

8. OPTIMISATION – Productible et bruit

8.0 Introduction et guide	470
8.0.0 Introduction	470
8.0.1 Guide des étapes à suivre	471
8.0.1.0 A) Optimisation du productible basée sur une disposition libre des éoliennes (terrain complexe)	471
8.0.1.1 B) Optimisation du productible basée sur une disposition régulière des éoliennes (terrain plat ou offshore).....	471
8.0.1.2 C) Optimisation du bruit basée sur le bridage et l'arrêt des éoliennes.....	471
8.0.1.3 D) Optimisation A) suivie de l'optimisation C)	472
8.1 Description	473
8.1.0 Méthodes de calcul.....	473
8.1.1 Objets utilisés par le module OPTIMISATION	474
8.1.1.0 Objet Aire-parc.....	474
8.1.1.1 Objet Parc-géométrique	481
8.1.1.2 Réalisation de la disposition optimisée	485
8.1.2 Optimisation du productible basée sur une disposition régulière des éoliennes (option B)	486
8.1.3 Optimisation du productible basée sur une disposition libre des éoliennes (option A)	490
8.1.3.0 Paramétrage du calcul.....	490
8.1.3.1 Contraintes d'optimisation	493
8.1.3.2 Utilisation de la fenêtre de Contrôle de l'OPTIMISATION.....	493
8.1.3.3 Exemple d'optimisation.....	495
8.1.3.4 Rapport produit par le module OPTIMISATION	497
8.1.4 Optimisation du bruit basée sur le bridage et l'arrêt des éoliennes (option C).	498
8.1.4.5 Bridage des éoliennes	498
8.1.4.6 Zones-bruit-réglementé	499
8.1.4.7 Paramétrage du calcul.....	500
8.1.5 Optimisation A) suivie l'optimisation C) (option D)	502

8.0 Introduction et guide

8.0.0 Introduction

Quelle est la disposition optimale pour un parc éolien ?

Maximaliser les profits tout en gardant à l'esprit la préservation de l'environnement sera en général la meilleure réponse qui pourra être donnée à cette question.

Mais cette formulation de la réponse soulève à son tour d'autres questions.

Qu'est-ce que maximaliser les profits ?

Ici, de nombreux facteurs qui dépendent du temps interviennent : retour sur investissement (RSI), valeur actuelle nette (VAN), évolution des prix de l'énergie, évolution des coûts d'exploitation, etc.

D'autres facteurs sont aussi à considérer, par exemple la taille maximale des éoliennes : celle-ci ne dépend pas seulement des capacités de levage maximales disponibles, d'autres paramètres interviennent également.

Etc.

Comment estimer si la préservation de l'environnement a été prise suffisamment en compte ?

Ici, il faut inclure l'impact perçu par la population ; par exemple, gagner un peu plus sur le plan économique, au détriment de l'impact visuel, risque de créer un rejet du projet.

Par ailleurs, la disposition des éoliennes d'un parc est aussi sujette aux contraintes foncières, aux contraintes imposées par le type de machines utilisé, etc.

Comme on le voit de nombreuses contraintes interviennent qui rendent complexe la recherche de la solution optimale.

Par conséquent, le module OPTIMISATION a été conçu pour être le plus flexible possible de façon à ne pas introduire à son tour des contraintes supplémentaires pour l'utilisateur.

Dans la présente version, WindPRO propose deux types d'optimisation :

- L'optimisation de la disposition des éoliennes pour obtenir le productible maximal.
- L'optimisation des bridages pour obtenir le productible maximal tout en respectant les contraintes de bruit pour une disposition donnée des éoliennes.

Avec WindPRO, les opérations d'optimisation se font à partir :

- des contraintes d'optimisation (*distance entre éoliennes, aires interdites*, etc.) qui se définissent dans l'objet *Aire-parc*.
- d'une carte des ressources éoliennes couvrant la zone du parc. Elle peut être importée ou calculée avec le module MODELE RESSOURCE.
- d'algorithmes d'optimisation.

L'interface avec l'utilisateur se fait via une fenêtre spécifique permettant d'examiner les résultats des différents essais d'optimisation effectués.

Les algorithmes de la présente version permettent de faire les optimisations suivantes :

- *A) Optimisation du productible basée sur une disposition libre des éoliennes* : l'algorithme détermine les meilleurs emplacements.
- *B) Optimisation du productible basée sur une disposition régulière des éoliennes* : l'algorithme détermine les meilleurs emplacements tout en respectant le modèle de disposition géométrique défini par l'utilisateur, cela concerne principalement les parcs offshore.
- *C) Optimisation du bruit basée sur le bridage et l'arrêt des éoliennes* : pour une disposition déterminée, l'algorithme calcule les bridages (ou l'arrêt) des éoliennes donnant le productible maximal tout en respectant les contraintes de bruit.
- *D) Optimisation A) suivie de l'optimisation C)* : l'algorithme permet de réaliser l'optimisation A) suivie de l'optimisation B) pour mettre en évidence la réduction de productible résultant des bridages.

