éolien étudié par le papillotement des ombres.

Actuellement, seule l'Allemagne indique la manière de calculer la nuisance due au papillotement dans "Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen" (WEA-Shattenwurf-Hinweise).

D'après ces indications, l'ombre se produit seulement :

- si la hauteur du soleil par rapport à l'horizon est supérieure à 3 degrés et
- si la pale de l'éolienne masque au moins 20% du disque solaire.

La réglementation (Bundes-Immissionsschutzgesetz) s'applique à la durée de la nuisance calculée dans le pire des cas qui ne doit pas excéder :

- 30 heures par an
- 30 minutes par jour

Si ces durées sont dépassées, les machines devront obligatoirement être équipées d'un système de comptage du papillotement. Dès que la durée réelle de la nuisance atteint 8 heures au cours de l'année de comptage, les éoliennes en cause devront être arrêtées durant le restant de l'année chaque fois qu'elles produisent du papillotement.

En Suède et au Danemark, il n'y a aucune recommandation officielle néanmoins, dans la pratique, on considère que la durée réelle de la nuisance ne doit pas excéder respectivement 8 heures et 10 heures par an.

Les moments de la journée où le papillotement est considéré comme une nuisance et les caractéristiques du récepteur d'ombre servant à calculer la durée du papillotement ne sont pas strictement définis et ils devront souvent être définis au cas par cas.

Au même moment de la journée, par exemple pendant les heures de travail, les personnes travaillant dans des bureaux à proximité du parc seront affectées par le papillotement alors qu'une famille de riverains dont les membres sont au travail ou à l'école pendant la journée ne le seront pas.

Concernant le récepteur d'ombre, doit-il prendre compte la fenêtre, la façade ou la parcelle de la maison d'un riverain ? Le papillotement se produisant à un moment donné dans un coin de la parcelle doit-il être ajouté à celui se produisant à un autre moment dans une autre partie de la parcelle ?

Enfin, la durée réelle du papillotement, pour une même durée dans le pire des cas, dépend beaucoup du climat. La durée de la nuisance sera beaucoup moindre dans une zone très pluvieuse que dans une zone très ensoleillée. Dans un même endroit, pour une même durée potentielle, la nuisance réelle peut être plus forte en hiver qu'en été ou il y a moins de vent.

A cet effet, WindPRO permet d'entrer des statistiques d'ensoleillement et des données de vent afin de faire un calcul de la durée probable des papillotements.

Comme les autres modules, SHADOW utilise des objets pour introduire les données. En l'occurrence ce sont les objets *Eoliennes* et les objets *Récepteur-d'ombre* qu'il faut paramétrer et positionner de manière appropriée.

Un des avantages de WindPRO est que le résultat présenté dans le rapport sous forme de lignes d'iso-durée peut également être affiché à l'écran.

### 4.2.1 Méthode de calcul

Le calendrier des périodes où le papillotement peut se produire en un point est fait de la manière suivante : la position de l'ombre projetée par le rotor (qui est considéré comme un disque) est calculée toutes les minutes sur une période d'une année ; chaque fois qu'il y a intersection entre la surface du récepteur d'ombre défini et l'ombre projetée, une durée de 1 mn de papillotement potentiel est comptabilisée et le mois, le jour et l'heure de l'occurrence sont enregistrés, voir Figure 45

Les informations suivantes sont nécessaires aux calculs :

- Les coordonnées (x, y, z) des éoliennes,
- La hauteur de moyeu et le diamètre de rotor de chaque éolienne,
- Les coordonnées (x, y, z) des récepteurs d'ombres,
- Les dimensions et l'orientation de la surface du récepteur définie par sa direction par rapport au sud et son inclinaison par rapport à l'horizontale,
- Le fuseau horaire avec les changements d'horaires d'hiver et d'été,
- Le modèle de mouvement du soleil par rapport à la terre.

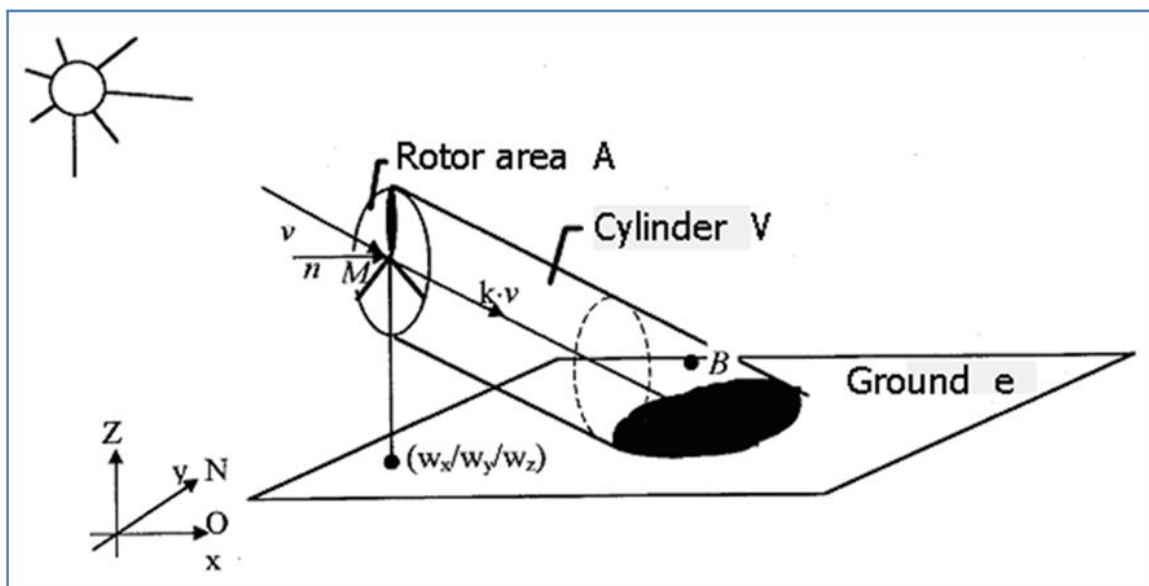


Figure 45

#### 4.2.1.0 Modèle de calcul SHADOW

Le modèle utilisé par WindPRO pour calculer la taille et la position des ombres projetées sont déterminées à partir des paramètres suivants :

- Diamètre du soleil  $D = 1\,390\,000$  km
- Distance de la terre au soleil  $d = 150\,000\,000$  km
- Angle d'attaque = 0,531 degrés

Théoriquement, avec ces paramètres, la portée de la nuisance se limitera à une distance de 4,8 km derrière un rotor de 45m de diamètre. Dans la réalité, les effets optiques de l'atmosphère font que cette portée n'est jamais atteinte. Quand le soleil est très bas, l'ombre du rotor se dissipe avant d'atteindre le sol (ou le récepteur d'ombre). Il n'y a pas de règle stricte donnant la distance à partir de laquelle l'ombre projetée par le rotor n'est plus perceptible, seules les recommandations allemandes donnent des indications, voir 4.2.0. Par défaut, dans WindPRO on considère que les ombres (et par conséquent leur papillotement) ne sont perceptibles que dans un rayon de 2 km autour de l'éolienne à condition que la hauteur du soleil soit au moins de 3 degrés par rapport à l'horizon. Si on applique les recommandations allemandes la distance maximale est donnée par la formule :

$$\text{Distance maximale} = (5 \cdot w \cdot d) / 1\,097\,780$$

où :

w = largeur moyenne de la pale

d = distance de la terre au soleil

1 097 780 = le diamètre du soleil réduit par un facteur pour compenser le fait que la forme du soleil est un disque et non un carré.

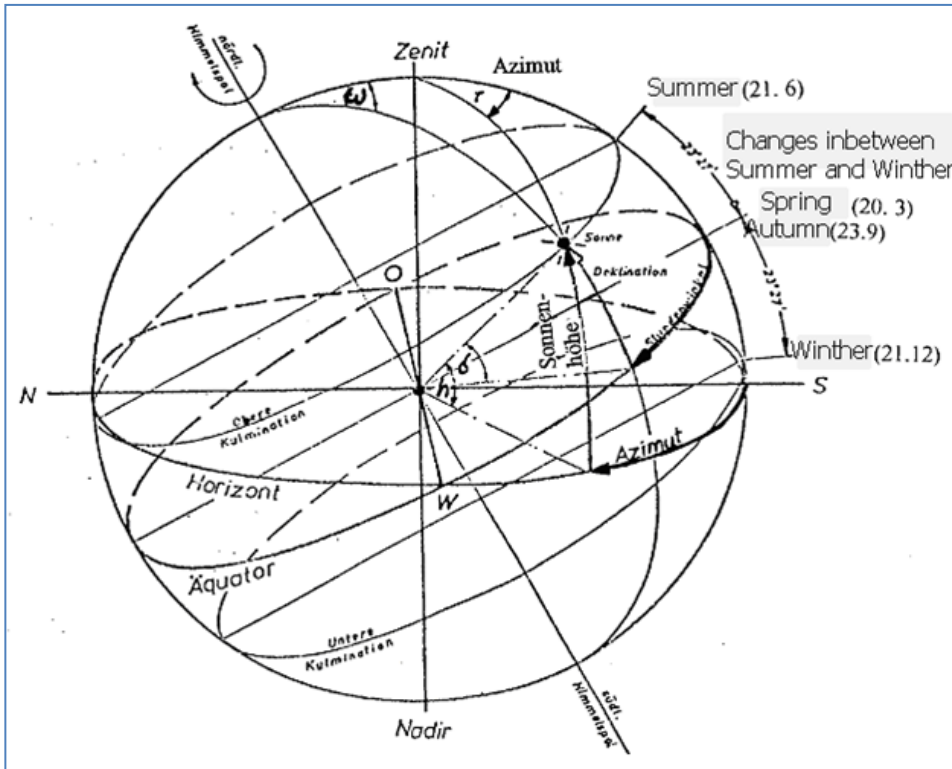


Figure 46

## 4.2.2 Entrée des données

Tout d'abord un fond de carte est requis, même si une carte vierge peut être utilisée.

Si le projet est déjà créé dans WindPRO et que plusieurs cartes sont disponibles, cliquez sur les boutons d'affichage des cartes et choisissez une carte. Les informations relatives au maniement des cartes se trouvent dans la section 2, BASIS.

Notez qu'il est possible de créer sur la carte plusieurs objets aux propriétés identiques en cliquant sur l'icône de l'objet de la barre d'objets avec la touche <Maj> enfoncée, ensuite un objet identique au précédent est créé à chaque clic sur la carte.

### 4.2.2.0 Eoliennes

La création des éoliennes est expliquée dans la section 2, BASIS.

#### 4.2.2.1 Récepteurs d'ombre

Les objets *Récepteur-d'ombre* doivent être placés aux endroits où l'on veut calculer le risque potentiel de nuisance.



Pour créer un *Récepteur-d'ombre*, cliquez avec le bouton gauche de la souris sur son icône dans la barre d'objets puis posez-le par un deuxième clic à l'endroit voulu sur la carte.

Après avoir entré les informations relatives au récepteur, nom, taille, etc. dans la fenêtre *Propriétés* de l'objet, vous pouvez l'orienter directement à l'écran à l'aide de la souris ; pour cela sélectionnez l'icône de l'objet sur la carte et faites-la tourner en tirant sur l'axe.

#### Onglet *Position*

Voir section 2, BASIS

**Remarque:** la coordonnée Z de l'objet doit être entrée dans le même référentiel que les éoliennes ; ainsi si vous avez choisi d'attribuer arbitrairement  $Z=0$  aux éoliennes et que le point étudié se trouve sous le niveau du pied

des éoliennes alors la coordonnée Z de l'objet devra être négative. Pour éviter des erreurs, il est recommandé de travailler avec les altitudes réelles.

### Onglet *Taille/Orientation*

Voir Figure 47.

Dans cet onglet sont décrites :

- l'orientation du récepteur : donnée par rapport au sud et le sens positif étant le sens horaire,
- la taille du récepteur : hauteur et largeur,
- la position du récepteur : hauteur par rapport au sol et inclinaison par rapport à l'horizontale,

Par défaut l'option *Surface de réception orientée* est sélectionnée, c'est-à-dire que le fonctionnement du récepteur s'apparente à celui d'une antenne parabolique.

Alternativement, on peut choisir l'option *Surface de réception omnidirectionnelle*, dans ce cas les 2 faces de la surface du récepteur « captent » l'ombre. Cette option peut être utile pour estimer la durée du papillotement des ombres affectant une maison dont on ne connaît pas l'orientation des fenêtres.

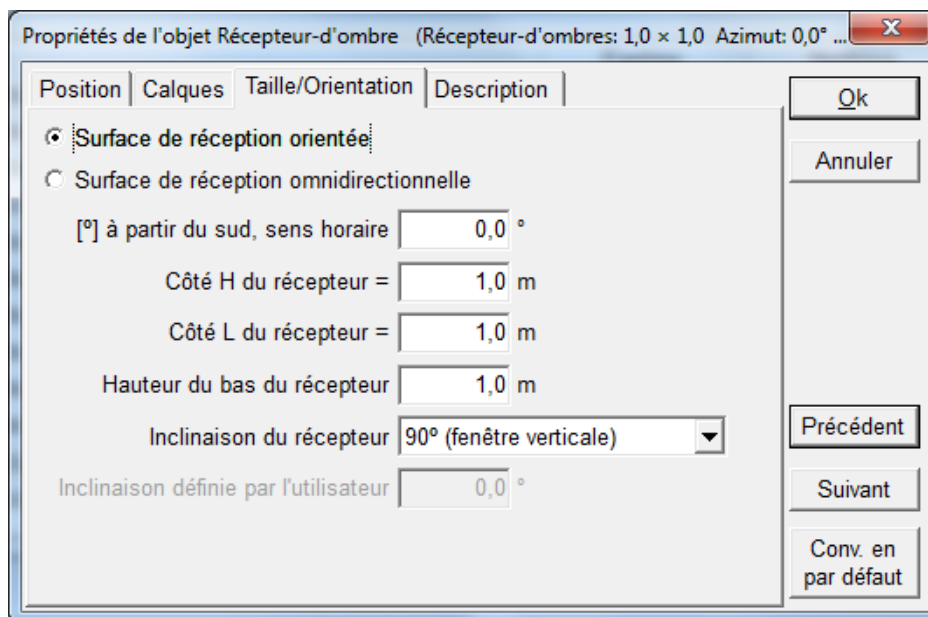


Figure 47

#### 4.2.2.2 Paramétrage du calcul

Après le lancement du calcul, son paramétrage se fait dans la fenêtre *Définir calcul* comme pour les autres calculs WindPRO, voir Figure 48.

### Onglet *Principal*

Le champ *Nom* permet de donner un nom au rapport qui sera généré à l'issue du calcul.

Deux types de calculs sont proposés :

- *Durées* (de papillotement des ombres) *aux récepteurs*
- *Cartes des durées* (du papillotement des ombres)

Les deux types de calculs peuvent être sélectionnés en même temps.

En cochant l'option *Paramétrage de la portée des ombres* on peut personnaliser les paramètres de portée des ombres qui seront utilisés dans les calculs.

Par défaut, c'est l'option *Dimensions des pales déterminent la portée des ombres* qui est utilisée pour déterminer la distance maximale autour de l'éolienne sur laquelle les durées du papillotement seront calculées. Cette option applique les recommandations allemandes décrites au 4.2.0 qui considèrent que l'ombre se forme seulement si la pale de l'éolienne masque plus de 20% du disque solaire. A cet effet, SHADOW utilise la largeur maximale de la pale et sa largeur à 90% du rayon du rotor, qu'il extrait de la *Bibliothèque d'éoliennes*. Alternativement, ou si ces données ne sont pas disponibles, la distance maximale du calcul est déterminée par le choix fait parmi les autres

critères proposés : *Distance fixe autour de l'éolienne* (2000m par défaut), *Pas de limite*, ou une distance qui dépend de la taille de chaque éolienne en utilisant les *cercles de distance de l'éolienne* (la création de *Cercles de distance* est décrite dans la section 2, BASIS).

La valeur du champ *Pas d'ombre si la hauteur du soleil au-dessus de l'horizon est < à* est, par défaut, positionnée à 3 degrés car en dessous de cette valeur l'atmosphère diffuse la lumière et empêche la formation d'ombres.

En cochant l'option *Année de référence* on peut indiquer l'année qui devra être utilisée pour établir les calendriers afin que les dates des horaires d'hiver et d'été et le nombre de jours soient corrects. Sinon les calendriers sont établis pour l'année 1981.

#### 1/ Calcul des durées, aux récepteurs, du papillotement dans le pire des cas

Par défaut, c'est le calcul des *Durées aux récepteurs du papillotement dans le pire des cas* qui est coché, dans ce cas on suppose que le soleil luit toute la journée, que les éoliennes fonctionnent en permanence et que les rotors sont toujours perpendiculaires aux rayons du soleil, voir 4.2.0.

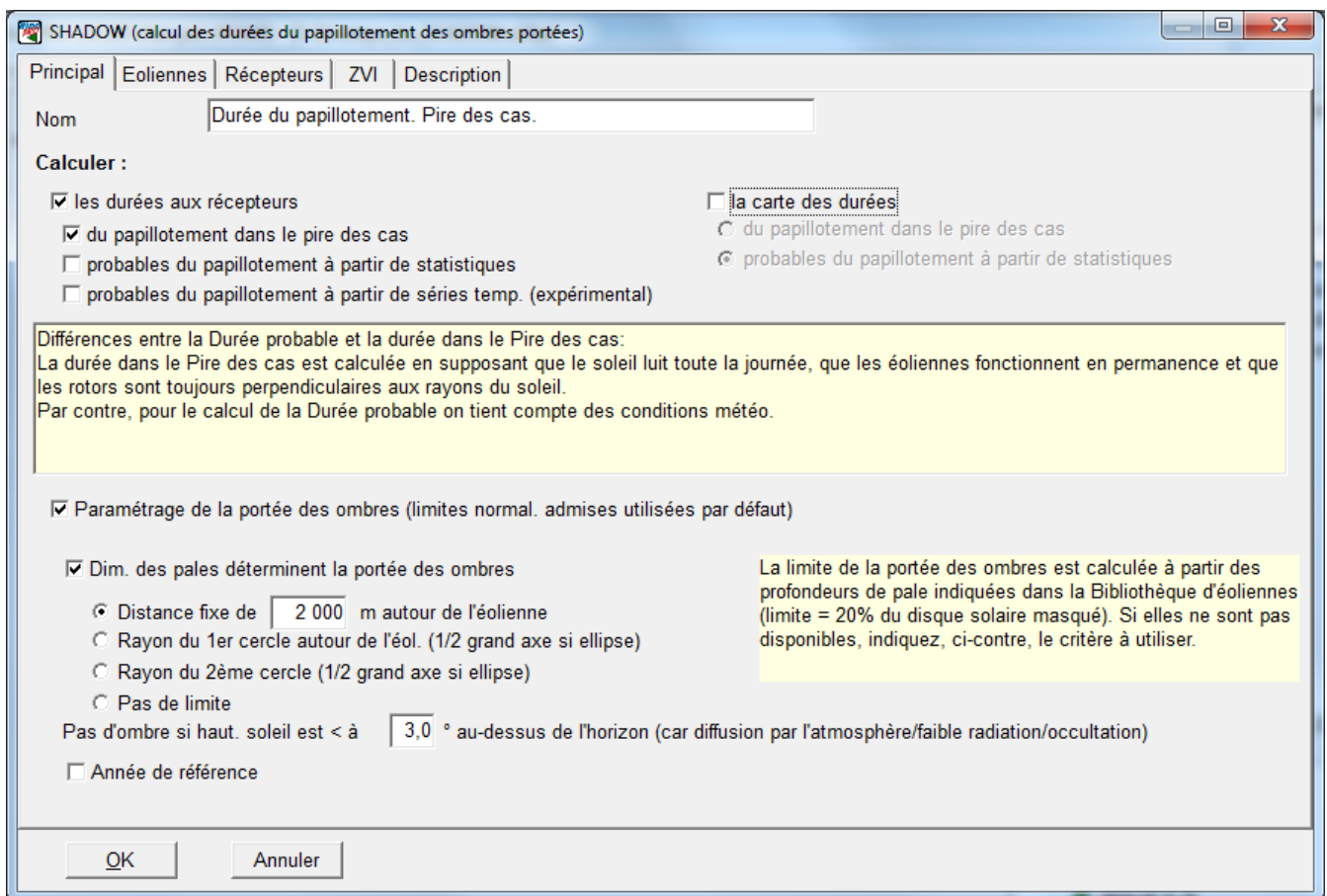


Figure 48

#### **Onglet Eoliennes**

Dans cet onglet on peut sélectionner les éoliennes qui seront utilisées pour faire les calculs. Par défaut toutes les éoliennes des calques actifs sont utilisées. Leur sélection peut se faire à deux niveaux : par calque et par éolienne individuellement.

#### **Onglet Récepteurs**

Dans cet onglet on peut sélectionner les récepteurs à l'emplacement desquels les durées du papillotement seront calculées. Leur sélection peut se faire à deux niveaux : par calque et par récepteur individuellement.

**Onglet ZVI**

Voir Figure 49.

WindPRO effectue un calcul ZVI pour déterminer et exclure du calcul SHADOW les éoliennes qui ne sont pas visibles depuis les récepteurs. Ce même principe s'applique au calcul des cartes ou un calcul ZVI est effectué à partir de chaque nœud de la maille de calcul.

Pour que le calcul ZVI puisse se faire, il faut disposer de la topographie du terrain. A cet effet, le relief doit être décrit par ses courbes de niveau en utilisant un objet *Données-lignes* et la hauteur des forêts, des villages, etc. doit être décrite en utilisant un objet *Données-surfaces* et éventuellement des objets *Obstacles*.

Le calcul de ZVI se fait à la *Hauteur du regard* indiquée. Pour plus d'informations voir le chapitre ZVI dans la suite de cette section.

Quand le soleil est masqué par le relief le papillotement ne peut pas se produire. L'option *Utiliser masquage du soleil* permet la détection de ce type de situation et d'en tenir compte dans les calculs de durée du papillotement.