8.0.1 Guide des étapes à suivre

8.0.1.0 A) Optimisation du productible basée sur une disposition libre des éoliennes (terrain complexe)

- Créez un objet *Aire-parc* pour délimiter la zone du parc et introduisez les contraintes (*Nombre d'éoliennes*, *Distance entre éoliennes* et *Puissance*) pour chacune des surfaces définies dans l'objet. Si nécessaire, ajoutez des *Aires interdites* aux éoliennes ou des *Zones tampons* entre les machines et les routes ou les habitations, etc.
- Calculez une carte de ressources éoliennes avec le module MODELE RESSOURCE (voir section 3) pour la zone considérée ou utilisez un fichier .rsf existant.
- Vous pouvez visualiser le fichier .rsf à l'aide d'un objet *Calque-résultat*.
- Démarrez le calcul OPTIMISATION et sélectionnez l'option A) *Optimisation basée sur une disposition libre des éoliennes*.
- Faites le paramétrage du calcul.
- Si une disposition est déjà présente, vous pouvez *Calculer le productible* à partir de la fenêtre *Contrôle de l'OPTIMISATION*. Si vous souhaitez optimiser la disposition des éoliennes présentes, assurez-vous que l'option *Autoriser la création de nouvelles éoliennes* n'est pas cochée. S'il n'y a aucune disposition n'est présente, assurez-vous que l'option *Autoriser la création de nouvelles éoliennes* est cochée avant de démarrer l'*Optimisation grossière du productible*.
- Pour affiner la disposition ainsi obtenue, lancez l'*Optimisation fine du productible*. La durée du calcul peut être importante si votre projet comporte de nombreuses machines.
- Retouchez manuellement la disposition si vous pensez qu'elle n'est pas optimale, répétez *Calculer le productible*, si vous ne constatez pas d'amélioration rappelez la disposition calculée par WindPRO.
- La génération du rapport est lancée en quittant la fenêtre *Contrôle de l'OPTIMISATION*.

8.0.1.1 B) Optimisation du productible basée sur une disposition régulière des éoliennes (terrain plat ou offshore)

- Créez un objet *Aire-parc* pour délimiter la zone du parc et introduisez les contraintes (*Nombre d'éoliennes* et *Puissance*) pour chacune des surfaces définies dans l'objet. Si nécessaire, ajoutez des *Aires interdites* aux éoliennes ou des *Zones tampons* entre les machines et les routes ou les habitations, etc.
- Calculez une carte de ressources éoliennes avec le module MODELE RESSOURCE (voir section 3) pour la zone considérée ou utilisez un fichier .rsf existant.
- Vous pouvez visualiser le fichier .rsf à l'aide d'un objet *Calque-résultat*.
- Créez un objet *Parc-géométrique* et choisissez une des dispositions géométrique prédéfinies. Ne cliquez pas sur l'option *Réaliser* dans le menu contextuel de l'objet.
- Démarrez le calcul OPTIMISATION et sélectionnez l'option B) *Optimisation basée sur une disposition régulière des éoliennes*.
- Dans la fenêtre *Contrôle de l'OPTIMISATION*, choisissez les paramètres à optimiser, définissez leur intervalle de variation puis lancez l'*Optimisation fine*.
- Retouchez manuellement la disposition si vous pensez qu'elle n'est pas optimale, répétez *Calculer le productible*, si vous ne constatez pas d'amélioration rappelez la disposition calculée par WindPRO.
- Une fois l'optimisation terminée, revenez à l'objet *Parc-géométrique* et dans le menu contextuel cliquez sur l'option *Réaliser*.
- La génération du rapport est lancée en quittant la fenêtre *Contrôle de l'OPTIMISATION*.

8.0.1.2 C) Optimisation du bruit basée sur le bridage et l'arrêt des éoliennes

- Créez un objet *Aire-parc* pour délimiter la zone du parc et introduisez les contraintes (*Nombre d'éoliennes* et *Puissance*) pour chacune des surfaces définies dans l'objet. Si nécessaire, ajoutez des *Aires interdites* aux éoliennes ou des *Zones tampons* entre les machines et les routes ou les habitations, etc.
- Introduisez les contraintes de bruit à l'aide d'objets *Zone-bruit-réglé* (voir section 4).
- Sélectionnez, pour chaque type de machine, les différents bridages qui pourront être utilisés.
- Choisissez le *Modèle de calcul du bruit*.

- Dans la fenêtre *Contrôle de l'OPTIMISATION* lancez *Optimisation du bruit*.
- Si aucune disposition n'est présente vous pouvez utiliser la fonction *Autocréation d'éoliennes* de la fenêtre *Contrôle de l'OPTIMISATION*, pour cela cochez, auparavant, l'option *Autoriser la création de nouvelles éoliennes* et choisissez un modèle dans la bibliothèque.
- Une autre manière de procéder consiste à utiliser la fonction *Peupler d'éoliennes* de l'objet *Aire-parc* et à lancer l'*Optimisation du bruit* qui éliminera les machines qui rendent impossible le respect des contraintes de bruit.
- La génération du rapport est lancée en quittant la fenêtre *Contrôle de l'OPTIMISATION*.

8.0.1.3 D) Optimisation A) suivie de l'optimisation C)

- Suivez les étapes préparatoires aux optimisations A) et C).
- Quand cette option est choisie la fenêtre *Contrôle de l'OPTIMISATION* permet de lancer une *Optimisation grossière du productible* ou une *Optimisation fine du productible* et de poursuivre par une *Optimisation du bruit* afin de rendre la disposition compatible avec les contraintes de bruit. Vous pouvez ainsi estimer la réduction du productible résultant des bridages et le coût correspondant.

8.1 Description

8.1.0 Méthodes de calcul

Le module OPTIMISATION de WindPRO propose trois méthodes fondamentalement différentes :

A) – Méthode basée sur une disposition libre des éoliennes : les éoliennes seront disposées de façon à obtenir le productible maximal. Les *Contraintes d'optimisation* sont définies dans les *Propriétés des Surfaces* de l'objet *Aire-parc* : *Puissance*, *Nombre d'éoliennes* et *Distance entre les éoliennes*, *Aires interdites* et *Zones-tampons*.

La carte des ressources éoliennes (fichier .rsf) qui servira à l'optimisation devra être calculée pour les différentes hauteurs de moyeu des éoliennes et pour l'ensemble de la zone du parc avec une résolution suffisante (10m à 25m habituellement).

Dans le paramétrage du calcul, vous pouvez choisir d'optimiser les éoliennes déjà créées ou permettre à WindPRO d'effacer toutes les éoliennes et d'en créer de nouvelles. La première option permet de faire une optimisation avec différents types d'éoliennes et différentes hauteurs de moyeu. La deuxième option, après avoir défini un type d'éolienne et une hauteur de moyeu, laisse WindPRO créer et placer au mieux le nombre maximal d'éoliennes tout en respectant les contraintes définies dans l'objet *Aire-parc*.

Trois niveaux d'optimisation sont proposés :

- *Autocréation des éoliennes* : WindPRO placera le plus grand nombre d'éoliennes possibles dans chaque surface définie dans l'objet *Aire-parc*. La première éolienne est placée dans un « coin » de la surface, la suivante est placée au premier endroit disponible respectant la *Distance entre les éoliennes* définie dans l'objet *Aire-parc*, etc.
- *Optimisation grossière du productible* : WindPRO recherche dans la carte des ressources éoliennes l'endroit le plus venté et y place la première machine, la deuxième machine est placée au deuxième endroit le plus venté et ainsi de suite. Les effets des sillages ne sont pas pris en compte pour le placement des machines.
Le placement des éoliennes se fait en utilisant la maille de la carte de ressources éoliennes ou une maille définie par l'utilisateur, au choix.
- *Optimisation fine du productible* : dans ce cas WindPRO tient compte des effets des sillages. L'optimisation commence de manière identique à la précédente mais dès que la deuxième machine est placée WindPRO remplace la première pour tenir compte du sillage de la deuxième. Chaque fois qu'une éolienne est placée toutes les éoliennes antérieurement placées sont repositionnées de manière à obtenir le meilleur rendement du parc.

B) – Méthode basée sur une disposition régulière des éoliennes : les machines sont disposées de manière géométrique. L'objet *Parc-géométrique* permet de choisir le type de disposition (*Rangées parallèles*, *Arcs de même rayon*, *Arcs de même centre* et *Alignements radiaux*). Une fois la disposition créée à l'aide de l'objet *Parc-géométrique*, l'optimisation peut être faite manuellement ou automatiquement.

Optimisation manuelle : vous pouvez changer l'orientation de la disposition, l'étirer, modifier les distances entre les éoliennes, etc. Une fois la disposition la plus favorable déterminée, appelez le menu contextuel de l'objet *Parc-géométrique* et cliquez sur l'option *Réaliser* afin de créer un nouveau calque contenant cette disposition. Si un objet *Aire-parc* est associé à l'objet *Parc-géométrique*, seules les éoliennes contenues dans les surfaces définies dans l'objet *Aire-parc* seront créées dans le nouveau calque. Vous pouvez répéter cette opération plusieurs fois à partir du même objet *Parc-géométrique* afin de pouvoir comparer rapidement les productibles, les nuisances sonores, etc. de plusieurs dispositions.

Optimisation automatique : après avoir défini un type de disposition à l'aide de l'objet *Parc-géométrique*, démarrez le calcul OPTIMISATION, sélectionnez l'option *B) Optimisation basée sur une disposition régulière des éoliennes*. Notez que l'on peut indiquer le rendement minimal voulu, dans ces conditions la disposition optimale n'est proposée que si son rendement dépasse le seuil indiqué. Dans la fenêtre *Contrôle de l'OPTIMISATION*, choisissez les paramètres à optimiser, définissez leur intervalle de variation puis lancez l'*Optimisation fine du productible* pour obtenir la disposition qui donnera le meilleur productible.