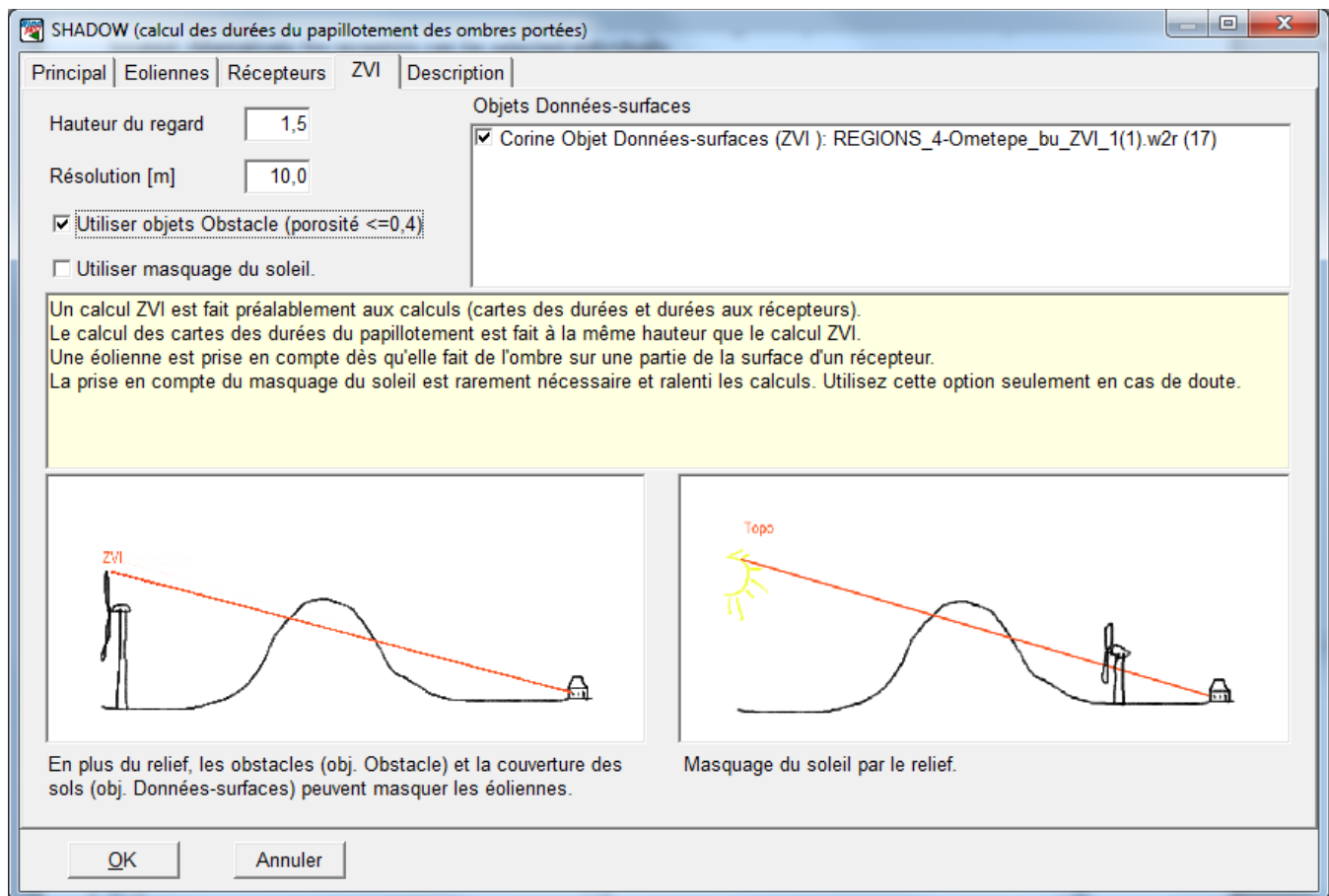


Figure 49

## 2/ Calcul des durées probables, aux récepteurs, du papillotement à partir de statistiques

On peut compléter le calcul des durées dans le pire des cas par le calcul des durées probables. Lorsque cette option est cochée un nouvel onglet *Stats pour les durées probables* apparaît, voir Figure 50.



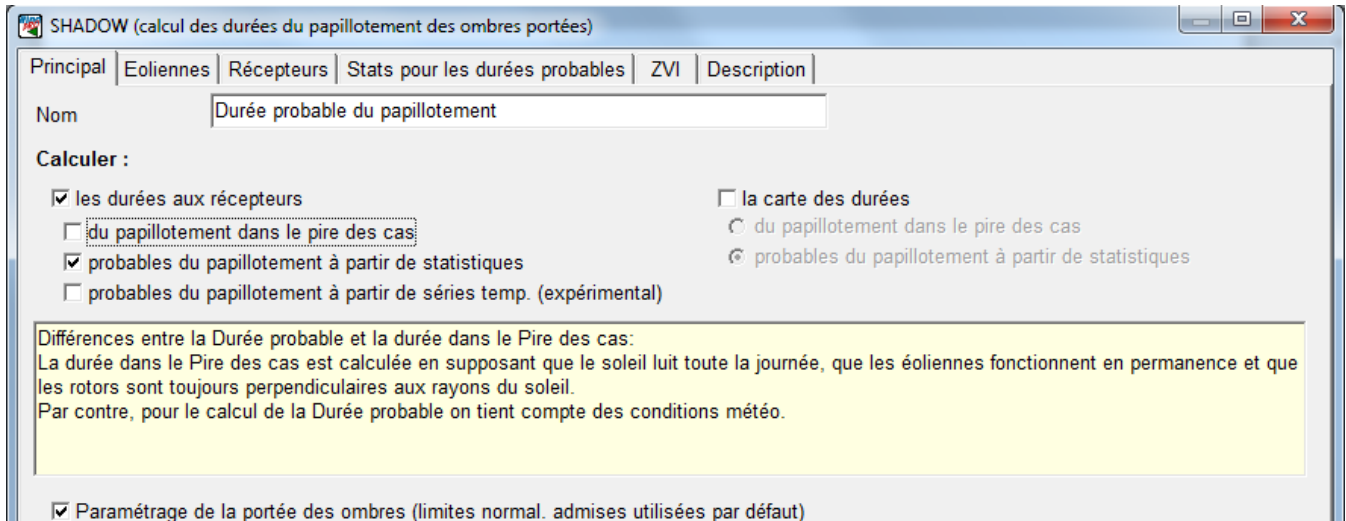


Figure 50

### Onglet Stats pour les durées probables

Cet onglet est divisé en deux parties, *Heures par an de fonctionnement des éoliennes* et *Statistiques d'ensoleillement mensuel*, où l'on entre les données nécessaires au calcul des durées probables, voir Figure 51.

#### Heures par an de fonctionnement des éoliennes :

Si dans le projet il y a des données de vent, elles peuvent être utilisées par SHADOW pour calculer les heures de fonctionnement des éoliennes. Pour cela, il faut cocher l'option *A partir des données de vent* puis choisir dans le menu déroulant l'objet *Données-site* ou l'objet *Météo* contenant les données. A partir des informations contenues dans ces objets sera extraite la répartition probable des heures de fonctionnement des éoliennes par secteur par an.

Si les rotors des éoliennes se mettent en rotation avant que la vitesse du vent atteigne la vitesse de couplage, alors il faut cocher l'option *Rotation des éol. si vit. vent > à* et indiquer cette vitesse dans le champ correspondant.

En cochant l'option *Entrée manuelle des heures* on peut entrer manuellement la répartition des heures de fonctionnement ou la charger à partir d'un fichier. Des fichiers de démo (*EMD\_Betrieb\_Beispiel.wsd*, par ex.) sont disponibles dans le dossier *Standards* du répertoire *WindPRO Data*.

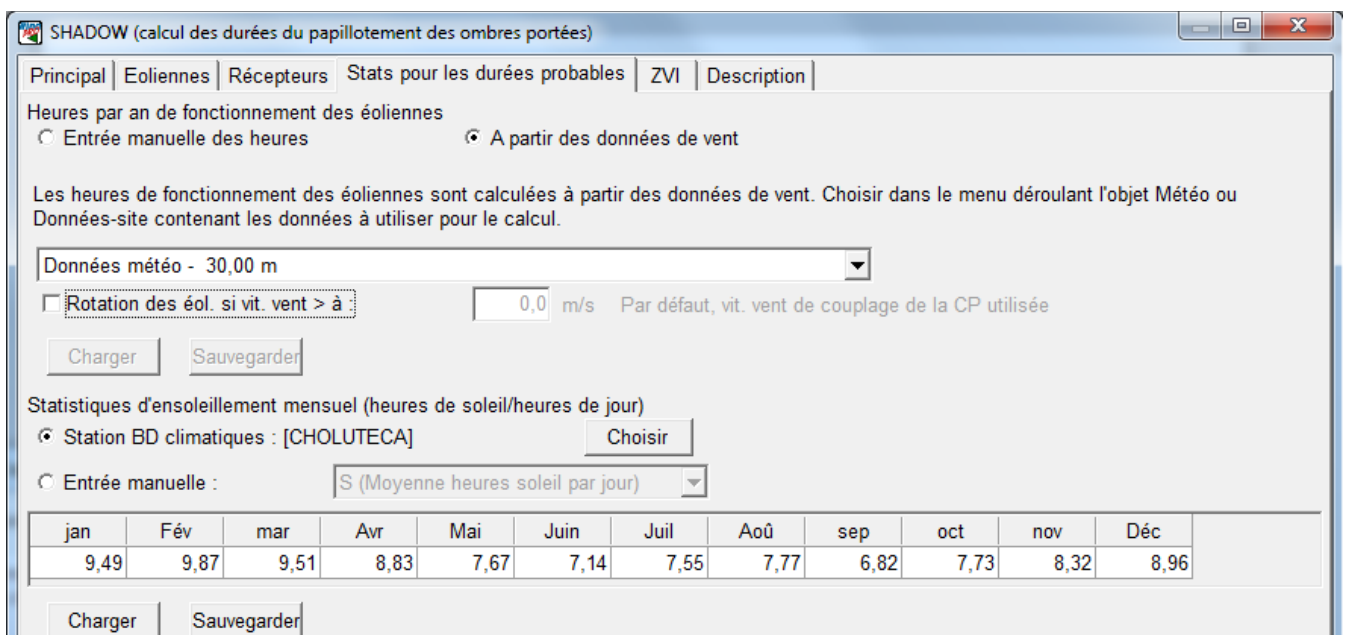


Figure 51

Statistiques d'ensoleillement mensuel :

Les durées journalières moyennes d'ensoleillement peuvent être entrées manuellement, elles s'expriment soit directement en heures par jour soit par le rapport heures de soleil par jour / heures de durée du jour.

Par défaut, c'est l'option *Station BD climatiques* qui est cochée et les statistiques d'ensoleillement sont extraites automatiquement de la base de données climatiques de WindPRO qui contient les données de plus de 6000 stations du monde entier.

WindPRO sélectionne la station la plus proche du site du projet. Alternativement, le bouton *Choisir* ouvre la fenêtre *Stations météo* où il est possible de choisir une autre station du voisinage. Le choix peut se faire en cliquant sur le nom de la station dans la liste ou sur un des points rouges matérialisant la position de chaque station sur la carte. Dans cette fenêtre sont également présentées les statistiques d'ensoleillement sous forme graphique, voir Figure 52.

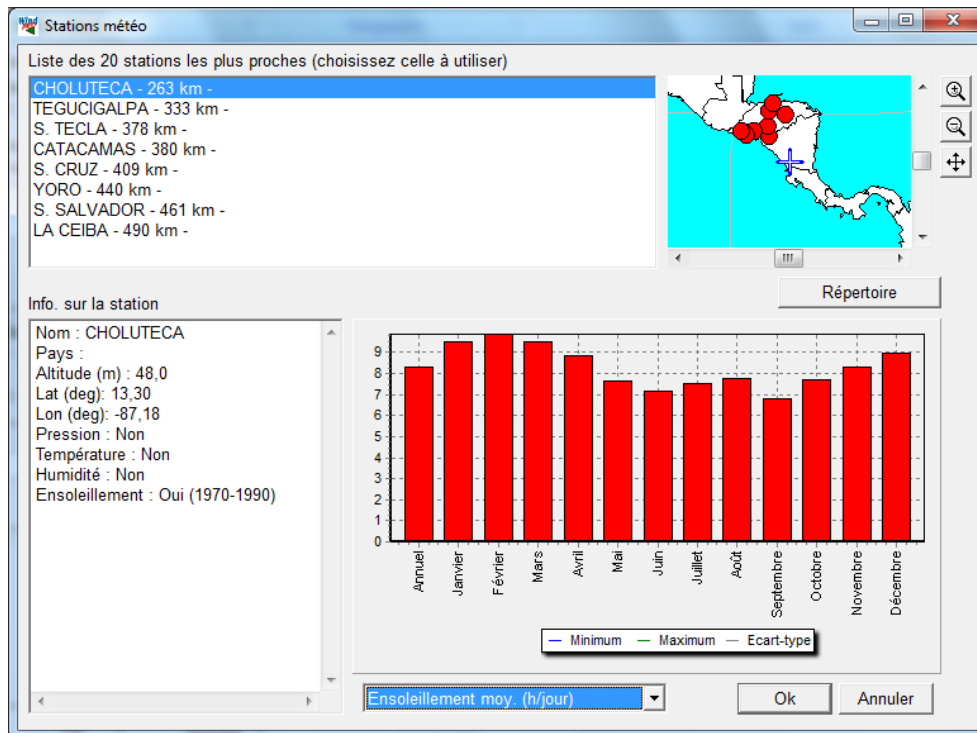


Figure 52

3/ Calcul, aux récepteurs, des durées probables du papillotement à partir de séries temporelles

Si des données d'ensoleillement et des données de vent sont disponibles sous forme de séries temporelles, il est possible de les utiliser pour calculer les durées probables du papillotement des ombres aux récepteurs.

A cet effet, il faut choisir l'option *probables du papillotement à partir de séries temp. (expérimental)* et un nouvel onglet apparaît *Séries temporelles pour les durées probables*, voir Figure 53. Dans l'état actuel du développement cette option est proposée à titre expérimental.

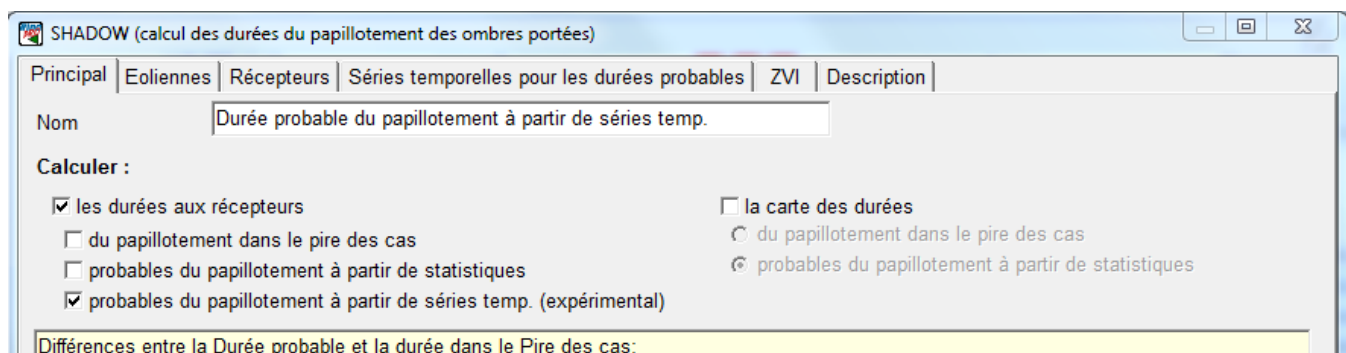


Figure 53

**Onglet Séries temporelles pour les durées probables**

Voir Figure 54.

Le choix de la source des données se fait par les options de la partie supérieure de l'onglet :

- *Utiliser distri. temp. générique (.WTI)*, permet d'utiliser un fichier contenant des données d'ensoleillement créé à l'aide du *Meteo-Analyser* par exemple.
- *Utiliser série temp. de l'objet Météo*, permet d'utiliser des données d'ensoleillement, de radiation ou de nébulosité, recueillies en même temps que les données de vent et importées dans un objet *Météo*.  
Le bouton *Affichage* ouvre une fenêtre où WindPRO vous indique si les données sont de qualité suffisante pour l'usage recherché.

Une fois la source des données choisie les paramètres suivants doivent être configurés :

- *Date de début*, par défaut c'est la date de la 1<sup>ère</sup> donnée de la série.
- *Grandeur pour l'ensoleillement* : parmi les grandeurs disponibles dans le fichier .WTI ou dans l'objet *Météo*, il faut choisir celle qui devra être utilisée pour le calcul. Dans le cas présenté à la Figure 54, c'est la *Nébulosité* qui a été choisie, mais on aurait pu choisir le niveau de la *Radiation solaire* ou des grandeurs définies par l'utilisateur.
- *Le soleil brille quand la grandeur est* : ici on indique le seuil de la grandeur en-dessous ou au-dessus duquel on considère que le soleil brille. Dans le cas présenté à la Figure 54, on a considéré que le soleil brille si la *Nébulosité* est en-dessous de 2.
- *Vmoy du vent à hauteur de moyeu pour toutes les éoliennes* : les vitesses de vent du fichier .wti ou de l'objet *Météo* doivent être extrapolées à la hauteur de moyeu des éoliennes. Pour cela, il faut estimer la vitesse moyenne du vent à leur hauteur de moyeu.
- *Rotation des éol. si vit. vent > à* : si les rotors des éoliennes se mettent en rotation avant que la vitesse du vent atteigne la vitesse de couplage, il faut indiquer cette vitesse dans ce champ.

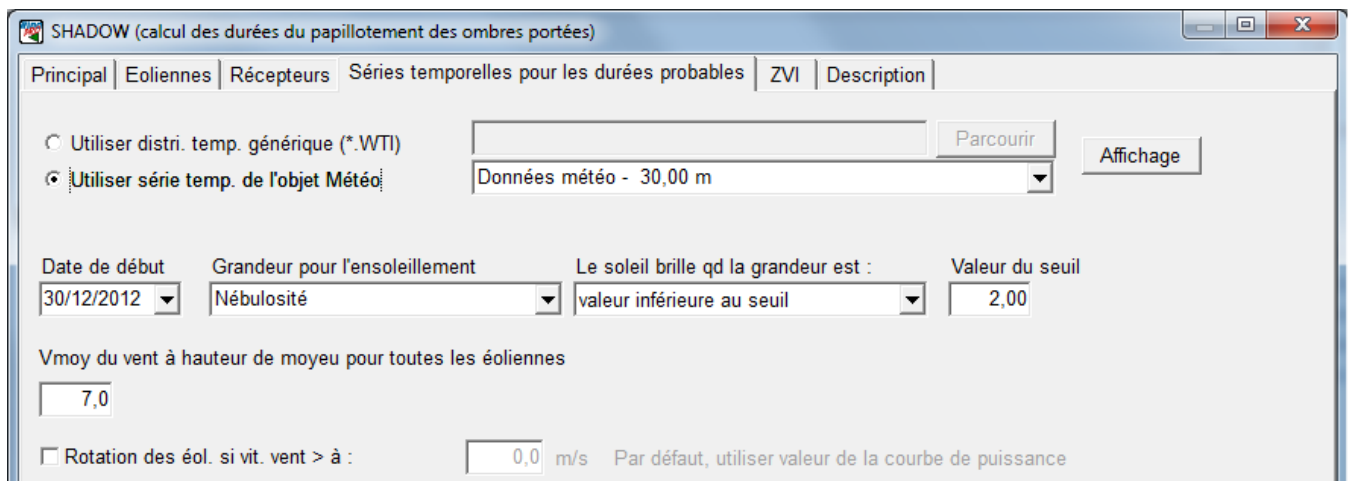


Figure 54

#### 4/ Calcul des cartes de durée du papillotement

Les durées de papillotement des ombres des éoliennes dans le voisinage d'un parc peuvent être représentées sur une carte avec des lignes d'iso-durée.

A cet effet, une maille couvrant la zone du parc et son voisinage est définie puis la durée du papillotement est calculée au centre de chaque élément de la maille en utilisant un *Récepteur-d'ombres* posé horizontalement à la *Hauteur du regard* définie dans l'onglet ZVI. Pour que les temps de calcul des cartes restent raisonnables la résolution de la maille ne peut pas être d'une très grande finesse, par conséquent des petites différences entre les valeurs lues sur la carte et celles données par un *Récepteur-d'ombres* peuvent apparaître.

Les cartes peuvent présenter les durées dans le pire des cas ou les durées probables, voir Figure 55. Le calcul de ces dernières fait appel aux mêmes statistiques de fonctionnement des éoliennes et d'ensoleillement que celles présentées antérieurement.

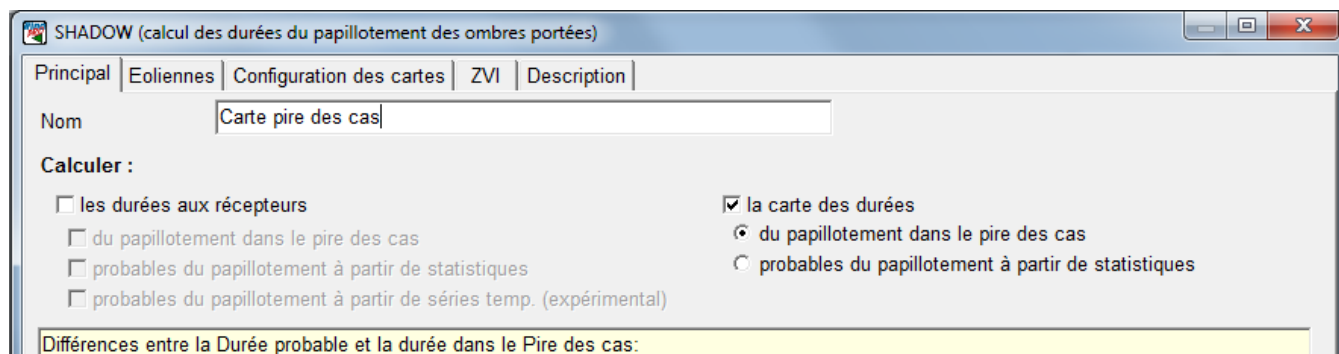


Figure 55

### Onglet Configuration des cartes

Voir Figure 56.

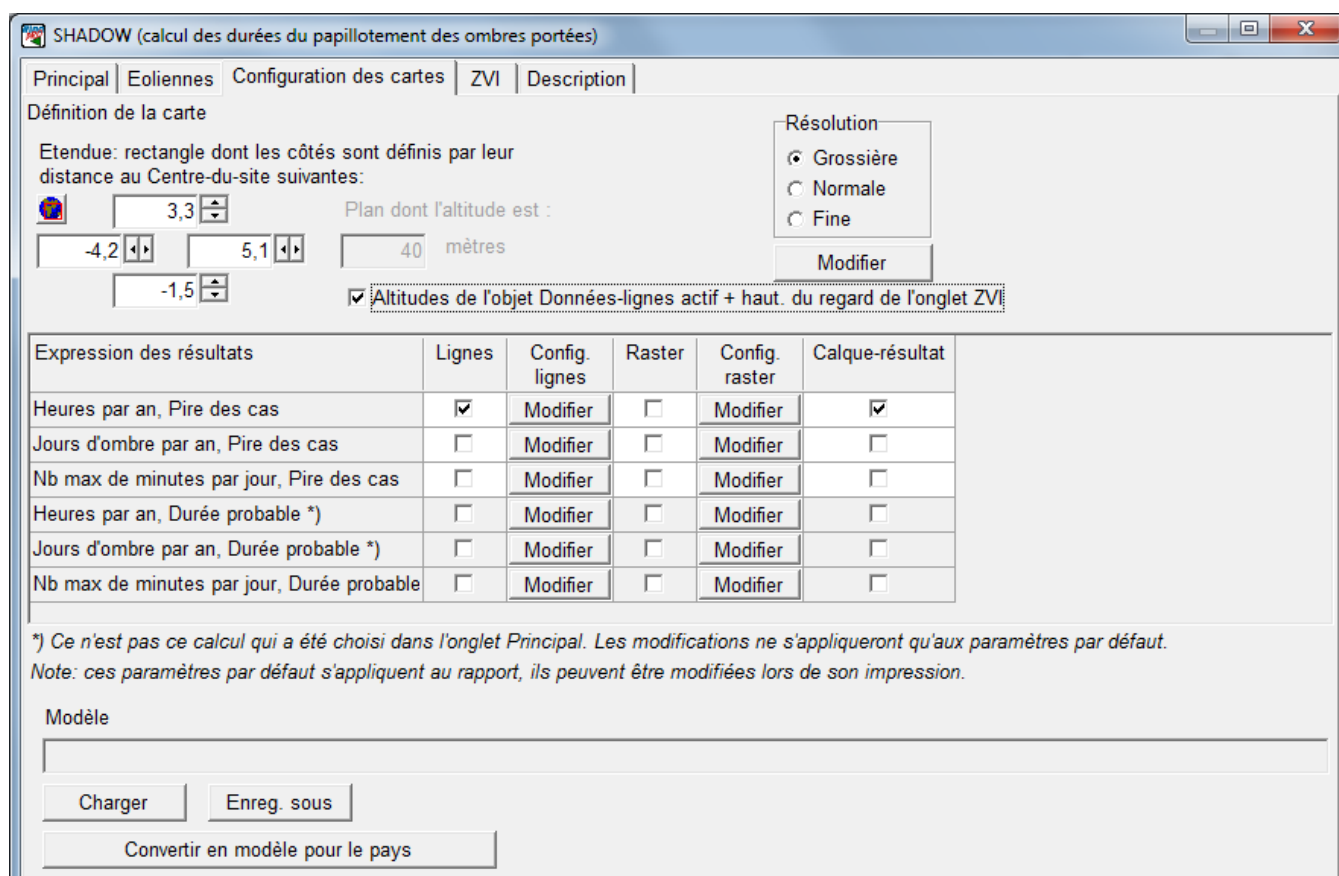
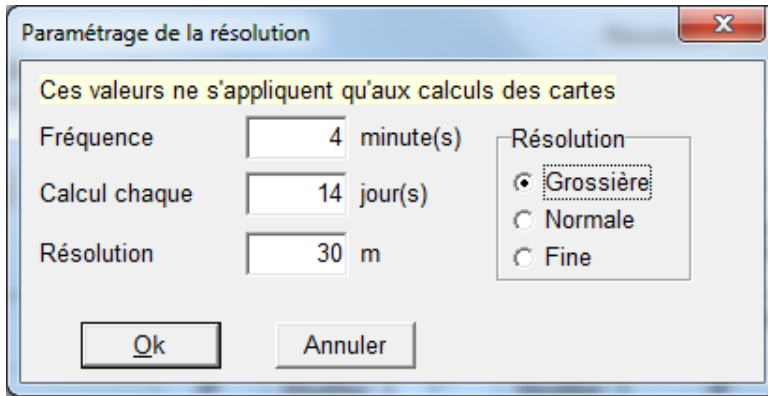


Figure 56

Dans le cadre supérieur *Définition de la carte* se définissent les caractéristiques de la carte suivantes :

- Son étendue de forme rectangulaire qui peut se définir directement sur le fond de carte à l'écran en cliquant sur le bouton en forme de globe terrestre ou en indiquant la distance de chaque côté du rectangle par rapport à l'objet *Centre-du-site*.
- Son altitude qui peut être fixe (plan horizontal dont l'altitude est l'altitude moyenne de la zone du parc) ou suivre l'altitude du relief plus la *Hauteur du regard* définie dans l'onglet *ZVI*, cette dernière option devrait toujours être choisie si les dénivelés du terrain dépassent 5-10m.
- Sa résolution qui va déterminer le temps de calcul. Ce temps peut être assez long car les durées annuelles du papillotement doivent être calculées pour chaque élément de la maille afin de pouvoir tracer les lignes d'iso-durée. Trois résolutions sont proposées *Grossière*, *Normale* et *Fine*. Avec une résolution *Grossière* le calcul dure quelques minutes et il peut durer plusieurs heures avec une résolution *Fine*.



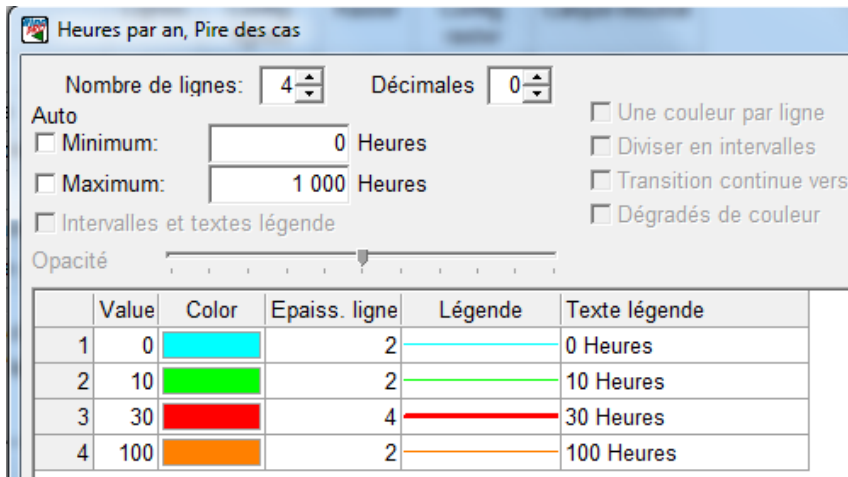
En cliquant sur le bouton *Modifier* on ouvre la fenêtre *Paramétrage de la résolution* dans laquelle on peut voir et modifier les valeurs prédéfinies pour chaque niveau de résolution, voir Figure 57.

Figure 57

Dans le cadre inférieur *Expression des résultats* se définissent la forme - *Raster* ou *Lignes* - et la grandeur - *Heures par an*, *Jours d'ombre par an* ou *Nb max de minutes par jour* - des résultats qui seront présentés sur la carte du rapport. Selon le choix fait dans l'onglet *Principal*, les lignes *Pire des cas* et *Durée probable* apparaîtront sur fond blanc ou sur fond grisé.

En cochant l'option *Générer Calque-résultat*, la carte des durées peut être visualisée à l'écran en superposition sur le fond de carte de travail.

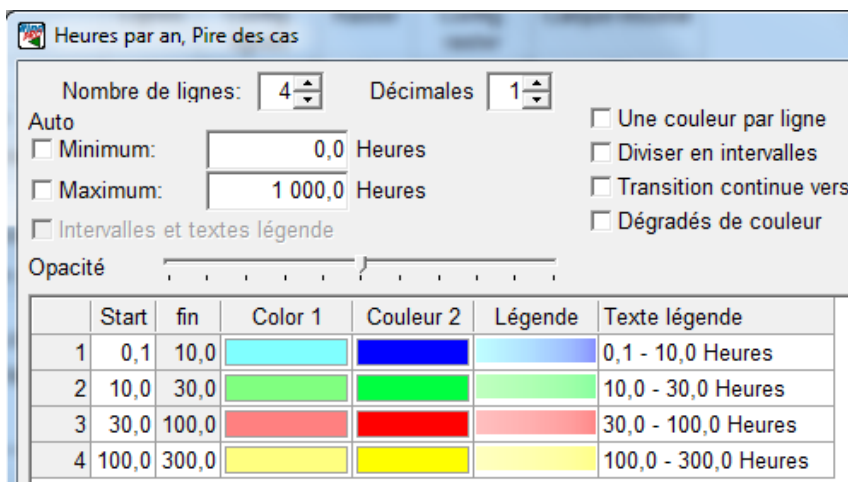
Les boutons *Modifier* permettent de changer les configurations de présentation proposées par défaut.



La figure ci-contre présente la fenêtre de configuration des lignes d'iso-durée. La configuration est également possible à partir des *Options de présentation* du rapport via une fenêtre similaire.

*Nombre de lignes* permet d'indiquer le nombre maximal de lignes d'iso-durée qui seront présentées sur la carte. La durée, l'épaisseur et la couleur de chaque ligne peut être personnalisée.

Le bouton *Sauvegarder* permet d'enregistrer la configuration afin de la réutiliser lors d'un autre calcul. Pour appeler une configuration enregistrée il suffit de cliquer sur le bouton *Charger*.



La figure ci-contre présente la fenêtre de configuration de la carte des durées sous forme de raster. La configuration suit le même principe que pour les lignes d'iso-durées.

Typiquement, on choisit *Une couleur par ligne* pour obtenir des bandes dont la couleur indique la plage de durée de papillotement.

L'ensemble de la configuration peut être enregistrée sous forme de fichier en cliquant sur le bouton *Convertir en modèle pour le pays* se trouvant au bas de l'onglet *Configuration des cartes*.

### 4.2.2.3 Calculs

Les calculs sélectionnés dans l'onglet *Principal* de la fenêtre de paramétrage démarrent en cliquant sur le bouton *Ok* de cette même fenêtre.

Lors des calculs des durées probables, quand les durées de fonctionnement des éoliennes sont déterminées à partir des données de vent issues d'un objet *Données-site* ou d'un objet *Météo*, l'extrapolation des vitesses de vent à hauteur de moyeu se fait en utilisant, respectivement, la description du terrain et le(s) statistique(s) éolienne(s) ou les données de cisaillement (si elles ne pas disponible dans l'objet *Météo* elles seront demandées à l'utilisateur).

### 4.2.2.4 Rapports

A l'issue des calculs un rapport est généré qui est composé typiquement de 6 parties, voir Figure 58.

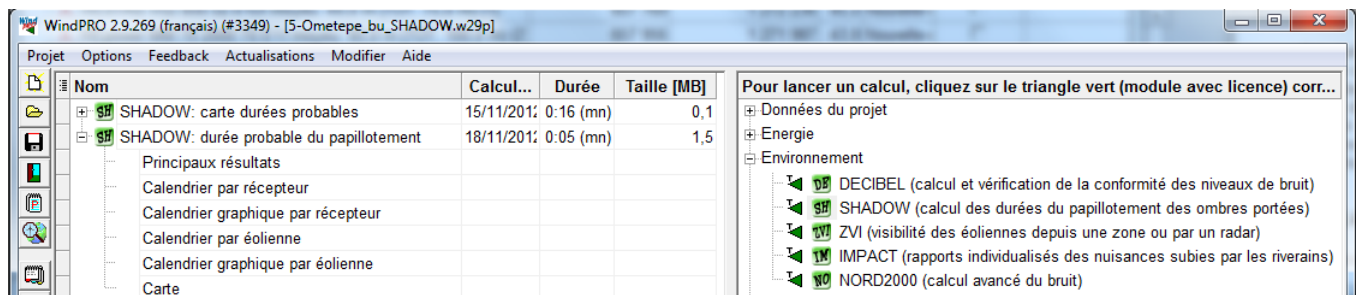


Figure 58

#### 1. Principaux résultats

Cette partie présente :

- pour chaque récepteur, selon le(s) calcul(s) sélectionné(s), le nombre d'heures par an où le papillotement peut se produire (pire des cas), le nombre de jours par an où le papillotement peut se produire (pire des cas), la durée maximale du papillotement au cours d'une journée (pire des cas) et/ou la durée probable du papillotement.
- pour chaque éolienne, selon le(s) calcul(s) sélectionné(s), sa contribution dans le pire des cas et/ou sa contribution probable à la durée totale du papillotement affectant le(s) récepteur(s).

#### 2. Calendrier par récepteur

Cette partie présente un calendrier par récepteur donnant les informations suivantes :

- pour chaque jour de l'année, les heures de lever et de coucher du soleil en heure locale (càd que le fuseau horaire et les changements d'heure été/hiver sont pris en compte).
- pour chaque jour de l'année, l'heure à partir de laquelle le premier papillotement peut se produire, l'heure à laquelle le dernier papillotement peut se produire et la durée totale durant laquelle le papillotement peut se produire (notez que la durée de l'intervalle entre le premier et le dernier papillotement peut être plus longue que la période totale pendant laquelle le papillotement peut se produire si les ombres de plusieurs éoliennes interviennent).
- l'éolienne projetant la première ombre et celle projetant la dernière ombre de la journée.
- pour chaque mois de l'année, le nombre d'heures possibles de papillotement.
- pour chaque mois de l'année, le nombre d'heures probables de papillotement si des statistiques d'ensoleillement et de fonctionnement des éoliennes sont disponibles.

#### 3. Calendrier graphique par récepteur

Cette partie présente un calendrier graphique par récepteur. Les calendriers peuvent être présentés individuellement sur une page ou groupés par six sur une même page.

Le graphique indique les dates (abscisses) et les heures (ordonnées) auxquelles peut se produire le papillotement ainsi que les éoliennes produisant le papillotement.

#### 4. Calendrier par éolienne

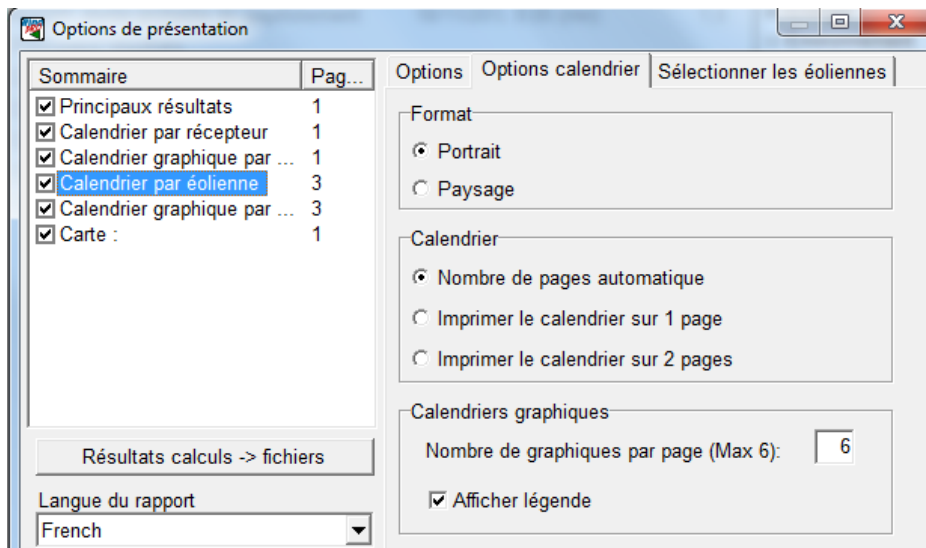
Cette partie présente un calendrier par éolienne indiquant pour chaque éolienne les périodes où elle peut produire du papillotement nuisible. L'objet de ce calendrier est de servir à la programmation des périodes d'arrêt de l'éolienne afin de ne pas dépasser les durées de papillotement imposées.

## 5. Calendrier graphique par éolienne

Cette partie présente un calendrier graphique par éolienne montrant les périodes où l'éolienne peut produire du papillotement nuisible.

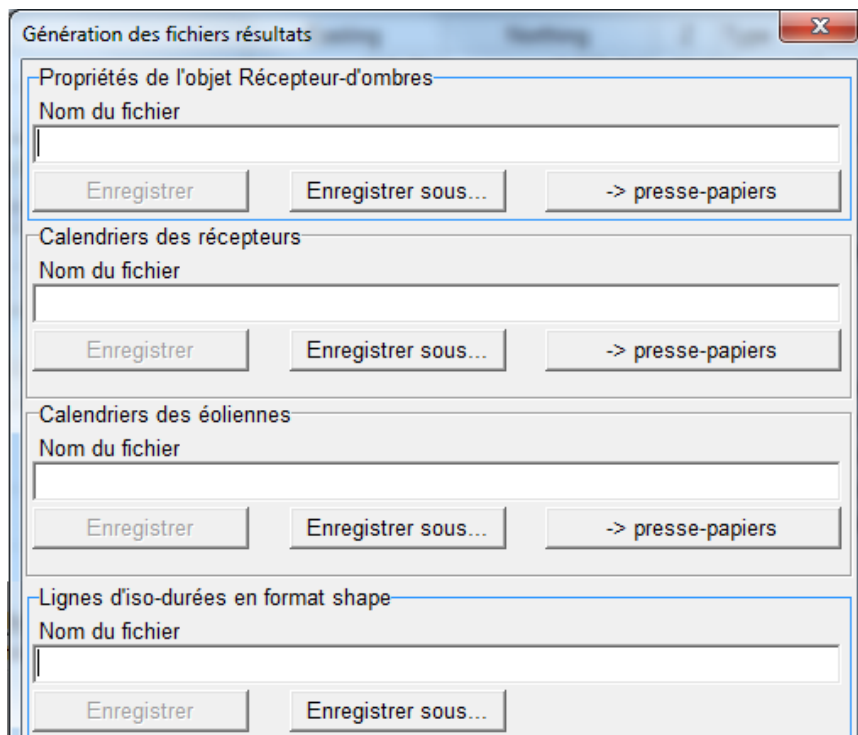
## 6. Carte

Cette partie présente sur une carte les éoliennes, les récepteurs d'ombre ET selon le paramétrage les durées de papillotement sous forme de lignes d'iso-durée ou de raster. La configuration lignes et/ou raster qui a été faite dans l'onglet *Configuration des cartes* de la fenêtre de paramétrage du calcul peut être modifiée dans la fenêtre *Options de présentation* du rapport sans relancer le calcul.



Un double clic sur le titre du rapport ouvre la fenêtre *Options de présentation* de la Figure 59 dans laquelle on peut voir le nombre de pages du rapport, personnaliser sa présentation, sélectionner les parties à imprimer etc.

Figure 59



Le bouton *Résultats calculs -> fichiers*, de la fenêtre *Options de présentation* du rapport, permet d'exporter les calendriers vers des fichiers texte afin de les utiliser pour d'autres présentations ou d'autres calculs (avec un tableur). Les lignes d'iso-durées peuvent être exportées au format Shape pour être exploitées par les SIGs. Voir Figure 60.

Figure 60

En sélectionnant *Carte* dans le cadre *Sommaire* on peut modifier les présentations des durées sur la carte du rapport sans relancer le calcul

La Figure 61 montre un exemple de représentation des durées de papillotement sous forme de *Raster en heures par an*.