C) – Optimisation du bruit basée sur le bridage et l'arrêt des éoliennes : les informations de départ nécessaires à l'optimisation sont :

- La disposition des éoliennes,
- La liste des niveaux de bridage, parmi ceux disponibles, qui devront être utilisés. Les niveaux de bridage se déterminent en choisissant les courbes de puissance dans les *Propriétés* de l'objet *Eolienne*, *Level 0*

est la courbe de puissance standard, Level 1 est celle introduisant une première réduction du bruit, Level 2 est celle introduisant une réduction supplémentaire, etc.

- Des objets *Zone-bruit-réglémenté*, décrivant les contraintes de bruit à respecter, placés aux endroits où il y a risque de nuisance.
- Le choix du *Modèle de calcul du bruit* (voir section 4).

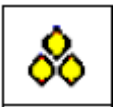
A partir de ces informations WindPRO applique l'algorithme suivant :

- Toutes les éoliennes étant bridées au maximum, un calcul de bruit est effectué à l'emplacement de chaque objet *Zone-bruit-réglémenté*. Pour l'emplacement où le niveau permis est le plus fortement dépassé, l'éolienne dont la contribution au bruit est la plus forte est recherchée et supprimée. Cette opération est répétée jusqu'au moment où les éoliennes restantes respectent le bruit permis en chaque *Zone-bruit-réglémenté*.
- Toutes les éoliennes restantes étant débridées, un calcul de bruit est effectué à l'emplacement de chaque *Zone-bruit-réglémenté*. Pour l'emplacement où le niveau permis est le plus fortement dépassé, l'éolienne dont la contribution au bruit est la plus forte est recherchée et bridée d'un niveau. Cette opération est répétée jusqu'au moment où les éoliennes restantes respectent le bruit permis en chaque *Zone-bruit-réglémenté*.

D) - *Optimisation A) suivie de l'optimisation C)*, cette option permet de faire une optimisation A) suivie d'une optimisation C) ce qui permet de voir sans quitter le calcul OPTIMISATION la réduction du productible introduite par les bridages.

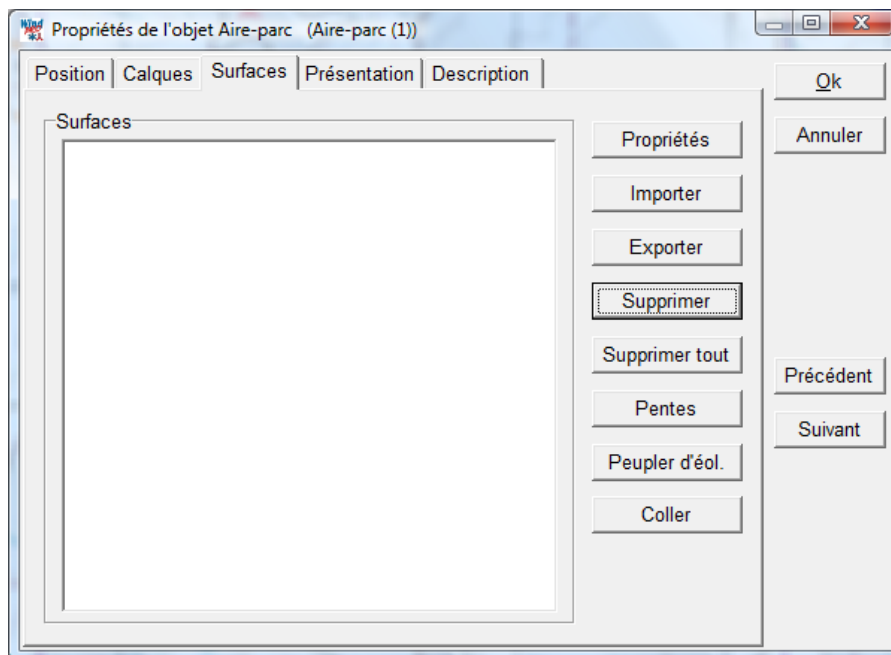
8.1.1 Objets utilisés par le module OPTIMISATION

8.1.1.0 Objet Aire-parc



L'objet *Aire-parc* est utilisé pour délimiter la zone réservée au parc éolien, mais il permet également la délimitation de zones interdites.

La zone du parc peut être constituée par une grande surface d'un seul tenant ou de plusieurs petites surfaces (des parcelles par exemples) ; ces deux situations peuvent être décrites avec un seul objet *Aire-parc*.



Pour créer un objet *Aire-parc*, il suffit de cliquer sur son icône dans la barre d'objet et de la poser sur la carte par un deuxième clic. Sa position sur la carte est indifférente. La fenêtre *Propriétés de l'objet Aire-parc*, voir Figure 1, s'ouvre automatiquement.

Figure 1

Les surfaces peuvent être délimitées sur le fond de carte à l'écran ou en chargeant leurs coordonnées à partir de fichiers. Avec la présente version les formats **.dxf** (AutoCAD/AutoDesk) et **.shp** (Shape du SIG Arc View d'Esri) peuvent être importés.