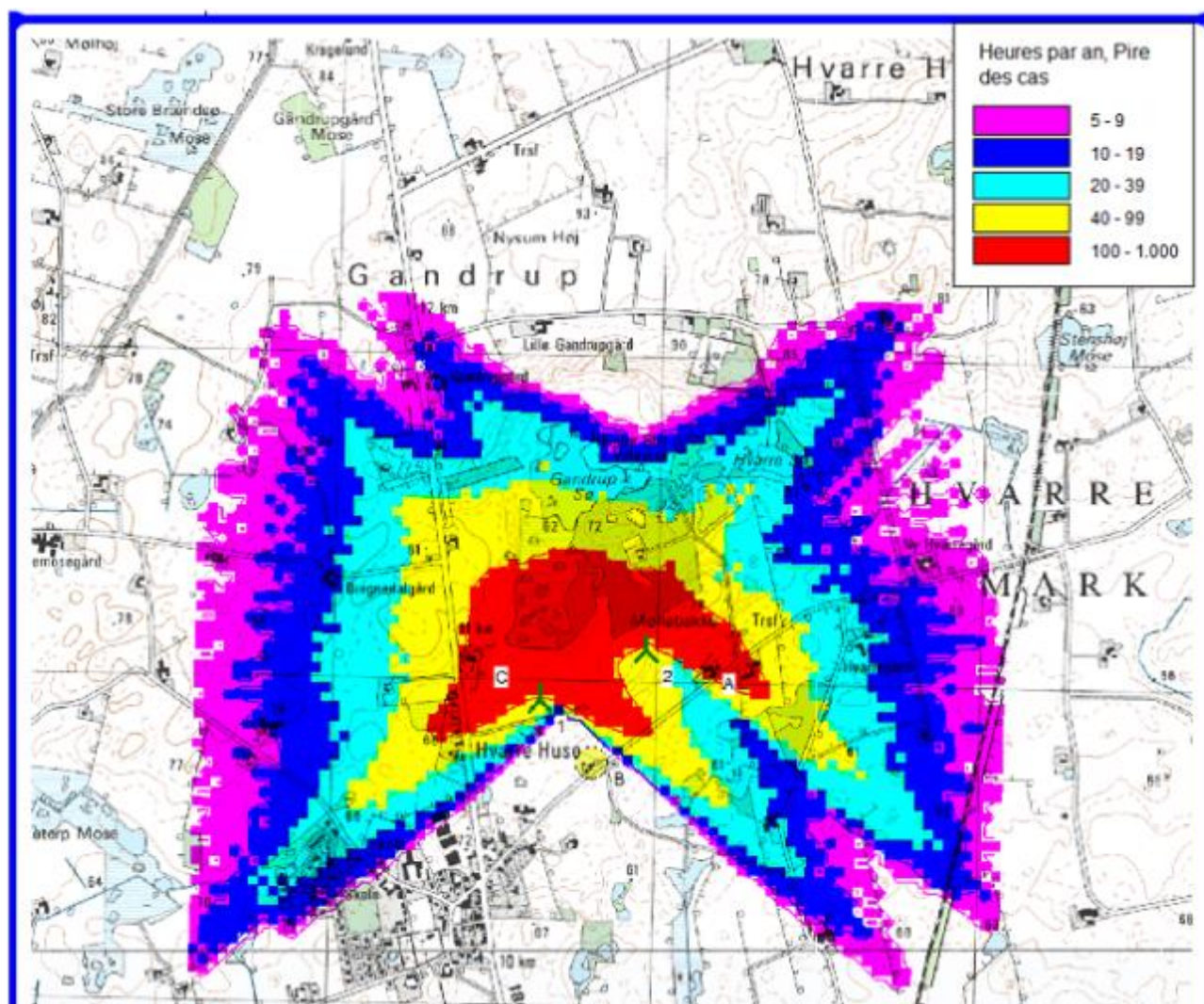


Figure 61



## 4.3 ZVI – Zones Visuellement Impactées

### 4.3.0 Introduction

ZVI (Zones Visuellement Impactées) est un module de WindPRO pour le calcul et la représentation de la nuisance visuelle des éoliennes sur une zone définie. ZVI calcule, pour chaque point de la zone, le nombre d'éoliennes visibles par un observateur et restitue le résultat sur la carte de travail en utilisant un code de couleurs qui permet de savoir à partir de quels endroits, par exemple, aucune éolienne n'est visible, une à trois sont visibles, plus de quatre sont visibles, etc. ZVI calcule également les pourcentages de la surface de la zone où aucune éolienne n'est visible, une à trois sont visibles, etc.

De la même manière, ZVI permet de calculer et de représenter la nuisance visuelle de plusieurs parcs éoliens (impact cumulé). Le principe est celui exposé antérieurement, mais dans ce cas l'analyse est faite sur des parcs et non plus sur des éoliennes.

En général, il n'y a pas de critère donnant la nuisance visuelle maximale acceptable ; d'ailleurs la définition d'un critère réellement applicable dans la pratique serait vraiment difficile à établir.

Les ZVIs sont souvent utilisées pour la mise en place des zones locales et régionales de développement éolien. Pour des projets concrets, les ZVIs peuvent faire partie des éléments de l'étude d'impact environnemental.

L'étude des ZVIs est également très utile pour faire des choix entre plusieurs sites.

Enfin, le module ZVI permet d'étudier la visibilité des éoliennes par les radars.

Si la position et la hauteur des radars sont connues, le calcul *Radar* indique pour chaque éolienne si elle est visible, ou non, par le(s) radar(s). Si elle est visible le calcul donne la hauteur de sa partie visible et si elle est invisible la marge de hauteur disponible avant que l'éolienne ne devienne visible.

Si la zone réservée au parc est définie, le calcul *Radar* permet également de montrer sur la carte de travail, pour un type d'éolienne donnée, les parties où les éoliennes seraient invisibles.

### 4.3.1 Méthode de calcul

Le calcul de visibilité fait appel à un modèle numérique du terrain qui est créé à partir des courbes de niveau. De plus, les obstacles et la couverture du terrain (forêts, etc.) peuvent être pris en compte.

La méthode peut être décrite de la manière suivante : pour chaque point de la zone étudiée, une ligne est tracée entre le point et le haut de chaque éolienne puis on compte le nombre de lignes qui ne sont pas coupées par le relief, la couverture du terrain ou les obstacles. A noter que la courbure de la terre est également prise en compte.

Pour le calcul de la visibilité par les radars le même principe est utilisé mais dans ce cas la courbure de la terre peut être ajustée pour prendre en compte le mode de propagation des ondes hertziennes.

Les données nécessaires aux calculs sont :

- Les coordonnées des éoliennes et des radars (x,y,z)
- La hauteur de moyeu et le diamètre des éoliennes, la hauteur des radars
- Un objet *Données-lignes* avec les courbes de niveau (voir section 2, BASIS).
- Des objets *Obstacles* pour la description des obstacles (les mêmes que ceux utilisés pour les calculs avec WAsP, notez qu'uniquement les obstacles ayant une porosité inférieure à 0,3 sont pris en compte).
- Un ou plusieurs objets *Données-surfaces* pour la description de la hauteur de la couverture des sols (forêts, villages, etc.).

### 4.3.2 Entrée des données

Tout d'abord un fond de carte est requis, même si une carte vierge peut être utilisée.

Si le projet est déjà créé dans WindPRO et que plusieurs cartes sont disponibles, cliquez sur les boutons d'affichage des cartes et choisissez une carte. Les informations relatives au maniement des cartes se trouvent dans la section 2, BASIS.

### 4.3.2.0 Eoliennes

La création des éoliennes est expliquée au 2.5.1 de la section 2, BASIS.

#### 4.3.2.1 Courbes de niveau

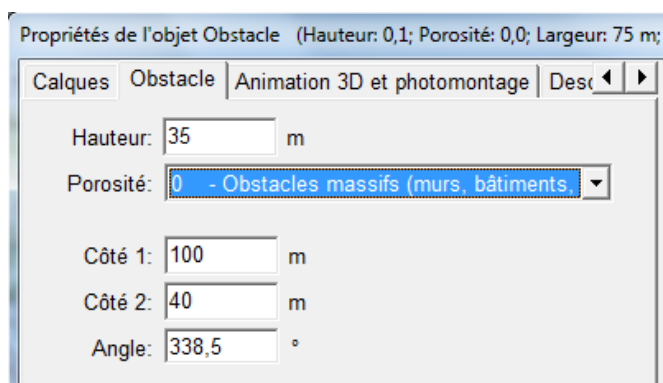
Les courbes de niveau doivent être chargées dans un objet *Données-lignes* soit à partir de fichiers au format adéquat soit en les numérisant manuellement avec la souris à partir de la carte de travail. (Pour plus d'informations, voir 2.8 de la section 2, BASIS).

#### 4.3.2.2 Hauteur de la couverture des sols

On utilise l'objet *Données-surfaces* pour décrire la hauteur de la couverture des sols. Après avoir créé l'objet, on délimite, avec des polygones, les surfaces couvertes par des éléments de même hauteur tels que des forêts, des villages, etc. Note : si plusieurs objets sont présents dans le projet, il faut cocher ceux qui doivent être utilisés pour le calcul des ZVIs dans la fenêtre de paramétrage du calcul. (Pour plus d'informations, voir 2.9 de la section 2, BASIS)

#### 4.3.2.3 Obstacles

L'objet *Obstacles* (parallélépipède) est mieux adapté que l'objet *Données-surfaces* pour la description d'éléments topographiques isolés comme des haies rectilignes, des bâtiments, etc.

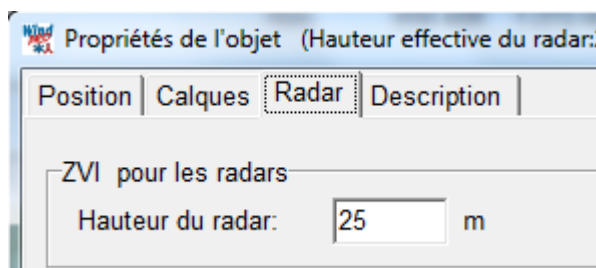


L'objet *Obstacle* peut, en partie, être directement défini avec la souris à l'écran, mais sa *Hauteur* et sa *Porosité* doivent être entrées dans la fenêtre *Propriétés de l'objet Obstacle* qui s'ouvre lors de la création de l'objet, voir Figure 62.

Note : la valeur de la *Porosité* doit être inférieure à 0,3 sinon l'obstacle sera interprété comme étant transparent.

Figure 62

#### 4.3.2.4 Radars

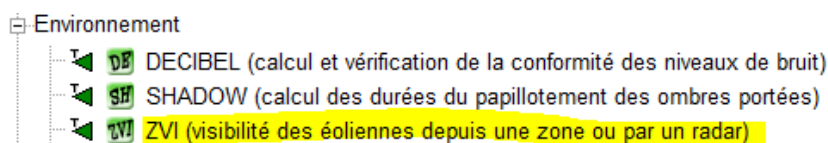


La position et la hauteur d'un radar se définissent à l'aide d'un objet *Radar*, voir Figure 63.

Figure 63

### 4.3.3 Calculs et rapports

On lance le calcul ZVI par un double clic sur la flèche verte devant *ZVI* (*visibilité des éoliennes...*).



### 4.3.3.0 Paramétrage du calcul

Après le lancement du calcul, la fenêtre de paramétrage *Définir calcul* s'ouvre automatiquement, voir Figure 64. Comme pour les autres calculs WindPRO, c'est dans cette fenêtre que se fait le choix des calculs et leur paramétrage.

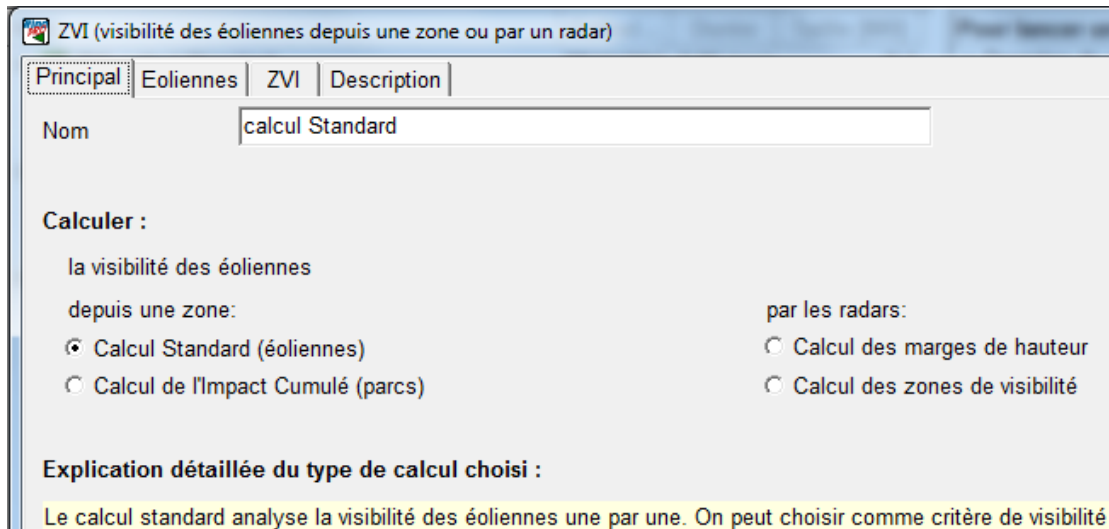


Figure 64

#### Onglet *Principal*

Voir Figure 64.

Le champ *Nom* permet de donner un nom au rapport qui sera généré à l'issue du calcul.

Dans cet onglet se fait le choix du calcul à effectuer, un seul calcul peut être coché en même temps.

Deux types de calculs sont proposés :

- *La visibilité des éoliennes depuis une zone* définie
- *La visibilité des éoliennes par les radars*

Ces deux types proposent à leur tour deux variantes. Chaque variante est décrite dans le cadre *Explication détaillée du type de calcul choisi*.

#### Onglet *Eoliennes*

Dans cet onglet on peut sélectionner les éoliennes qui seront utilisées pour faire les calculs. Par défaut toutes les éoliennes des calques actifs sont utilisées. Leur sélection peut se faire à deux niveaux : par calque et par éolienne individuellement.

#### Onglet *ZVI*

Voir Figure 65.

Dans cet onglet se définissent les paramètres qui sont utilisés par les calculs *Standard* et *Impact Cumulé* :

**Délimitation de la zone à étudier :** la zone se délimite par un rectangle soit directement à l'écran en cliquant sur le bouton avec le globe terrestre soit en définissant les côtés du rectangle à l'aide des champs *Centre de la zone étudié*, *X(Est)*, *Y(Nord)*, *Côté X* et *Côté Y*.

Le choix de l'étendue de la zone dépend de l'objet de l'étude. Cela peut aller d'une petite zone très sensible à une zone de développement éolien. Notez que pour des zones très étendues la durée du calcul peut être très longue.

**Résolution :** les points de calcul de la zone à étudier sont définis par une maille dont la finesse se définit dans le champ *Résolution*. Pour que les durées de calcul restent acceptables, une résolution de 25 m est un choix raisonnable pour des zones de petite surface (jusqu'à 5 x 5 km), au-delà, suivant la surface, une résolution de 100 m ou plus est préférable.

**Hauteur du regard :** 2 m peut être considéré comme un maximum pour un observateur se déplaçant à pied, 1 m est la hauteur du regard d'un observateur se déplaçant dans une automobile, par conséquent 1,5 m peut être un bon compromis.

*Hauteur des éoliennes = ...* : ces options permettent à l'utilisateur d'indiquer à WindPRO si une éolienne doit être considérée comme visible quand on voit l'extrémité de ses pales en position verticale ou seulement quand on voit sa nacelle.

*Utiliser objets Obstacles* : cette option est proposée car il se peut que des objets *Obstacles* aient été créés pour les besoins d'autres calculs. Si ces obstacles n'ont aucune influence sur la visibilité des éoliennes il est préférable de décocher cette option afin d'accélérer les calculs.

*Objets Données-surfaces* : dans ce cadre sont présentés tous les objets *Données-surfaces* du projet ayant pour usage ZVI. Si certains objets ne doivent pas être utilisés pour le calcul en cours de définition, il suffit de les décocher.

Note : par exemple, si la zone étudiée comprend un village dont on a défini la hauteur moyenne des maisons égale à 5 mètres à l'aide d'un objet *Données-surfaces* et que la *Hauteur du regard* est de 1,5 mètres, alors WindPRO considère qu'un observateur se trouvant dans le village ne voit pas les éoliennes, ce qui n'est pas forcément vrai. Dans ce cas, pour rendre compte de la réalité exacte le village devra être décrit de façon détaillée.

*Définir distance maximale* : les éoliennes dont la distance par rapport au point de calcul est supérieure à celle définie dans ce champ sont ignorées.

*Expression des résultats* :

Dans ce cadre on choisit le(s) type(s) de présentation des résultats *Lignes "iso"* ou *Raster*, les boutons *Modifier* permettent de personnaliser la présentation.

En cochant l'option *Calque-résultat*, le résultat est directement présenté à l'écran en superposition sur la carte de travail.

Principal | Eoliennes | **ZVI** | Description

Centre de la zone étudiée  
 Définir ses coordonnées

X(Est) 648 901  
 Y(Nord) 1 270 158  
 Côté X [m] 3 934  
 Côté Y [m] 2 213  
 Résolution [m] 50  
 Hauteur du regard [m] 1,5

Objets Données-surfaces  
 Végétation Objet Données-surfaces (ZVI) : RE  
 Corine Objet Données-surfaces (ZVI) : RE

Hauteur des éoliennes = hauteur de moyeu + 1/2 diamètre de rotor  
 Hauteur des éoliennes = hauteur de moyeu

Utiliser objets Obstacles  Définir distance maximale  
 15 000 m Les éoliennes ou les parcs au-delà de la "distance maximale" sont considérés invisibles

Expression des résultats	Lignes "iso"	Config. lignes	Raster	Config. raster	Calque-résultat
ZVI Standard	<input type="checkbox"/>	Modifier	<input checked="" type="checkbox"/>	Modifier	<input checked="" type="checkbox"/>

Note: ce paramétrage par défaut du rapport pourra être modifié lors de sa visualisation.

Modèle

Charger Enreg. sous

Convertir en modèle pour le pays

Figure 65

**Onglet Radar**

Voir Figure 66

Dans cet onglet se définissent les paramètres qui sont utilisés par les calculs relatifs la *visibilité des éoliennes par les radars*.

*Radars à utiliser dans les calculs* : les radars à utiliser pour le calcul se sélectionnent dans les cadres *Calques* (calques contenant les objets Radars) et *Utiliser tous les objets des calques sélectionnés* (choix individuel des objets Radars en décochant l'option *Radars*).

*Cte de réfraction k* : cette constante modifie la courbure de la terre pour rendre compte du mode de propagation des ondes hertziennes.

*Choix du type d'éolienne* : si dans l'onglet *Principal* le *Calcul des zones de visibilité* est sélectionné, alors, dans l'onglet *Radar*, apparaît cette option qui permet de choisir le type d'éolienne qui sera utilisé pour calculer les parties de la zone étudiée où les éoliennes seraient visibles par le(s) radar(s).

Note : on définit la zone à étudier dans l'onglet *ZVI* comme exposé antérieurement.

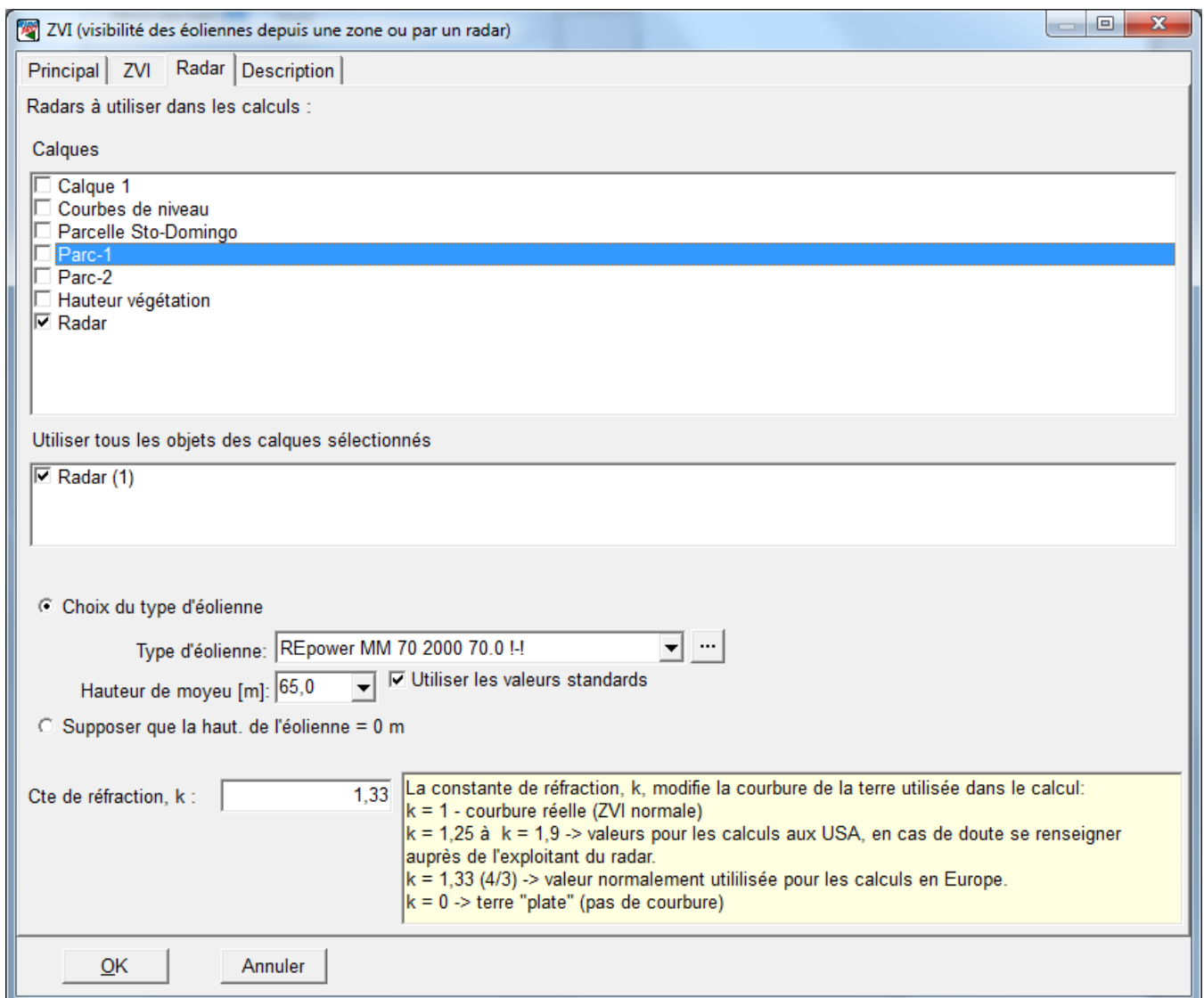


Figure 66

**4.3.3.1 Calculs**

Le calcul sélectionné dans l'onglet *Principal* de la fenêtre de paramétrage du calcul démarre en cliquant sur le bouton *Ok* de cette même fenêtre.

### 4.3.3.2 Rapports

Les rapports résultants des différents types de calcul se divisent tous en 2 parties : un résumé donnant des résultats chiffrés et une carte présentant les résultats sur le fond de carte choisi. Voir Figure 67.