Importation des surfaces à partir d'un fichier

Pour lancer l'importation des surfaces à partir de fichiers .shp ou .dxf, il faut cliquer sur le bouton *Importer*, voir Figure 1. Notez que seuls les fichiers .dxf au format ASCII d'Autocad12 sont acceptés.

Après avoir choisi le fichier et indiqué son type, WindPRO demandera le système de coordonnées utilisé dans le fichier afin de pouvoir placer les surfaces correctement.

Si le fichier source est au format .dxf l'importation se fait directement.

Si le fichier source est au format .shp la fenêtre *Importer des données au format Shape* s'ouvre, voir Figure 2. Cette fenêtre propose les options suivantes :

- *Les polygones importés devront être associés à 1 Surface ayant pour nom ->* : en cochant cette option, les polygones importés seront tous fusionnés en 1 Surface prenant le nom du champ *Nom* (qui reprend le nom du fichier Shape).
- *Les polygones importés devront être associés à des Surfaces prenant pour nom les valeurs du :* en cochant cette option seuls les polygones du *Champ* (Shape) choisi seront importés. Leur nom sera constitué par l'attribut du polygone dans le champ Shape choisi, le bouton *Aperçu* affiche les attributs des 10 premiers polygones.
- *Les polygones importés devront être associés à 1 Surface existante choisie dans le menu ->* : en cochant cette option, si l'objet *Aire-parc* contient déjà des *Surfaces*, voir Figure 1, on peut choisir de fusionner toutes les polygones importés dans une des *Surfaces* existantes qu'on choisit dans le menu *Nom*.
- *Importer autour de l'objet dans un rayon de [m]*, permet limiter l'importation des polygones à ceux contenus dans le rayon indiqué autour de la position de l'objet.
- *Lignes importées comme des bandes de largeur =* : si le fichier Shape contient des données définies comme des lignes ouvertes et non comme des polygones, WindPRO les convertira en polygones car l'objet *Aire-parc* ne travaille pas avec des lignes. Les polygones auront la forme d'une bande dont la largeur sera celle indiquée dans ce champ.

En cliquant sur le bouton *Ok* les surfaces sont importées et apparaissent listées dans le cadre *Surfaces* de l'objet *Aire-parc*, voir Figure 1.

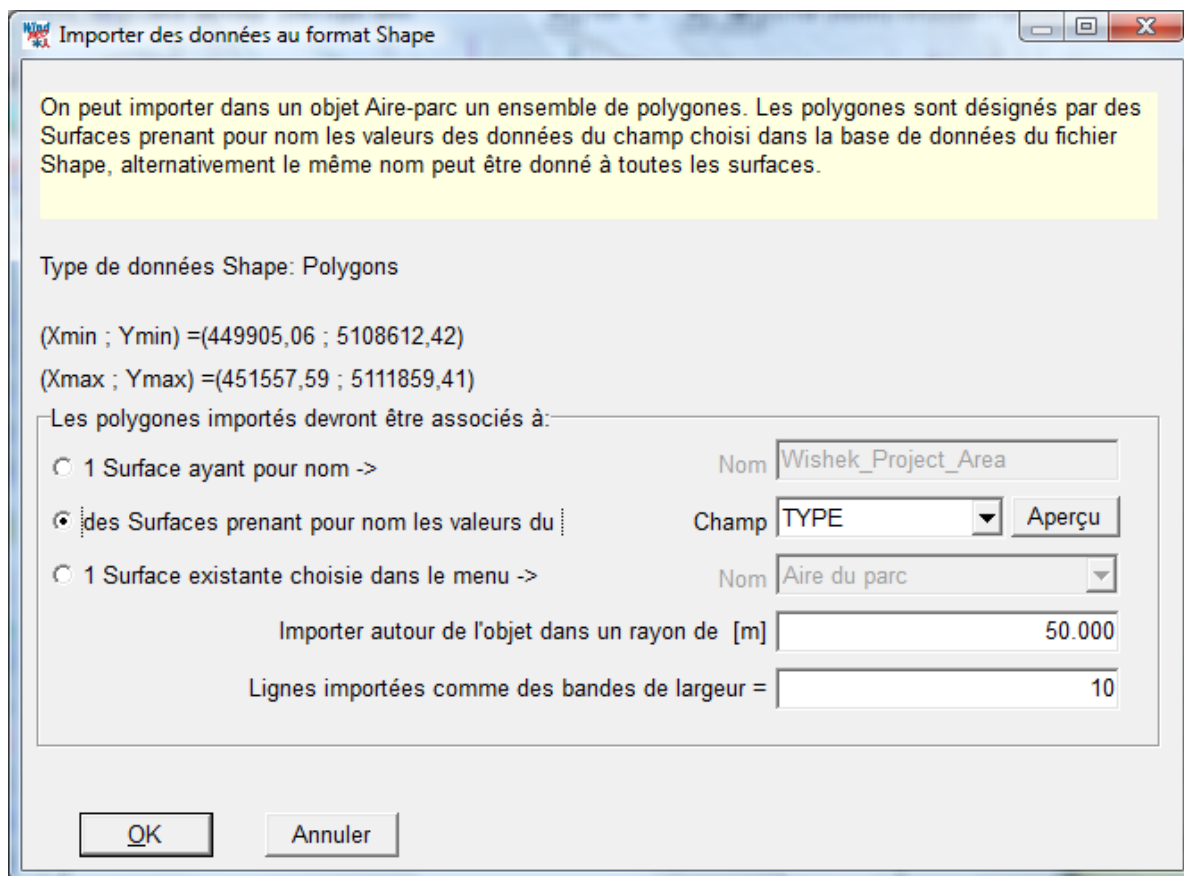
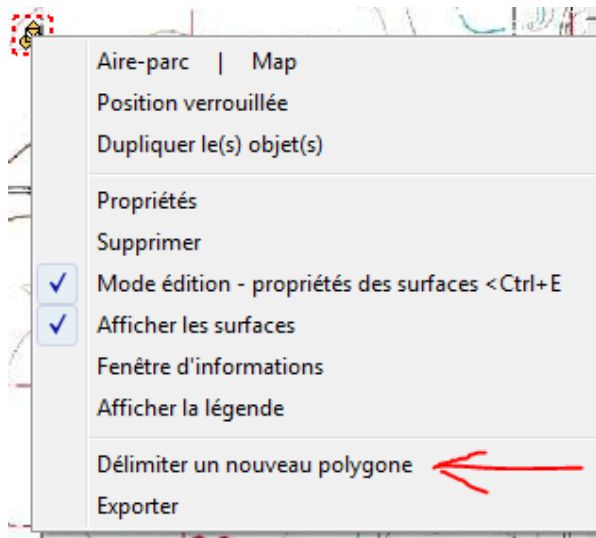