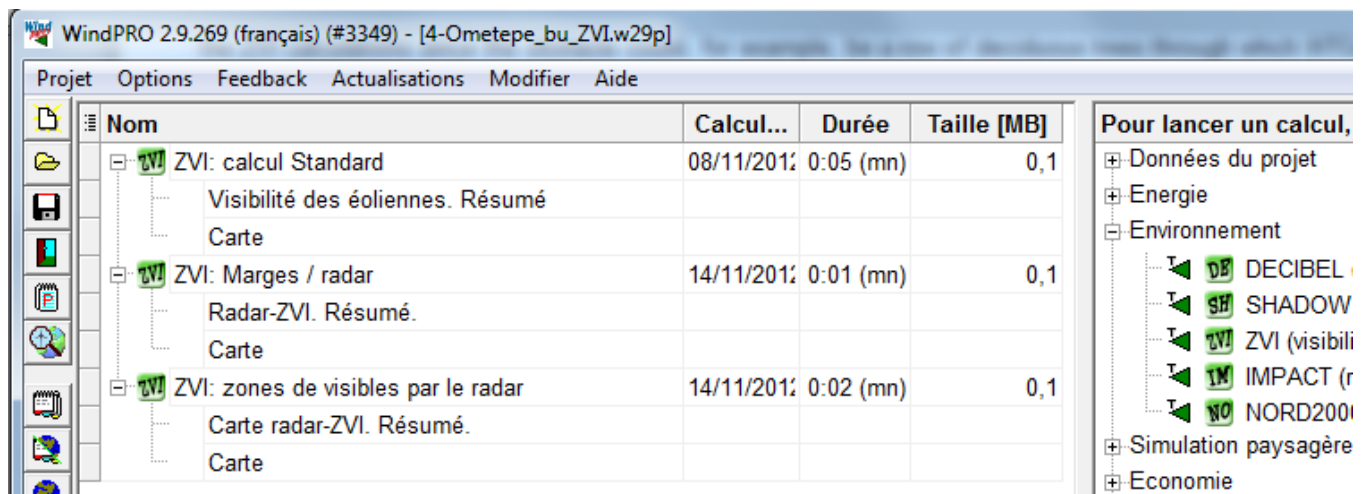


Figure 67

En faisant un clic-droit sur le titre du rapport s'ouvre un menu contextuel qui donne accès à la fenêtre *Options de présentation*, voir Figure 68. Cette fenêtre propose diverses options de personnalisation dont celle permettant de personnaliser la présentation des ZVIs sur la carte. Pour cela, sélectionnez *Carte* dans le cadre *Sommaire*, puis dans le cadre inférieur cliquez sur le bouton à la gauche de *Présentation ZVI sous forme de raster* (dans le cas de l'exemple de la Figure 68).

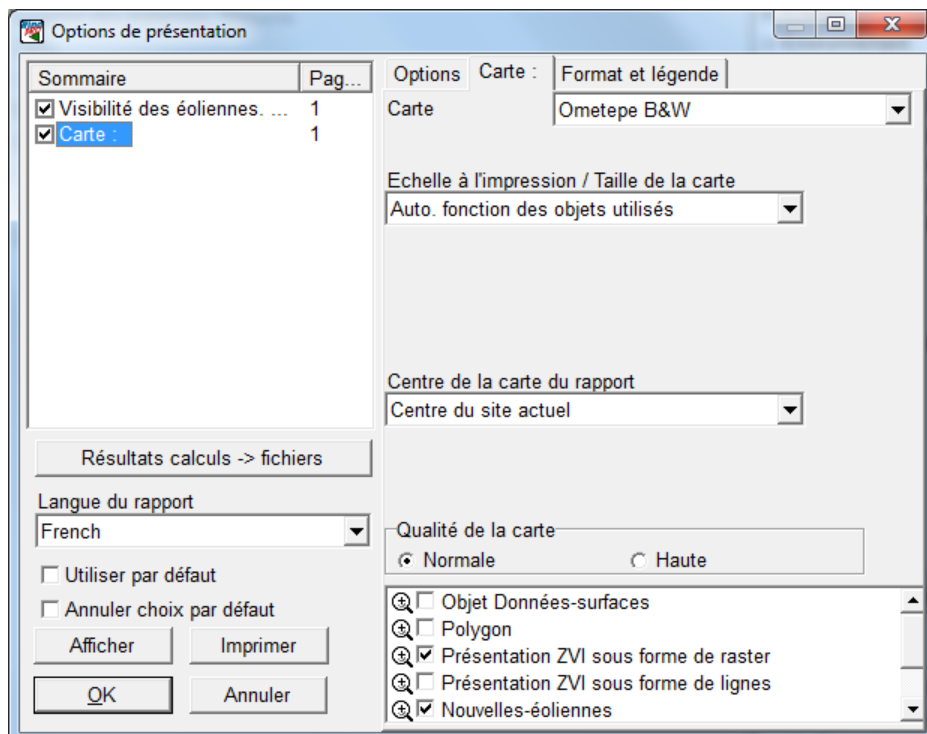


Figure 68

Les figures suivantes montrent des extraits des deux parties du rapport de calcul *ZVI Standard (éoliennes)*. La *Figure 69* présente les résultats chiffrés et la *Figure 70* présente sur la carte les parties de la zone étudiée où les éoliennes sont visibles.

Les rapports relatifs aux autres calculs se présentent de manière similaire.

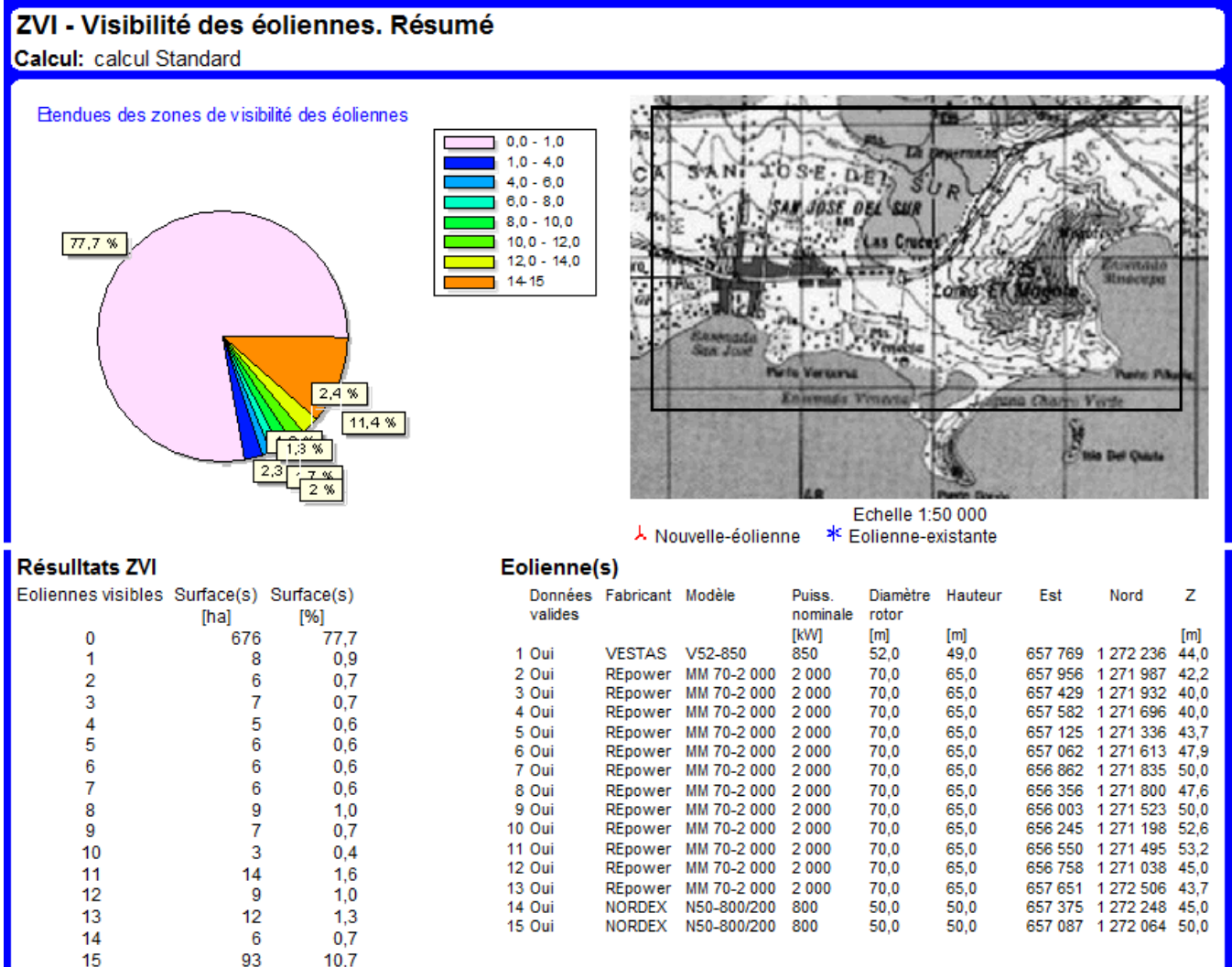


Figure 69

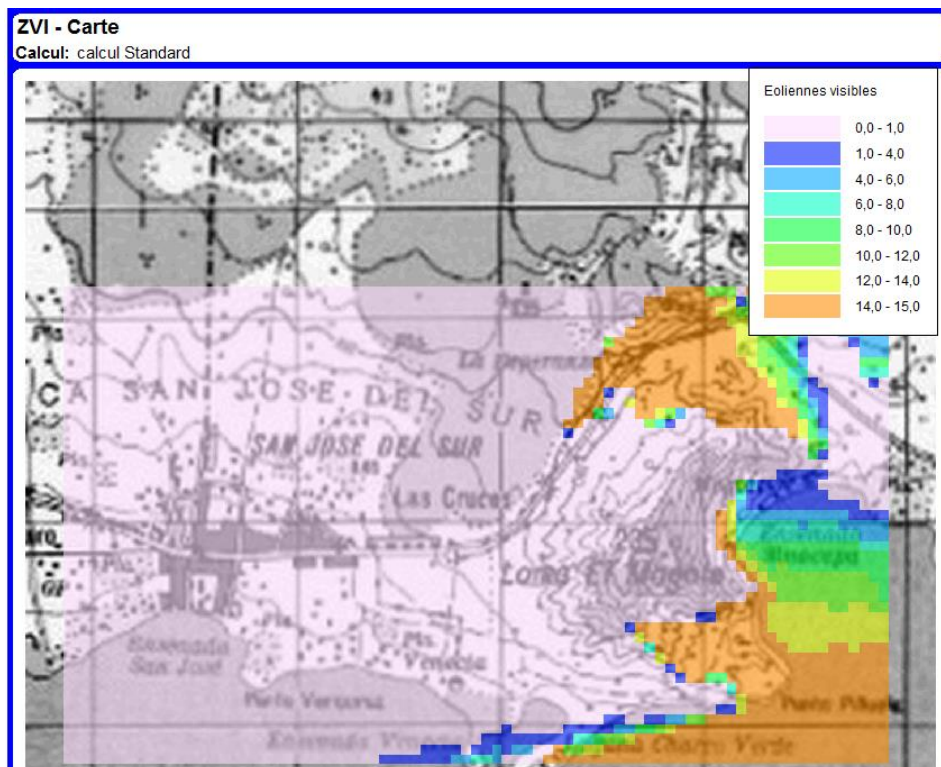


Figure 70

## 4.4 IMPACT – Synthèse des nuisances sur les riverains

### 4.4.0 Introduction

Avec IMPACT on peut produire des rapports synthétisant en une page les nuisances subies par des points situés dans le voisinage du parc étudié. Ces points peuvent être les habitations des riverains du parc ou des lieux remarquables proches du parc.

La page de synthèse présente pour le point considéré :

- Le niveau du bruit résultant du fonctionnement des éoliennes.
- Les durées de papillotement des ombres projetées par les éoliennes.
- Le nombre d'éoliennes visible (ZVI).

De plus, la page peut être illustrée par une photo du lieu.

La page contient également des explications sur le calcul des nuisances. Ainsi elle peut être directement distribuée au public concerné.

### 4.4.1 Calculs et rapports

Les *Calculs du bruit, de la durée du papillotement des ombres et de la visibilité des éoliennes*, Figure 71, ont été décrits dans les chapitres 4.1, 4.2 et 4.3 de la présente section.

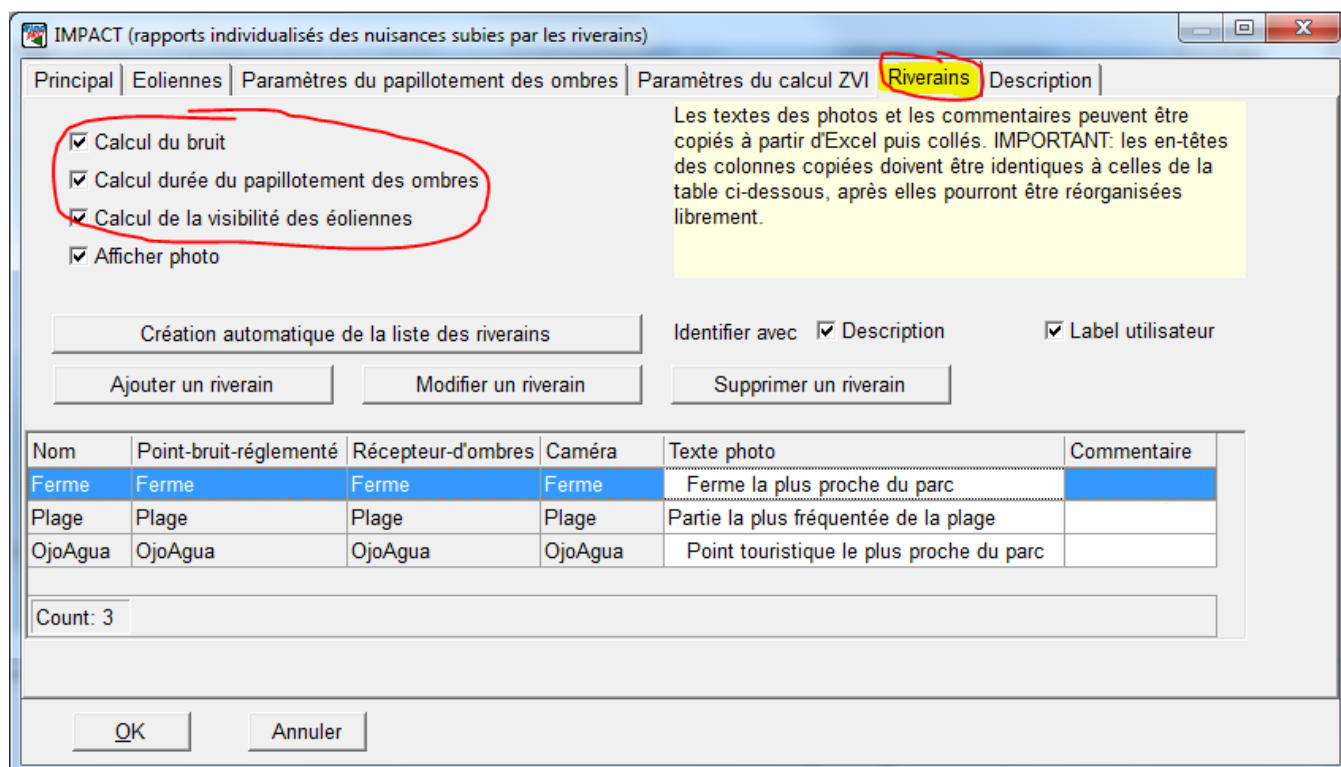


Figure 71



Le paramétrage du *Calcul du bruit*, Figure 72, et celui du *Calcul de la durée papillotement des ombres*, Figure 73, reprennent respectivement ceux des calculs DECIBEL et SHADOW. Note : les *Zone-bruit-réglementé* doivent être des points et non des polygones.

Le calcul ZVI ne demande aucun paramétrage ; il est fait à partir de la position de l'objet *Zone-bruit-réglementé*.

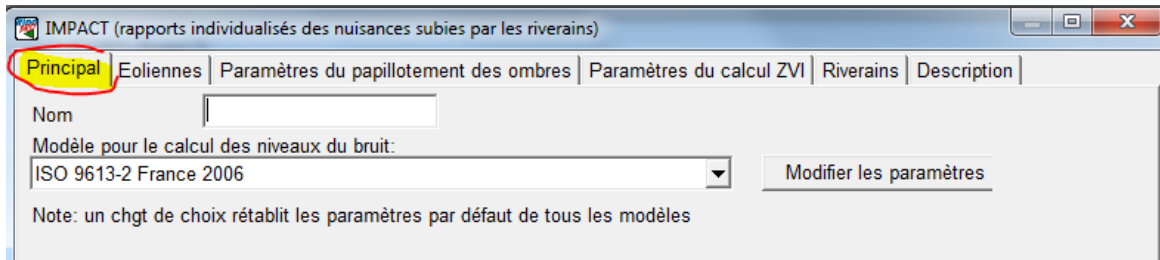


Figure 72

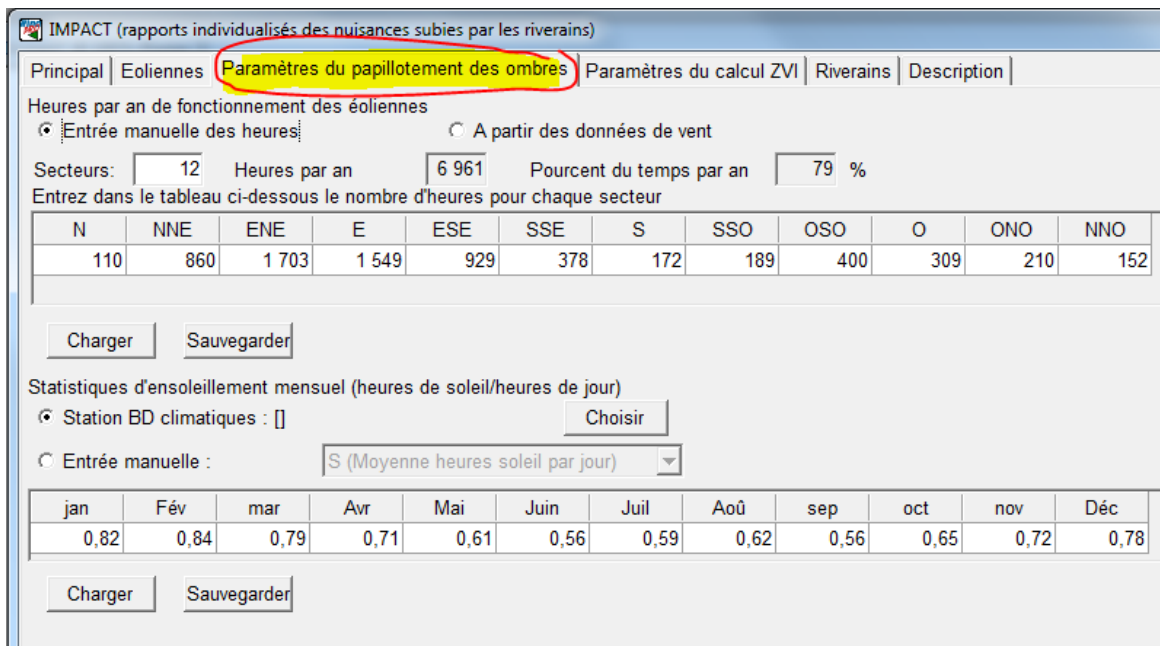


Figure 73

La seule particularité du calcul est l'établissement de la correspondance entre le *Riverain* et les objets *Zone-bruit-réglementé*, *Récepteur-d'ombre* et *Caméra*, elle se fait à l'aide de menus déroulants, voir Figure 74. En donnant le même nom (champ *Description* de l'objet) aux objets correspondant à un même riverain la *Création automatique de la liste des riverains* se fait en cliquant sur le bouton du même nom, voir Figure 71.

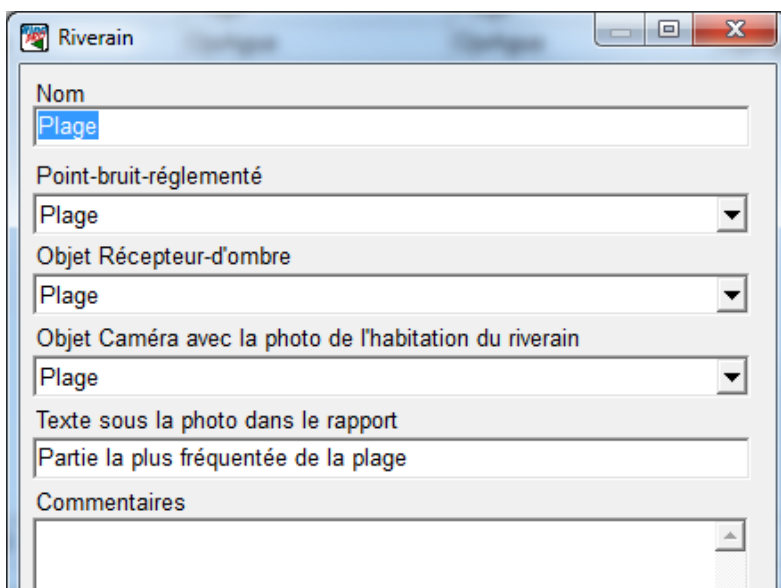


Figure 74

La Figure 75 montre un exemple de synthèse en 1 page des nuisances pour un riverain ou lieu dans le voisinage du parc étudié.

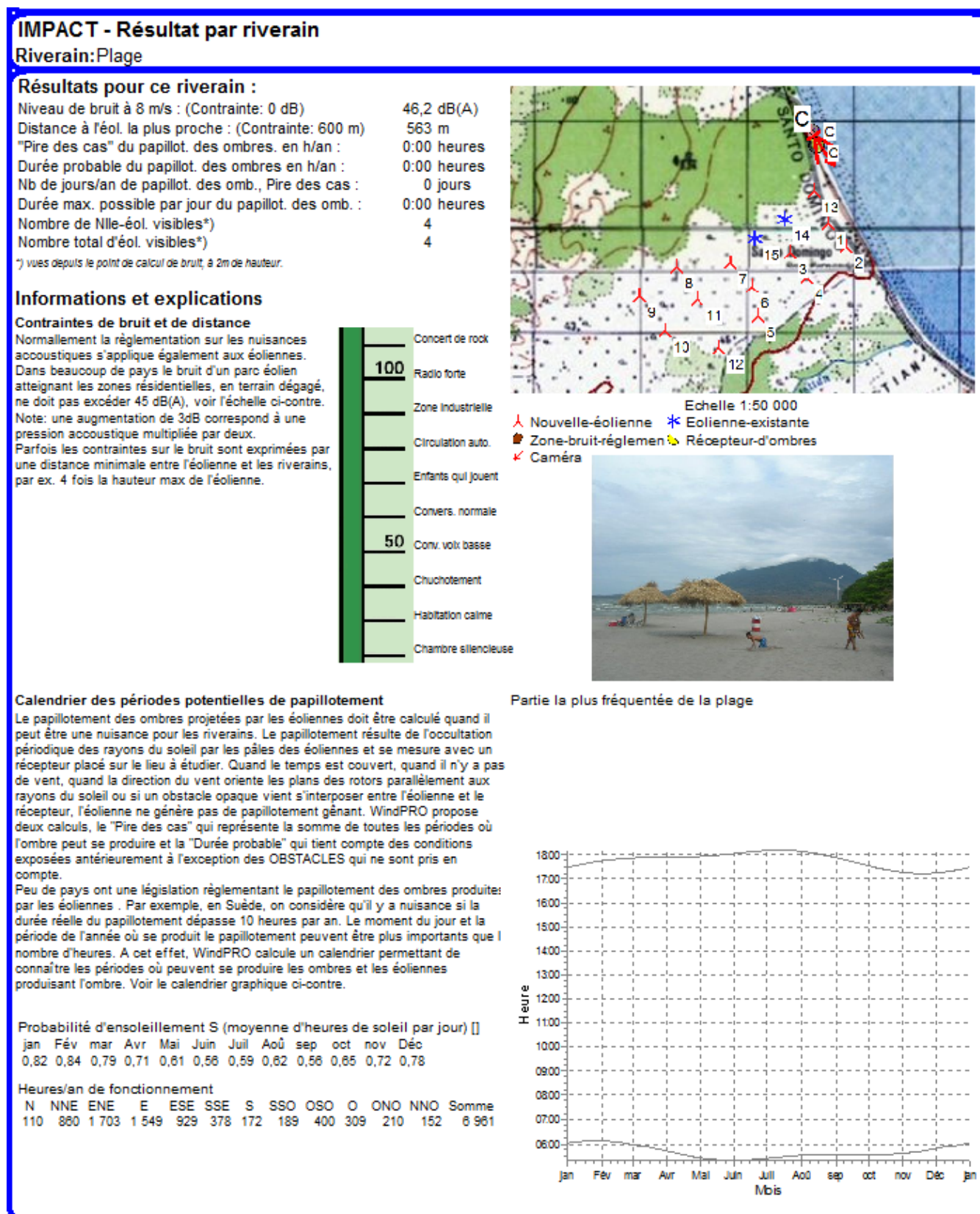


Figure 75

## 4.5 NORD2000. Modèle de avancé de calcul du bruit.

### 4.5.0 Introduction et guide

#### 4.5.0.0 Introduction

NORD2000 est un modèle avancé de calcul du bruit qui a été, au départ, développé pour les besoins du trafic routier (Plovsing 2010) puis adapté pour le calcul la nuisance sonore des éoliennes (Plovsing and Søndergaard 2009).

L'objectif de NORD2000 est de calculer, le mieux possible, le niveau réel du bruit affectant le site étudié. Ce bruit dépend de nombreux facteurs et, par conséquent, de nombreux paramètres interviennent dans les calculs avec NORD2000. Beaucoup de ces paramètres varient au cours du temps et, par conséquent, le résultat d'un calcul avec NORD2000 est valable pour des conditions spécifiques se trouvant réunies dans une période de temps souvent de courte durée.

Certaines réglementations sur le bruit indiquent les conditions du calcul, le modèle de propagation à utiliser et les niveaux maximaux à respecter. Ces réglementations où tout est imposé sont prédéfinies dans le module DECIBEL.

D'autres réglementations indiquent les conditions spécifiques du calcul et les niveaux maximaux à respecter sans imposer un modèle de propagation. Dans ces cas, le modèle de NORD2000 pourra être utilisé avantageusement pour faire les études.

Il existe les réglementations où seuls les niveaux maximaux du bruit à respecter sont indiqués. Ces cas sont les plus difficiles à étudier car les niveaux du bruit des éoliennes varient en fonction de la vitesse, de la direction et de la turbulence du vent, de la stabilité thermique et de l'humidité de l'atmosphère, et du changement de la végétation avec les saisons. L'objectif peut être alors de calculer les niveaux du bruit dans la situation la plus défavorable ou dans une approche moins extrême de calculer les niveaux du bruit dépassés pendant 10% du temps. Pour cela, NORD2000 permet de faire les calculs en considérant des intervalles de vitesses et de directions du vent et si des mesures du vent sont disponibles sous une forme adéquate, il sera possible de calculer la fréquence avec laquelle se produisent les différents niveaux du bruit.

Mais ce sont les situations de doute, liés à des contextes particuliers, qui conduiront naturellement à l'utilisation de NORD2000. Exemples : quand on est à limite des niveaux permis, la présence d'un lac entre les éoliennes et les riverains conduira-t-il au dépassement de ces niveaux ? Que se passe-t-il par une nuit claire et sèche ? Dans ces cas NORD2000 permet d'apporter les réponses.

Enfin, la mise à profit des possibilités de NORD2000 pour définir les bridages avec une grande finesse, en tenant compte par exemple de la direction du vent, peut faire gagner quelques pourcents sur la future production et générer des gains se chiffrant en millions d'euros dans le cas des très grands parcs.

#### 4.5.0.1 Guide des étapes à suivre

- Création du projet et importation des cartes (voir la section 2, BASIS).
- Création des objets adéquats : *Zone-bruit-réglementé*, *Données-lignes* ou *Maille-altimétrique* pour décrire le relief, *Données-surfaces* pour décrire les caractéristiques de la couverture des sols, *Météo* pour introduire (si nécessaire) des mesures de vent et *Données-site* si les mesures de vent doivent être exploitées avec WASP.
- Paramétrage et lancement du calcul NORD2000.
- Impressions des rapports.

---

## 4.5.1 Calcul avec NORD2000

### 4.5.1.0 A propos de NORD2000

A l'origine, NORD2000 a été développé, par un groupe d'experts internationaux, pour répondre aux besoins du trafic routier. Le projet et le modèle de départ sont décrits dans « Plovsing 2010 ».

En 2007, un groupe de travail, formé par des personnes des sociétés DELTA, EMD et DONG Energy, entreprit la validation du modèle NORD2000 pour le calcul des nuisances sonore produites par les éoliennes et la création d'un outil logiciel commercialisable pour sa mise en œuvre (WindPRO). Ce projet appelé « Noise and energy optimization of wind farms » a été financé par Energinet.dk.

Les résultats produits par le modèle NORD2000 ont été validés par des essais utilisant des haut-parleurs (au Danemark) et à partir d'éoliennes en exploitation (en Suède). Les résultats de la validation furent présentés en 2009 lors de la conférence sur le bruit des éoliennes « Sondergaard, Plovsing, 2009 ».

L'adaptation du modèle pour les besoins de l'éolien a demandé la prise en compte de facteurs non, ou partiellement intégrés, dans les modèle d'origine destiné au trafic routier, parmi lesquels : la dépendance du niveau de la source sonore à la vitesse du vent et l'influence des conditions atmosphériques. La prise en compte de ces facteurs fut exposée en 2009 lors de la conférence sur le bruit des éoliennes (Sorensen, et.al. 2009).

L'outil logiciel de mise en œuvre de ce modèle est le module NORD2000 commercialisé pour la première fois avec la version 2.8 de WindPRO. Le moteur de calcul a été réalisé par la société DELTA et l'interface utilisateur a été faite par EMD.

#### La méthode de calcul.

A la base, NORD2000 calcule l'atténuation du bruit entre la source (une éolienne) et le point étudié (maison d'un riverain, par ex.) en considérant le vent, la nature du terrain et les conditions atmosphériques.

Tout d'abord, il faut connaître les niveaux de bruit de chaque éolienne (voir section 2, BASIS). Ces niveaux dépendent des caractéristiques des machines et de la vitesse du vent. Les niveaux doivent être exprimés par leurs 8 bandes d'octave ou leurs 24 bandes 1/3 d'octave.

La détermination des niveaux de bruit est une tâche compliquée, car les machines d'un parc éolien ne sont pas toutes soumises à la même vitesse de vent au même moment et souvent la vitesse de vent est donnée sans indication précise du lieu auquel elle se rapporte.

Ensuite, il faut décrire les deux caractéristiques du terrain qui interviennent dans le calcul : le relief, qui est décrit à l'aide de courbes niveau, et la dureté acoustique du sol (par exemple, l'eau ou une piste d'aéroport sont des surfaces dures qui atténuent très peu le bruit, par contre des surfaces naturelles couvertes de végétation atténuent sensiblement le bruit).

De plus, la rugosité du terrain, influence également le profil vertical du vent qui à son tour intervient sur le niveau des sources.

Il faut aussi donner les conditions atmosphériques qui interviennent dans le calcul :

- Direction du vent
- Vitesse du vent
- Humidité
- Température
- Intensité des turbulences (vent)
- Intensité des turbulences (température)
- Ecart-type des fluctuations du vent
- Inverse de la longueur de Monin-Obukov
- Profil de la température  $T^*$

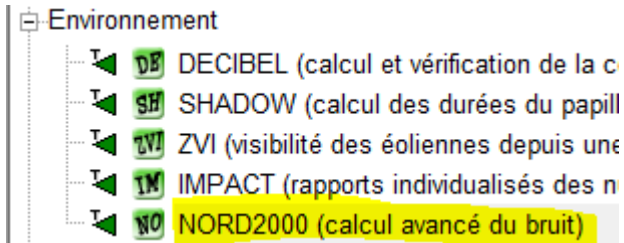
Les cinq derniers points sont des grandeurs plutôt « exotiques ». Pour faciliter le paramétrage du calcul, elles ont été réduites à leurs valeurs standards dans les conditions suivantes : jour, nuit, ciel couvert, ciel sans nuages.

Enfin, il faut donner la hauteur du point étudié.

Quand les niveaux des sources, la description du terrain et les conditions atmosphériques ont été entrées, elles sont envoyées au moteur de calcul de NORD2000 qui calcule tour à tour le niveau du bruit de chaque éolienne au point étudié puis fait leur somme pour produire le niveau du bruit global au point étudié.

Notez que le calcul ne peut être fait qu'en espace ouvert.

En effet, il n'est pas prévu de prise en compte de l'atténuation des murs pour un calcul à l'intérieur d'une habitation ou l'atténuation par des obstacles (édifices, barrières de bruit, etc.).



Le lancement d'un calcul NORD2000 ouvre la fenêtre de paramétrage de la Figure 76.

### Onglet Principal

Il faut d'abord choisir, dans cet onglet, le calcul à effectuer parmi différents *Types de calcul* possibles, voir Figure 76.

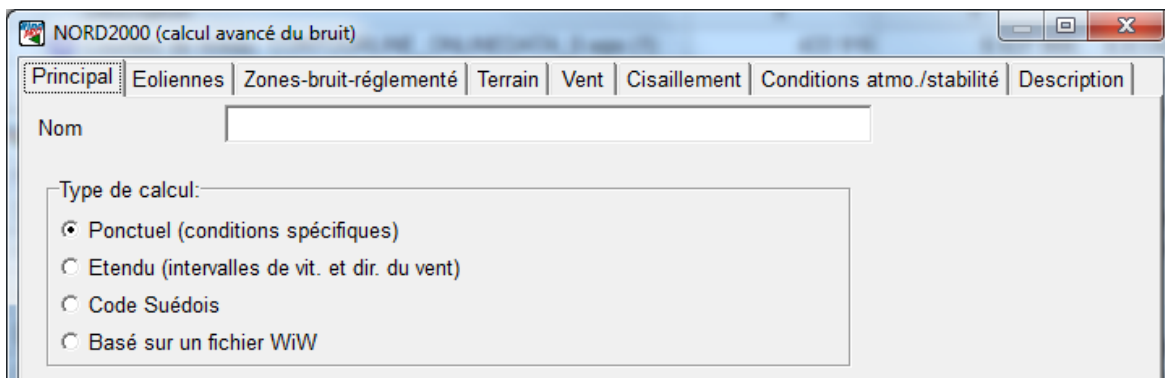


Figure 76

**Ponctuel (conditions spécifiques)** : connaissant, à un instant donné, les valeurs de la vitesse et de la direction du vent, de la température, de l'humidité, etc., ce calcul permet de connaître le niveau de bruit des éoliennes atteignant un ou plusieurs points riverains d'un parc.

**Etendu (intervalles de vit. et dir. du vent)** : ce calcul est une répétition du calcul *Ponctuel* pour différentes combinaisons des vitesses et des directions du vent. Il permet d'identifier la direction du vent la plus défavorable pour chaque point étudié.

**Code Suédois** : le paramétrage de NORD2000 est verrouillé et le calcul est fait dans les conditions indiquées par le document Ljud Från Vindkraftverk (bruit des éoliennes), Naturvårdsverket édition d'avril 2010.

**Utilisation d'un fichier WiW** : le calcul est fait en utilisant un fichier décrivant les vitesses du vent au niveau de chaque éolienne. Le résultat est plus précis car les réductions de la vitesse du vent à l'intérieur du parc sont prises en compte. Un calcul *PARK* option *Réductions vit. du vent dans le parc* doit être fait au préalable (voir section 3, Energie).

Une présentation détaillée du calcul *Ponctuel (conditions spécifiques)* est faite à suite.

Les présentations des autres calculs sont faites en signalant les différences par rapport au calcul *Ponctuel (conditions spécifiques)*.

### 4.5.1.1 Calcul Ponctuel (conditions spécifiques)

#### Onglet Eoliennes

Dans cet onglet sont sélectionnées les éoliennes qui interviendront dans le calcul. La sélection se fait de la même manière que dans les autres calculs WindPRO, voir Figure 77.

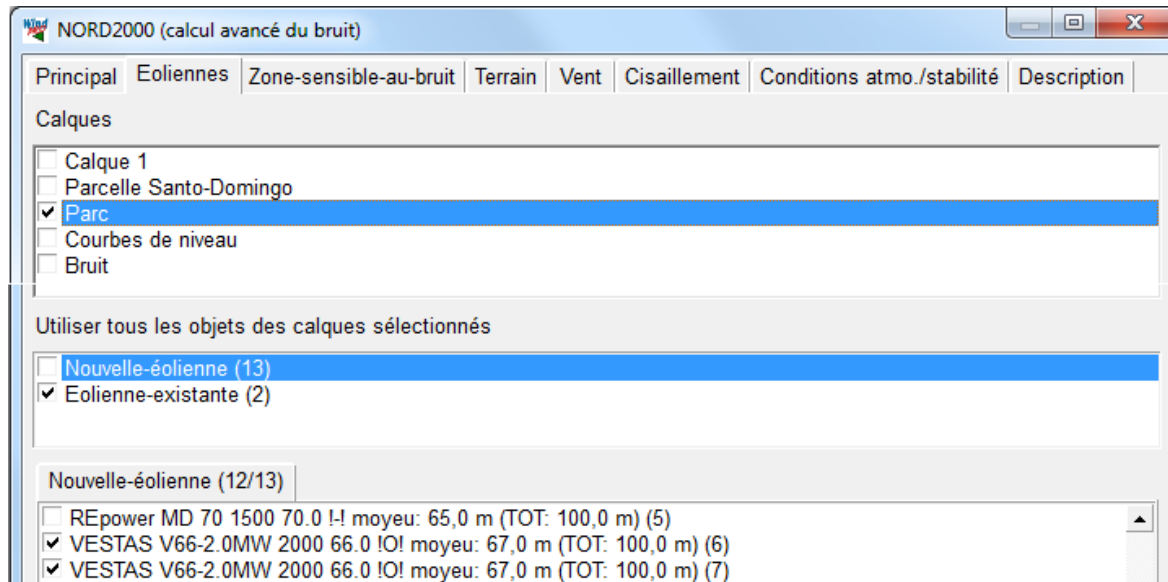


Figure 77

Un calcul précis requiert des éoliennes avec des données de bruit complètes : typiquement les niveaux de bruit pour des vitesses de vent de 4 m/s à 12 m/s par pas de 1 m/s exprimés par leurs bandes d'octave. Si les données ne sont pas complètes on peut compléter les fiches de *Bibliothèque d'éoliennes* (voir section 2, BASIS).

Si des niveaux de bruit sont manquants, WindPRO propose des niveaux extrapolés ou interpolés à partir des niveaux disponibles.

Si des niveaux ne sont pas exprimés en bandes d'octave, WindPRO peut reconstituer les bandes à partir de celles disponibles pour un autre niveau et proposer des bandes génériques en l'absence totale d'information spectrale.

Depuis la version 2.8, les fiches de la bibliothèque permettent d'indiquer le niveau sonore des éoliennes en fonction des vitesses du vent données directement à hauteur de moyeu. Jusqu'à présent, les vitesses du vent étaient données à 10m de hauteur et les niveaux de bruits étaient donnés pour les différentes hauteurs de moyeu.

Les données de bruit peuvent être entrées sous les deux formes et un utilitaire permet la conversion d'une forme à l'autre.

Habituellement, les niveaux disponibles sont donnés pour les vitesses à 10m de hauteur ; il faut utiliser l'utilitaire de conversion pour pouvoir exploiter ces niveaux avec NORD2000 qui nécessite les niveaux sonores en fonction des vitesses du vent à hauteur de moyeu.

#### Onglet Zone-bruit-réglementé

Les zones d'étude du bruit sont introduites à l'aide d'objets *Zone-bruit-réglementé*. Le calcul peut être limité aux objets sélectionnés dans l'onglet du même nom. La sélection se fait de manière identique à celle des objets *Eoliennes*.

La mise en œuvre de l'objet *Zone-bruit-réglementé* est décrite dans le paragraphe 4.1.2.1.

NORD2000, dans sa présente version, calcule le bruit des éoliennes et non les émergences. L'objet *Zone-bruit-réglementé* devra, par conséquent, être paramétré pour l'étude de la *Contrainte sur le bruit des éoliennes*.

## Onglet Terrain

L'étude du bruit avec NORD2000 prend en compte le type de terrain. Sa description se fait dans cet onglet, voir Figure 78.

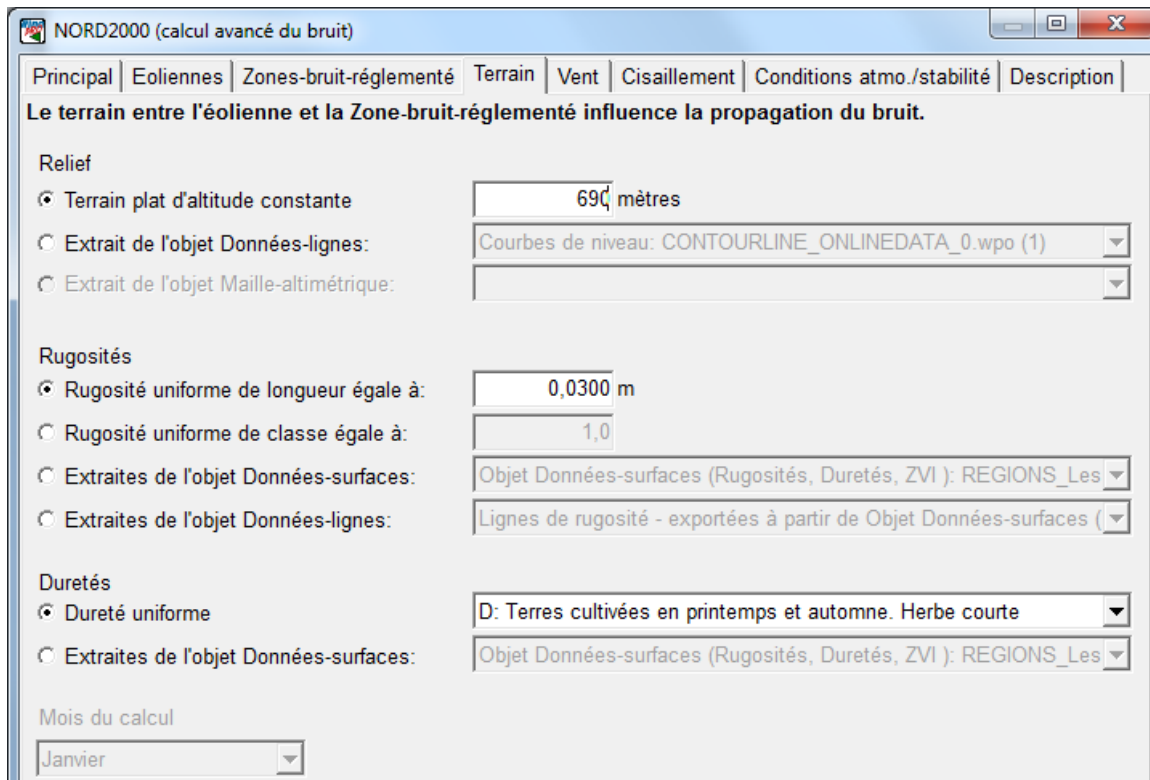


Figure 78

- **Relief :**

Les deux options suivantes sont proposées :

1. *Terrain plat d'altitude constante* : s'utilise quand la zone de l'étude est plane et horizontale. Si l'altitude présente dans les *Propriétés* des objets *Eolienne* et *Zone-bruit-réglementé* est différente de celle entrée ici, le résultat sera erroné.
2. *Extrait de l'objet Données-lignes, Extrait de l'objet Maille-altimétrique* : l'objet choisi sera utilisé pour décrire le relief entre les éoliennes et les points étudiés. Ce choix ne force pas les objets à prendre leur altitude de cet objet, pour garantir la cohérence, il est recommandé d'utiliser un seul objet.