Figure 2

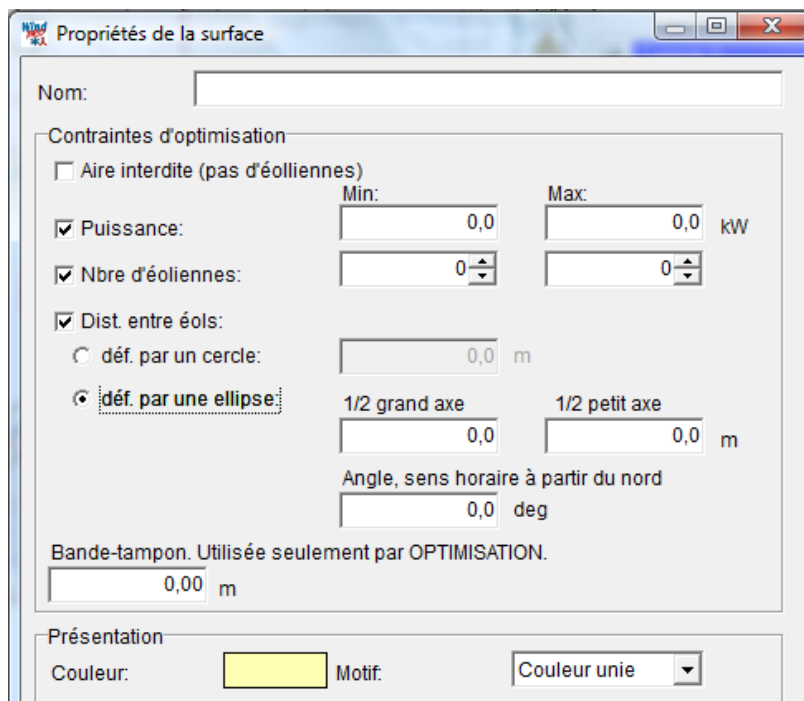
Numérisation manuelle des surfaces



Pour délimiter manuellement les surfaces sur le fond de carte à l'écran, fermez la fenêtre *Propriétés de l'objet Aire-parc*, voir Figure 1 ; l'icône de l'objet sur la carte apparaît entourée de pointillés rouges indiquant qu'il est en *Mode édition* et par conséquent prêt pour la numérisation ; faites un clic droit en bordure de la surface à délimiter et dans le menu contextuel qui s'affiche, voir Figure 3, cliquez sur *Délimiter un nouveau polygone*, la fenêtre *Propriétés de la surface* s'ouvre, voir Figure 4.

Figure 3

Contraintes d'optimisation



Dans la fenêtre *Propriétés de la surface* se définissent les contraintes d'optimisation applicables spécifiquement à la surface qui va être délimitée.