NORD2000 utilise la description du relief pour faire les coupes de terrain entre les éoliennes et les points étudiés. De manière générale, plus la surface comprise entre le sol et le segment joignant l'éolienne au point étudié est grande moins l'atténuation du sol est importante. Le modèle de propagation prend également en compte les pentes du terrain.

- **Rugosités :**

Le frottement de l'air sur le sol réduit la vitesse de l'écoulement du vent sur une hauteur appelée couche limite. Dans cette couche limite le développement de vitesse du vent en fonction de la hauteur dépend de la rugosité du sol. Pour plus d'informations sur la rugosité reportez-vous à la section 3, Energie.

Les options suivantes sont proposées :

1. *Rugosité uniforme de longueur égale à* : s'utilise quand la rugosité est uniforme, elle exprimée par sa longueur z0.
2. *Rugosité uniforme de classe égale à* : s'utilise quand la rugosité est uniforme, elle exprimée par sa classe.
3. *Extraite de l'objet Données-surfaces* : quand cette option est cochée, l'information est extraite de l'objet *Données-surfaces* choisi. Pour plus d'information sur la mise en œuvre d'un objet *Données-surfaces* reportez-vous à la section 2, BASIS.
4. *Extraite de l'objet Données-lignes* : quand cette option est cochée, l'information est extraite de l'objet *Données-lignes* choisi. Pour plus d'information sur la mise en œuvre d'un objet *Données-lignes* reportez-vous à la section 2, BASIS.

Note : la rugosité est utilisée pour calculer le profil vertical du vent qui est utilisé dans le modèle de propagation ; cette description de la rugosité n'est pas utilisée pour le calcul des vitesses du vent à hauteur de moyeu des éoliennes.

- **Duretés :**

La dureté rend compte de la capacité du sol à absorber le bruit.

Les deux options suivantes sont proposées :

1. *Dureté uniforme* : s'utilise quand la dureté du sol est uniforme sur toute l'étendue de la zone étudiée, sa valeur est choisie indirectement via le menu déroulant associé.
2. *Extraite de l'objet Données-surfaces* : quand cette option est cochée, l'information est extraite de l'objet *Données-surfaces* choisi.

Dureté du sol (pour NORD2000)	Valeur
A Neige	12.5
B Forêts, bruyères	31.5
C Terres cultivées en été. Herbe haute	80
D Terres cult., print. et autom. Herbe courte	200
E Terres cultivées en hiver. Herbe rase	500
F Villes; sols gelés; sols rocheux	2000
G Eau, glace, béton, asphalte	20000

WindPRO utilise les 7 catégories de dureté définies dans « Plovsing, 2010 » et présentées dans la table ci-contre.

La dureté du sol peut varier sur la zone de l'étude où des lacs, des forêts, etc. peuvent se côtoyer. Dans ce cas la dureté doit être cartographiée.

A cet effet, un nouvel *Usage* a été ajouté à l'objet *Données-surfaces*. Voir Figure 79



Figure 79

Il peut être pratique d'utiliser le même objet pour la description de la rugosité et de la dureté.

Ainsi, après avoir défini les rugosités des *Types-de-surface* à utiliser, il faut *Modifier* leur description en leur associant une dureté, y compris pour la rugosité *PAR DEFAUT*. Voir Figure 80.

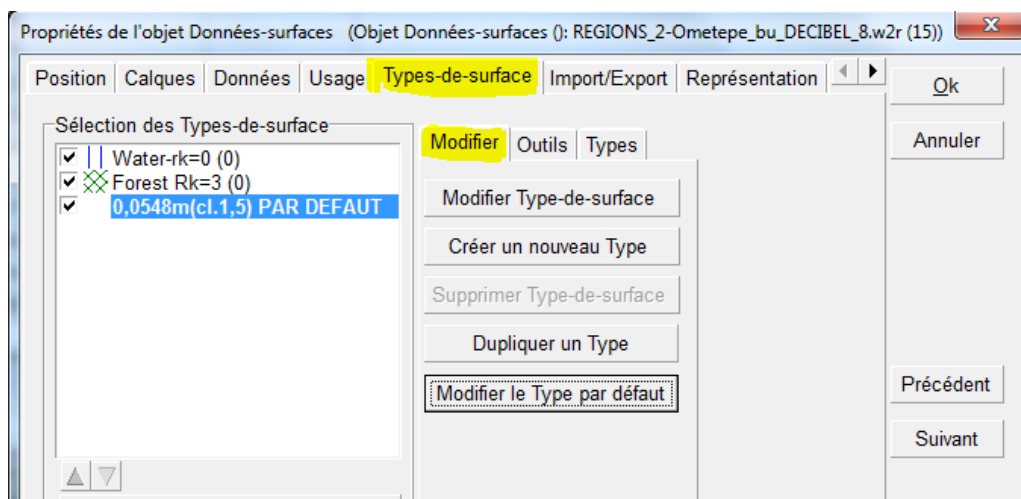


Figure 80



Pour chaque *Type-de-surface*, les changements au long de l'année peuvent être pris en compte en indiquant la *Dureté du sol* de chaque mois. Voir Figure 81.

	Valeur	Mois												
		Tous	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
A Neige	12.5	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
B Forêts, bruyères	31.5	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
C Terres cultivées en été. Herbe haute	80	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
D Terres cult., print. et autom. Herbe courte	200	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E Terres cultivées en hiver. Herbe rase	500	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
F Villes; sols gelés; sols rocheux	2000	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
G Eau, glace, béton, asphalte	20000	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Figure 81

Si les duretés ont été définies en fonction des mois, il faut indiquer le mois à utiliser par le calcul dans le menu *Mois du calcul*, voir Figure 78.

### Onglet Vent

C'est dans cet onglet que sont entrées la vitesse et direction du vent qui serviront à calculer le niveau de bruit des éoliennes. Voir Figure 82.

Figure 82

- *Le vent est uniforme sur toute l'étendue du parc :*

Cette option apparaît cochée par défaut. Ici, l'hypothèse est faite que la vitesse et la direction du vent sont les mêmes sur toute l'étendue du parc. Les valeurs correspondantes doivent être entrées dans les champs *Vitesse du vent (m/s) à la hauteur de* et *Direction du vent (deg. Horaire/nord)*.

En général les niveaux de bruit des éoliennes sont spécifiés pour des vitesses du vent données à 10 mètres de hauteur, conformément aux définitions utilisées dans la plupart des codes ; se pose alors la question : quelle est

la vitesse du vent à hauteur du moyeu des éoliennes ? La réponse à cette question se fait dans l'onglet *Cisaillement* présenté à la suite.

- *La vitesse du vent est donnée en un point de référence :*

Si la topographie est complexe le vent n'est pas uniforme sur toute l'étendue du parc. Dans ces conditions, le calcul d'un niveau de bruit – par exemple pour une vitesse de vent de 8m/s à 10m de hauteur - est impossible si on ne sait pas où ces conditions de vent sont spécifiées, s'agit-il du point étudié, du mât de mesures installé sur le parc ou d'une station météo voisine ?

En cochant cette option les menus suivants s'activent, voir Figure 83 :

*Point de référence* : ce menu permet de positionner la vitesse et la direction du vent dont les valeurs s'indiquent dans les champs *Vitesse du vent (m/s) à la hauteur de* et *Direction du vent (deg. Horaire/nord)*.

La position du *Point de référence* doit être matérialisée par un objet WindPRO quelconque qu'on sélectionne ensuite à l'aide de menu déroulant.

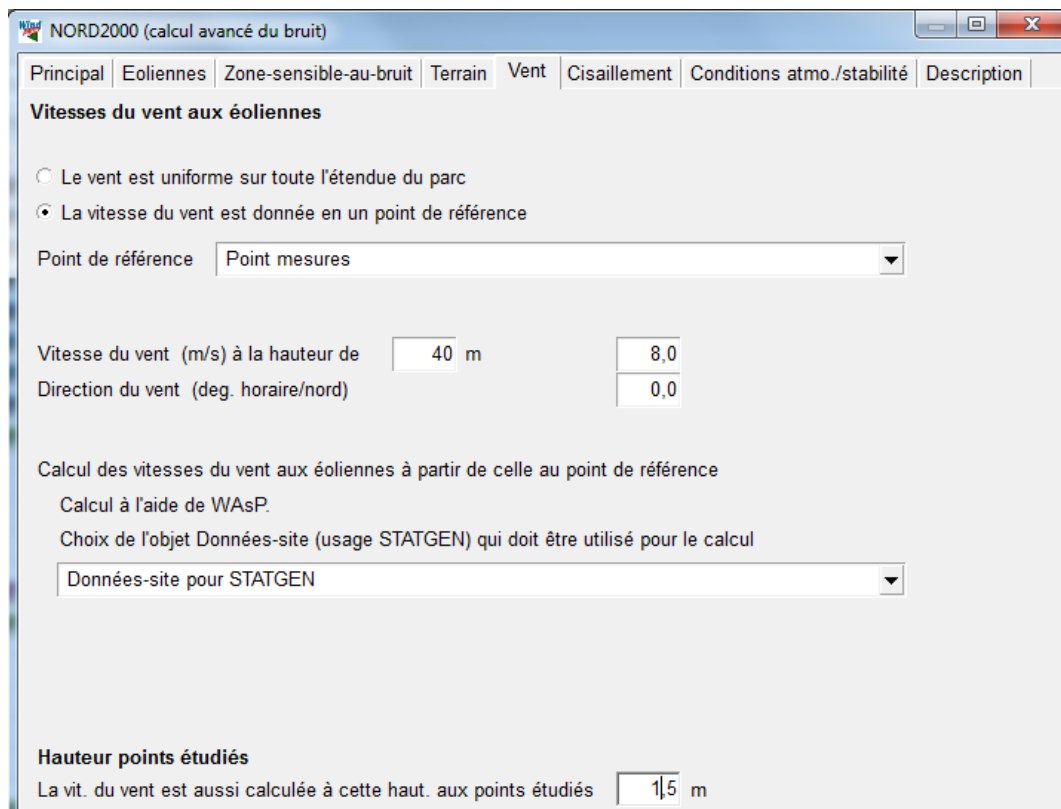


Figure 83

Le *Calcul des vitesses du vent aux éoliennes à partir de celle au point de référence* fait appel au modèle mis en œuvre par WAsP. Pour que ce calcul soit possible il faut :

1. Une licence WAsP
2. Une licence pour le module MODELES de WindPRO
3. Ajouter, au projet, un objet *Données-site* avec pour *Usage ...STATGEN* (la mise en œuvre de l'objet *Données-site* est expliquée dans la section 3, Energie)

Le bruit de chaque éolienne est ensuite établi à partir de la vitesse du vent calculée à la hauteur du moyeu de chaque éolienne.

**IMPORTANT :**

1. Les réductions de la vitesse du vent dues aux sillages des éoliennes ne sont pas prises en compte. Pour en tenir compte, il faut choisir l'option *Utilisation d'un fichier WiW*, voir 4.5.1.4. Quant à l'effet des sillages eux-mêmes sur le niveau de bruit des éoliennes, il reste encore un sujet d'étude (voir Madsen, et.al, 2011) et l'utilisation un fichier WiW reste à but expérimental.
2. Directivité du bruit des éoliennes : faute de communication (ou très pauvre) de la part des fabricants, on considère que les niveaux sonores des éoliennes ont été établis dans la direction du vent et que dans les autres directions leurs valeurs sont moindres.

- *Hauteur points étudiés :*

Dans ce champ on indique la hauteur à laquelle doivent être faits les calculs. Outre le niveau du bruit, la vitesse du vent est également calculée à cette hauteur.

### **Onglet Cisaillement**

L'extrapolation de la vitesse du vent à la hauteur du moyeu de chaque éolienne à partir de celle à la hauteur du *Point de référence* se fait en utilisant les valeurs du *Cisaillement*. La vitesse du vent à hauteur de moyeu servira à déterminer le niveau du bruit émis par l'éolienne.

Cet onglet propose diverses options pour calculer le *Cisaillement*, voir Figure 84.

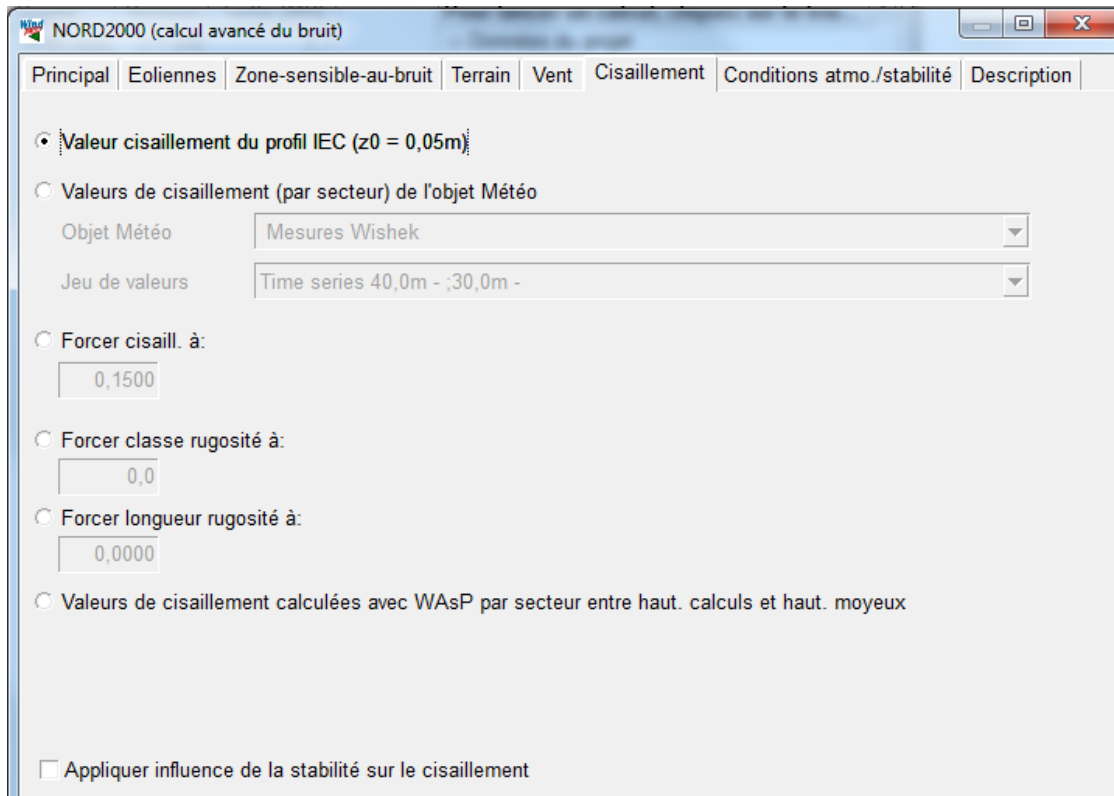


Figure 84

*Valeur cisaillement du profil IEC ( $z_0 = 0,05m$ )* est l'option proposée par défaut.

Comme indiqué antérieurement, les niveaux de bruit des éoliennes sont habituellement donnés en fonction de la vitesse du vent à 10m de hauteur et de la hauteur de moyeu. C'est le profil IEC qui est utilisé par les fabricants pour passer de la vitesse du vent à 10m de hauteur à la vitesse du vent à hauteur de moyeu qui détermine le bruit de l'éolienne.

Le profil IEC est celui donné par une rugosité du sol égale à 0,05 m.

*Valeurs de cisaillement (par secteur) de l'objet Météo.* Si des mesures du vent ont été faites dans la zone du parc et consignées dans un objet Météo, alors cette option permet d'utiliser les valeurs du cisaillement relevées sur le mât de mesure. Cette approche est plus représentative du cisaillement qu'une valeur estimée (la mise en œuvre de l'objet Météo est décrite dans la section 3, Energie).

*Forcer cisail. à :* permet d'entrer l'exposant de la loi puissance décrivant le cisaillement. Le même cisaillement est alors utilisé pour l'ensemble des machines du parc.

*Forcer classe de rugosité à :* cette option est équivalente à précédente mais ici le cisaillement est exprimé implicitement en donnant la classe de rugosité du sol (supposée uniforme).

*Forcer longueur de rugosité à :* cette option est strictement identique à la précédente mais ici la rugosité est exprimée par sa longueur.

*Valeurs de cisaillement calculées avec WAsP....* Si l'option WAsP a été choisie dans l'onglet *Vent* pour calculer les vitesses du vent à hauteur de moyeu, cette option s'impose de soi.

Si une autre option est choisie, WASP sera utilisé pour transposer, à la même hauteur, la vitesse du *Point de référence* à l'emplacement de chaque éolienne, puis l'extrapolation à hauteur de moyeu se fera avec le cisaillement de l'option choisie.

*Appliquer influence de la stabilité sur le cisaillement.* Des conditions stables ou instables de l'atmosphère se traduisent par des modifications très sensibles du cisaillement.

Cette option permet de prendre en compte les conditions de stabilité décrites dans l'onglet *Conditions atmo./stabilité* présenté à la suite.

### **Onglet Conditions atmo./stabilité**

Les conditions atmosphériques influencent la propagation du son.

Les calculs prennent en compte ces conditions et leur description se fait dans cet onglet. Voir Figure 85.

Figure 85

*Humidité relative* : exprime le taux d'eau dissoute dans l'air (100% = saturation).

*Température* : il faut préciser la hauteur, elle doit être exprimée en °Celsius.

*Paramètres de la stabilité* : la stabilité est décrite par des paramètres « exotiques » dont les plus importants sont l'*Inverse de la longueur de Monin-Obukov* et le *Profil de la température T\**.

Ces paramètres apparaissent quand *Options avancées* est cochée, ils sont modifiables en cochant *Paramétrage manuel*.

L'*Intensité de la turbulence du vent* est le rapport (en %) écart-type/moyenne des relevés des vitesses du vent effectués sur une durée de 10mn. Pour plus d'information reportez-vous à section 3, Energie.

L'*Intensité de la turbulence de la tp°* est définie de la même manière que pour le vent.

*E-type fluctuations du vent* est l'écart-type à partir duquel est calculée l'intensité de la turbulence du vent.

L'*Inverse longueur de Monin-Obukov* (1/m) rend compte de la stabilité. Des valeurs négatives indiquent des conditions instables se traduisant par un important brassage de l'air et des cisaillements faibles ; des valeurs positives indiquent des conditions stables avec peu de brassage de l'air des cisaillements importants.

Le *Profil de la température T\** est la pente du profil vertical de la température.

Ces paramètres étant difficile à évaluer, leurs valeurs ont été enregistrées pour 4 conditions atmosphériques typiques qui se définissent avec les boutons *Jour*, *Nuit*, *Sans nuages* et *Nuageux*.

Ces paramètres, qui influencent la propagation du bruit, sont variables dans le temps et les résultats rendent seulement compte d'une situation spécifique existant à un instant particulier.

Si les codes de la construction ou si la réglementation qui s'appliquent dans la région du projet indiquent la valeur de ces paramètres, il convient de les utiliser ici afin que les résultats soit plus représentatifs.

#### 4.5.1.2 Etendu (intervalles de vit. et dir. du vent)

Ce type de calcul permet de faire l'étude du bruit pour différentes combinaisons de vitesses et de directions du vent en une seule opération. Outre le confort apporté pour l'étude de situations multiples, ce calcul permet également de détecter la direction du vent la plus défavorable.

En effet, le point étudié peut être sous le vent par rapport à une éolienne, au vent par rapport à une autre ou à côté du vent par rapport à une troisième. Ainsi, le calcul du niveau du bruit au point étudié, pour une douzaine de directions bien choisies, permettra de connaître la direction du vent la plus défavorable.

Le choix du calcul *Etendu (intervalles de vit. et dir. du vent)* se fait dans le cadre *Type de calcul* de l'onglet *Principal*. Voir Figure 86.

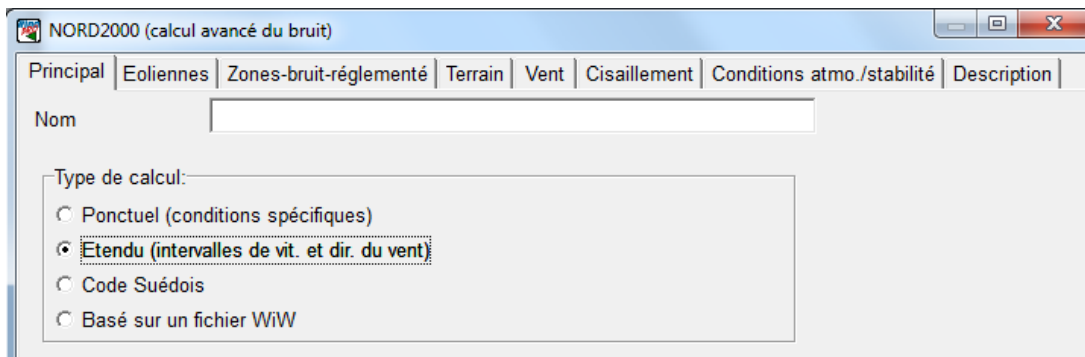


Figure 86

Dans la suite, la mise en œuvre du calcul est présentée en décrivant les différences par rapport au calcul *Ponctuel (conditions spécifiques)*.

#### Onglet Vent

La seule différence par rapport au calcul *Ponctuel* se trouve sous l'onglet *Vent*. Voir Figure 87.

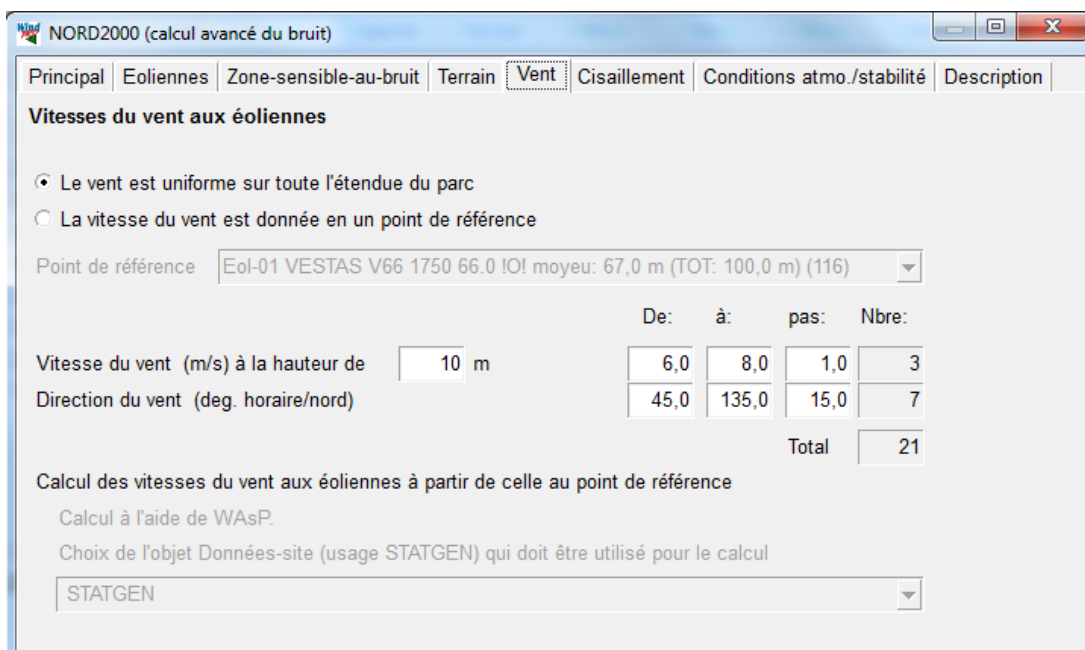


Figure 87

Les *Vitesses du vent* et les *Directions du vent* à combiner s'indiquent en définissant les intervalles et les incréments dans les champs *De*, *à*, *pas*. Le champ *Total* sous la colonne *Nbre* indique le nombre de combinaisons résultant des choix effectués.

### 4.5.1.3 Code suédois

La réglementation suédoise, dans son édition du 20 avril 2010, indique, sans autre précision, dans sa partie « Ljud från vindkraftverk » du « Naturvårdsverket » qu'il est possible d'utiliser NORD2000 pour calculer le bruit produit des éoliennes. On suppose donc que NORD2000 doit être utilisé dans le cadre réglementaire suédois.

Dans WindPRO, le choix du calcul *Code suédois* verrouille les valeurs des paramètres du « Ljud från vindkraftverk » mais laisse le libre choix des valeurs des paramètres qui n'existent pas dans la réglementation.

#### Onglets Vent et Cisaillement

La réglementation suédoise impose que les niveaux de bruit soient calculés dans la direction du vent en aval des éoliennes (sous le vent). A cet effet, le calcul *Code Suédois* lance automatiquement un calcul *Etendu* (voir 4.5.1.2) et extrait le niveau de bruit le plus fort pour chacun des points étudiés.

Les niveaux de bruit émis par les éoliennes sont établis à partir d'une vitesse du vent égale à 8 m/s à 10 m de hauteur, l'extrapolation de cette vitesse à hauteur de moyeu est faite en utilisant le profil *IEC* ( $z_0 = 0,05m$ ).

Le « Ljud från vindkraftverk » n'autorise pas l'utilisation de WAsP pour calculer la vitesse du vent à hauteur de moyeu.

Par conséquent, dans l'onglet *Vent* apparaît seulement la *Hauteur du point étudié* automatiquement prédéfini à 1,5m, et dans l'onglet *Cisaillement* apparaît seulement l'option *Valeur du cisaillement du profil IEC* ( $z_0 = 0,05m$ ).

#### Onglet Conditions atmo./stabilité

Les paramètres de cet onglet n'existent pas dans le « Ljud från vindkraftverk ». Leur réglage est laissé à l'appréciation de l'utilisateur.

### 4.5.1.4 Basé sur un fichier WiW

Ce calcul est proposé à titre expérimental.

On indique la vitesse du vent non perturbé à hauteur de moyeu, WindPRO calcule les réductions de la vitesse du dans les sillages et détermine les niveaux de bruit correspondants émis par les éoliennes.

Pour effectuer ce calcul, il faut préalablement produire le fichier WiW (Wind speed inside Wind farm) du parc étudié. Le fichier WiW est produit par le calcul PARK paramétré comme suit, voir Figure 88 :

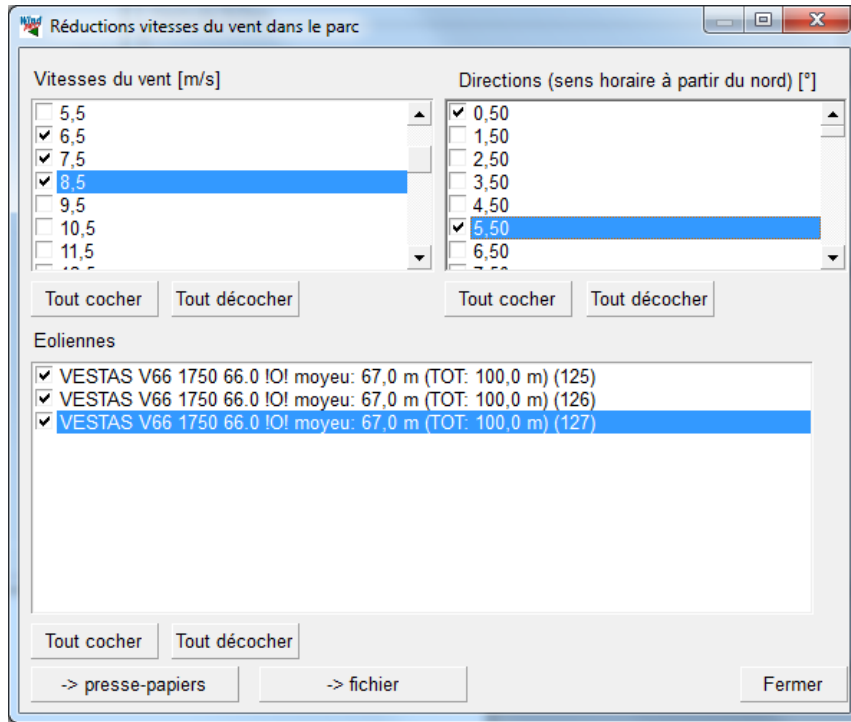
- Cocher *Activer les options avancées*,
- Choisissez un *Modèle de turbulence* autre que *N.O. Jensen (Risø/EMD)*,
- Cochez *Réductions vit. du vent dans le parc*.

Figure 88

Quand le calcul est terminé, faites un clic droit sur le titre du rapport et dans le menu contextuel choisissez l'option *Résultats calculs -> fichiers*.

Dans la fenêtre qui s'ouvre, voir Figure 89, cliquez sur *Enregistrer sous...*, dans le cadre *Réductions vit. du vent dans le parc*.

Figure 89



Dans la fenêtre de la Figure 90, choisissez les *Vitesses du vent* (non perturbé), les *Directions* et les *Eoliennes*, puis cliquez sur -> *fichier* pour enregistrer le fichier .WiW.

Note : ce calcul ne fait pas appel à WAsP. Par conséquent, le calcul est fait avec les mêmes vitesses du vent données pour toutes les éoliennes.

Figure 90

Le calcul *Basé sur un fichier WiW* est un calcul *Etendu* où les vitesses et les directions du vent sont données dans un fichier.

Dans ce calcul, l'onglet *Vent* n'est plus présent car les données sont introduites via le fichier .WiW.



## 4.5.2 Rapports

Les rapports produits par NORD2000 conservent la structure des rapports produits par WindPRO. La synthèse des résultats est présentée dans la partie *Principaux résultats*, les données de départ et le paramétrage du calcul sont présentées dans la partie *Hypothèses de calcul*, l'analyse des résultats est présentée dans les parties *Résultats* détaillés et suivantes et le rapport se termine par une *Carte* (la présente version de NORD2000 ne permet pas d'afficher les niveaux de bruit sous forme d'isophones sur carte comme DECIBEL).

La suite présente le rapport produit par le calcul *Ponctuel*.  
Pour les autres calculs seules les différences avec le rapport *Ponctuel* sont présentées.

### 4.5.2.0 Calcul Ponctuel (conditions spécifiques)

#### *Principaux résultats*

Comme pour tous les rapports produits par WindPRO cette partie est une synthèse. Dans la partie supérieure, les *Hypothèses* rappellent les données de départ et le paramétrage du calcul. Voir Figure 91.

- *Stabilité atmosphérique*. Ce paragraphe liste les conditions climatiques dont les deux paramètres essentiels de la stabilité  $T^*$  et l'*Inverse de la longueur de Monin-Obukov*.
- *Type de terrain*. Ce paragraphe liste la source des données utilisées.
- *Définition de la vitesse du vent*. Ce paragraphe indique le point où la vitesse et la direction du vent sont données, ainsi que manière de faire les extrapolations verticale et si elle corrigées avec la stabilité.

<b>Hypothèses</b>	
<b>Stabilité atmosphérique</b>	
Humidité relative	50,0 %
Température de l'air	15,0 °C
Hauteur mesure tp°	2,0 m
Paramètres de la stabilité	Nuit; Sans nuage
Les paramètres suivants ont été définis par l'utilisateur:	
Inverse long. Monin-Obukov	0,0120
Profil de la température T*	0,0520
<b>Type de terrain</b>	
Altitudes extraites de l'objet Données-lignes suivant:	
Orographie	
Rugosités extraites de l'objet Données-surfaces suivant:	
Objet Données-surfaces (Rugosités): RUGOSITÉ_REGIONS_Wishek_bu_0.w2r (1)	
Duretés extraites de l'objet Données-surfaces suivant:	
Objet Données-surfaces (): REGIONS_Wishek_bu_5.w2r (21)	
Choix du mois pour le calcul	Février
<b>Définition de la vitesse du vent</b>	
Vit. vent à 40 m au point du site suivant:	
STATGEN	
(UTM WGS84 Fuseau: 14 Est: 451 133 Nord: 5 110 917)	
Vit. vent	8,0 m/s
Dir. vent	0,0 Deg
Hauteur points étudiés	3,5 m
<b>Extrapolations verticales de la vit. du vent faites en utilisant:</b>	
Cisaillement forcé à: 0,1500	
<b>Correction de stabilité utilisée</b>	

Figure 91

A la suite sous *Eoliennes* sont listées les machines intervenant dans le calcul, voir Figure 92. Pour chaque éolienne la vitesse du vent à hauteur de moyeu et le niveau de bruit correspondant sont indiqués

Eoliennes														
UTM WGS84 Fuseau: 14				Type d'éolienne				Données de bruit						
Est	Nord	Z	Description	Valide	Fabricant	Modèle	Puiss. nominale [kW]	Diamètre rotor [m]	Haut. moyeu [m]	Etabri par	Nom	Vit. vent [m/s]	LwA,ref [dB(A)]	
1	450 602	5 110 055	679,7	VESTAS V...	Non	VESTAS	V66-1 750	1 750	66,0	67,0	EMD	Level 0 - - 106.5dB(A) - 11-2008	9,9	105,2
2	450 629	5 109 740	685,8	VESTAS V...	Non	VESTAS	V66-1 750	1 750	66,0	60,0	EMD	Level 0 - - 106.5dB(A) - 11-2008	9,4	104,5
3	450 643	5 109 419	685,8	VESTAS V...	Non	VESTAS	V66-1 750	1 750	66,0	67,0	EMD	Level 0 - - 106.5dB(A) - 11-2008	9,9	105,2

Figure 92

Enfin *Résultats des calculs* présente la synthèse des résultats qui sont détaillés dans la suite du rapport, voir Figure 93. La synthèse présente :

- La position des points étudiés,
- La vitesse du vent indiquée est celle indiquée dans le paragraphe *Définition de la vitesse du vent* et non celle aux emplacements et aux hauteurs des points étudiés,
- Les niveaux du bruit des éoliennes aux points étudiés.

Niveaux sonores							
Zone-sensible-au-bruit				Niveaux sonores			
N°	Nom	Est	Nord	Z	Haut. point étudié [m]	Vit. vent [m/s]	Bruit des éol. [dB(A)]
	A Ferme sud	450 096	5 108 250	684,2		3,5	42,8
	B Ferme nord	450 059	5 109 222	678,4		3,5	46,1

Figure 93

### Hypothèses de calcul

Cette partie du rapport contient :

- les *Hypothèses* présentées dans la partie *Principaux résultats*,
- des informations complémentaires sur les éoliennes parmi lesquelles les niveaux de bruit en fonction de la vitesse du vent,
- des informations complémentaires sur les points étudiés.

### Résultats détaillés

Voir Figure 94.

Les détails sont groupés par point étudié. Dans la Figure 94, les détails se rapportent au point « Ferme sud ». Chaque ligne se rapporte à une machine.

La 1<sup>ère</sup> colonne donne le n° de l'éolienne, repris de la partie *Principaux résultats*.

La 2<sup>ème</sup> colonne donne la distance entre l'éolienne et le point étudié.

La 3<sup>ème</sup> colonne donne la vitesse du vent au *Point de référence*.

La 4<sup>ème</sup> colonne donne la direction du vent au *Point de référence*.

La 5<sup>ème</sup> colonne donne la vitesse du vent à la hauteur du moyeu de l'éolienne.

La 6<sup>ème</sup> colonne, **en gras**, donne le niveau de bruit de l'éolienne au point étudié. Les 8 colonnes suivantes donnent la décomposition en bandes d'octave de cette valeur.

La colonne *Source de bruit* donne le niveau du bruit émis par l'éolienne à la vitesse du vent indiquée dans la 5<sup>ème</sup> colonne. Les 8 colonnes suivantes donnent la décomposition en bandes d'octave de cette valeur.

La *Somme* donne le bruit total au point étudié rapporté dans la partie *Principaux résultats*.

Zone-sensible-au-bruit: A Ferme sud																						
Eoliennes N°	Distance [m]	Vit. vent [m/s]	Dir. vent [°]	Vit. vent à hauteur de moyeu [m/s]	Niveau sonore [dB(A)]	Bandes d'octave								Source de bruit LwA,ref [dB(A)]	Bandes d'octave							
						63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	1 875	8,0	0,0	9,9	<b>24,27</b>	3,2	16,9	19,4	19,6	15,7	2,9	-30,4	-112,5	105,14	86,7	93,7	97,1	99,7	99,5	96,6	91,8	82,3
2	1 583	8,0	0,0	9,4	<b>25,86</b>	6,8	19,2	20,3	21,0	17,7	6,1	-23,6	-99,9	104,49	86,1	93,1	96,5	99,1	98,9	96,0	91,2	81,7
3	1 291	8,0	0,0	9,9	<b>29,05</b>	11,8	21,6	23,9	23,9	21,3	11,0	-15,0	-83,6	105,14	86,7	93,7	97,1	99,7	99,5	96,6	91,8	82,3
4	971	8,0	0,0	9,9	<b>32,06</b>	13,5	23,7	26,8	27,0	25,0	16,3	-5,5	-63,4	105,14	86,7	93,7	97,1	99,7	99,5	96,6	91,8	82,3
5	691	8,0	0,0	10,6	<b>36,55</b>	16,0	27,9	30,3	32,0	30,0	22,7	4,9	-42,0	106,05	87,6	94,6	98,0	100,6	100,4	97,5	92,7	83,2
6	452	8,0	0,0	10,6	<b>40,66</b>	19,8	32,0	33,4	36,2	34,6	28,7	14,5	-21,7	106,05	87,6	94,6	98,0	100,6	100,4	97,5	92,7	83,2
<b>Somme</b>					<b>42,84</b>																	

Figure 94

## Carte

Cette dernière partie montre les emplacements des éoliennes et des points étudiés sur le fond de carte choisi. Dans la présente version, contrairement à DECIBEL, il n'est pas possible d'afficher les niveaux de bruit sous forme d'isophones.

### 4.5.2.1 Etendu (intervalles de vit. et dir. du vent)

#### Principaux résultats

Dans les *Hypothèses*, les champs relatifs à la vitesse et la direction du vent ne sont pas présents car l'étude porte sur des intervalles.

Les *Résultats des calculs* se présentent de la manière suivante :

Résultats des calculs									
Niveaux sonores									
Zone-sensible-au-bruit		UTM WGS84 Fuseau: 14			Niveaux sonores				
N°	Nom	Est	Nord	Z	Haut. point étudié	Vit. vent	Bruit des éol.		
				[m]	[m]	[m/s]	[dB(A)]		
	A Ferme sud	450 096	5 108 250	684,2		1,5	6,0	30,9	
	A						8,0	37,3	
	B Ferme nord	450 059	5 109 222	678,4		1,5	6,0	29,5	
	B						8,0	35,9	
Niveaux sonores									
Zone-sensible-au-bruit		UTM WGS84 Fuseau: 14			Niveaux sonores				
N°	Nom	Est	Nord	Z	Haut. point étudié	Vit. vent	Dir.	Bruit des éol.	
				[m]	[m]	[m/s]	[°]	[dB(A)]	
	A Ferme sud	450 096	5 108 250	684,2		1,5	6,0	0,0	30,9
	A						6,0	30,0	30,9
	A						6,0	60,0	30,8
	A						6,0	90,0	30,7
	A						6,0	120,0	30,6
	A						6,0	150,0	30,5
	A						6,0	180,0	30,5
	A						6,0	210,0	30,5
	A						6,0	240,0	30,6
	A						6,0	270,0	30,7
	A						6,0	300,0	30,8
	A						6,0	330,0	30,9

Figure 95

Le paragraphe supérieur est un résumé qui présente pour chacun des points étudiés et pour chacune des vitesses de l'intervalle étudié le niveau le plus fort calculé.

Le paragraphe inférieur détaille pour chacun des points étudiés les niveaux calculés pour chaque couple (vit., dir.) du vent.

Voir Figure 95.

#### Résultats détaillés

Cette partie présente la contribution de chaque éolienne aux niveaux présentés dans le paragraphe inférieur des *Résultats des calculs*.

Cette partie peut comporter plusieurs pages si l'étude fait intervenir un nombre important d'éoliennes, de vitesses et de directions.

**Analyse f(vit., dir,)du vent**

Cette partie présente les *Résultats des calculs* de la partie *Principaux résultats* sous formes de matrice et de graphiques, voir Figure 96

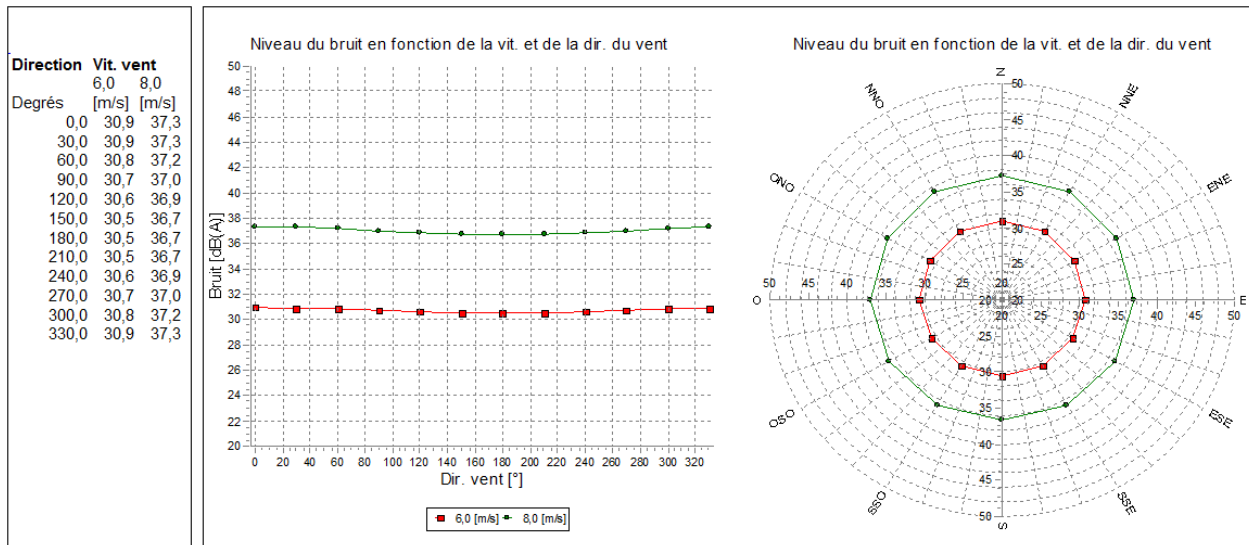


Figure 96

---

### 4.5.3 Bibliographie

Plovsing, B. and Søndergaard, B., PSO-07 F&U project no. 7389, Noise and energy optimization of wind farms, DELTA Acoustics, Report AV 1238/09, 2009.

Madsen, K.D., Plovsing, B, Sørensen, T, Madsen, H.A. and Bertagnolio, F, EFP07-II, Project no. A580841, Noise emission from Wind turbines in wake, DELTA Acoustics, Report AV 110/11, 2011.

Sørensen, T., Nielsen, P., Villadsen, J., Plovsing, P., Implementation of the Nord2000 Model for Wind Turbines: New Possibilities for Calculating Noise Impact, 3<sup>rd</sup> International Conference on Wind Turbine Noise, 17<sup>th</sup>-19<sup>th</sup> June 2009, Aalborg, Denmark.

Plovsing, B: Proposal for a Nordtest Method: Nord2000 – Prediction of Outdoor Sound Propagation, DELTA Acoustics Report AV 1106/07, 2007, revised 2010

Plovsing, B. and Søndergaard, B., Prediction of Noise from Wind Farms with Nord2000. Part 1, 3<sup>rd</sup> International Conference on Wind Turbine Noise, 17<sup>th</sup>-19<sup>th</sup> June 2009, Aalborg, Denmark.

Ljud från Vindkraftverk, Revised version of report 6241, Naturvårdsverket, 2010.

Eurasto, R. NORD2000 for road traffic noise prediction. Weather classes and statistics, No. VTT-R-02530-06, VTT Technical Research Centre of Finland, 2006.