Figure 4

- *Nom* : ce champ permet de donner le nom de votre choix à la surface.
- *Puissance* : indiquez la puissance *Minimale* que l'algorithme devra essayer de placer et la puissance *Maximale* qui ne devra pas être dépassée dans la surface.
- *Nbre d'éoliennes* : idem mais appliqué aux éoliennes.
- *Distance entre éoliennes* : si l'option *déf. par un cercle* est cochée, l'algorithme placera les autres éoliennes en dehors d'un cercle centré sur chaque éolienne dont le rayon s'indique dans le champ à droite. Si l'option *déf. par une ellipse* est cochée, le même principe s'applique en utilisant une ellipse au lieu d'un cercle ; dans le champ *Angle sens horaire à partir du nord* doit être indiqué l'orientation du grand axe de l'ellipse.
- *Bande-tampon...* : dans ce champ on indique la distance minimale à respecter entre les éoliennes et le bord de la surface pour éviter, par exemple, que les pales des machines survolent les propriétés voisines.
- *Couleur* et *Motif* permettent de choisir la représentation de la surface ; la couleur est appliquée avec transparence pour que la carte reste visible.

Cliquez sur *Ok* pour commencer la délimitation de la surface et terminez par clic droit en choisissant *Fin* dans le menu contextuel qui s'affiche (voir la section 2 pour plus de détails).

Quand l'objet *Aire-parc* est en *Mode édition* :

- un clic gauche sur la surface fait apparaître les sommets du polygone délimitant la surface ; les sommets peuvent être déplacés en les faisant glisser avec le pointeur de la souris, voir Figure 5.
- un clic droit sur la ligne délimitant la surface fait apparaître le menu contextuel de la Figure 5 où sont proposées des options supplémentaires :
 - *Entrer un point, Supprimer un point* (quand le clic est fait sur un sommet).
 - *Supprimer le polygone* qui supprime la surface délimitée par le polygone est à différentier de *Supprimer* qui supprime l'objet *Aire-parc* et toutes les surfaces qu'il contient !
 - *Modifier les propriétés du polygone* renvoi à la fenêtre de la Figure 4.

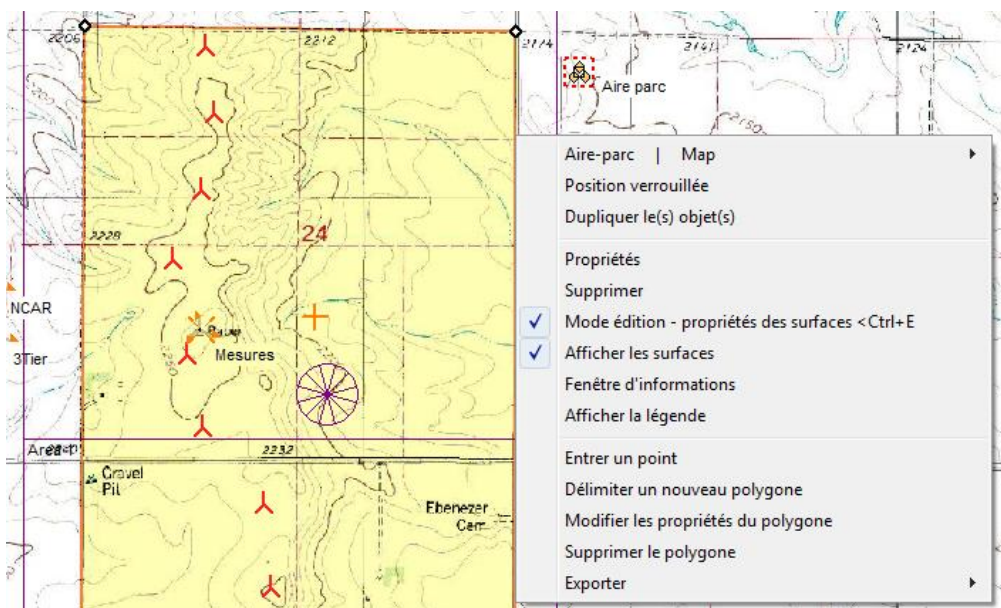


Figure 5

- *Fenêtre d'informations* ouvre la fenêtre de la Figure 6 montrant entre autres la *Taille* des surfaces contenues dans l'objet *Aire-parc*.

#	Nom	Taille [m2]	Couleur	Puissance min [kW]	Puissance max [kW]	Nbre min	Nbre max	Distance min [m]
1	Carré nord	2 605 884		10 000	20 000	6	12	450
2	Carré sud	2 566 591				6	6	
		5 172 474						

Figure 6

- *Afficher légende* ouvre la fenêtre de la Figure 7 montrant la correspondance entre la couleur et le nom de la surface.

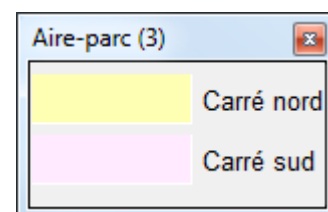


Figure 7

Création d'aires interdites

Les *Aires interdites* se définissent dans les *Propriétés de la surface*, voir Figure 8. L'algorithme d'optimisation ne placera pas d'éoliennes dans les *Aires interdites*. Elles sont typiquement utilisées pour tenir compte des lignes électriques, des voies de circulation, etc.

La *Bande-tampon*, dans ce cas, est une bande entourant et élargissant l'*Aire interdite* pour établir, par exemple, une zone de sécurité entre un chemin et les éoliennes.

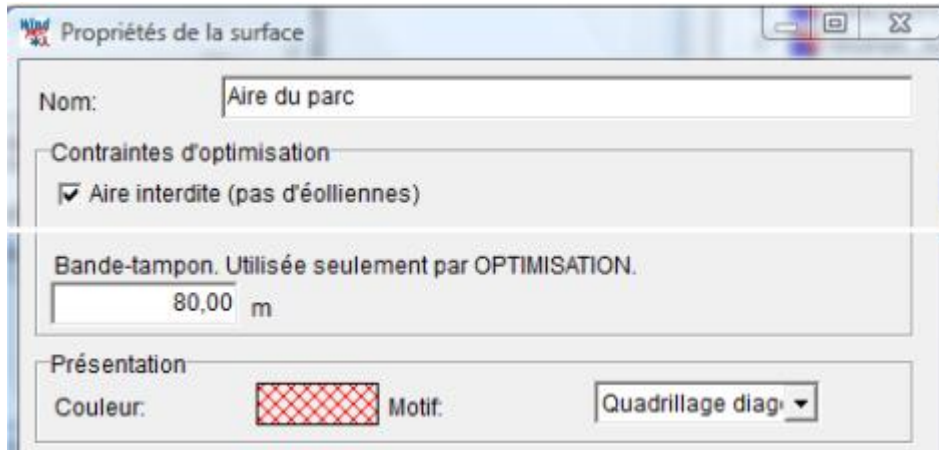


Figure 8

Remarque : pour que la *Bande-tampon* s'affiche à l'écran il faut quitter le *Mode édition*.

Dans l'exemple de la Figure 9, les chemins ont été tracés avec une ligne aller et une ligne retour superposées et une *Zone tampon* de 80m.

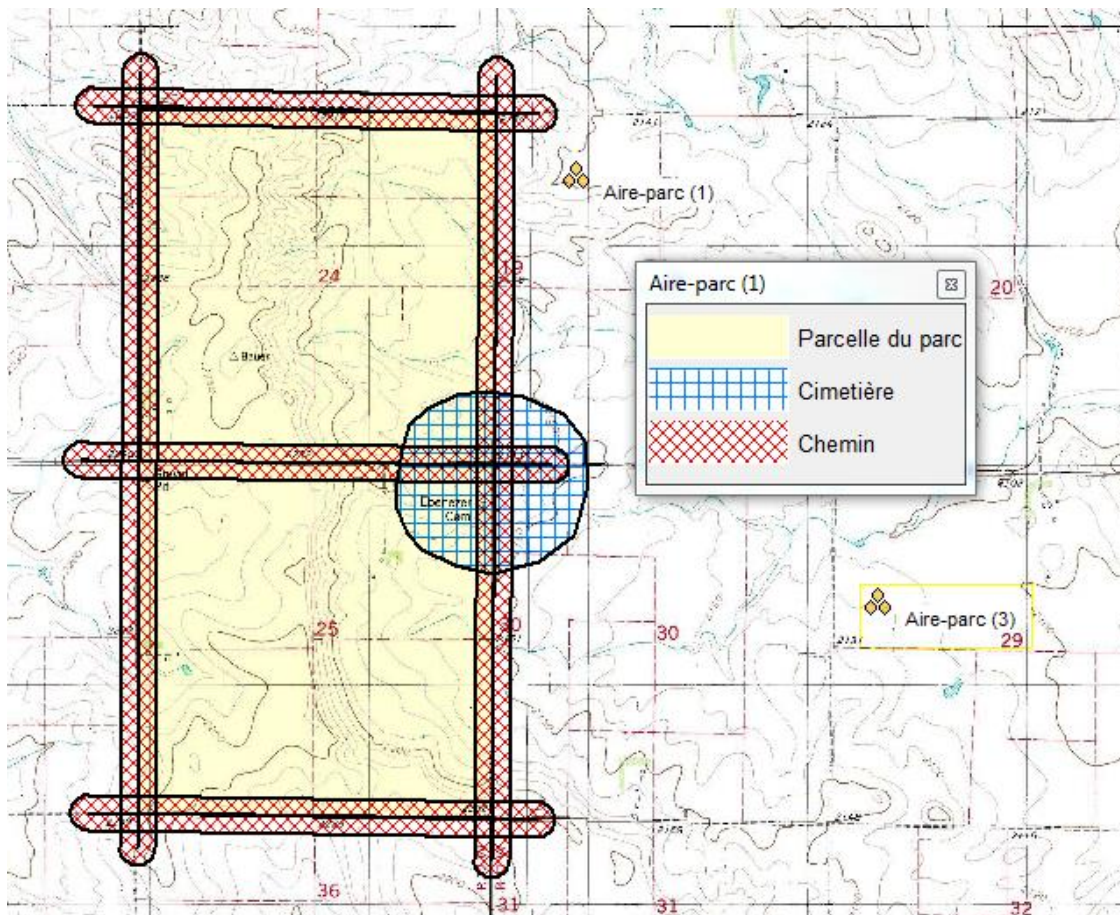


Figure 9

Onglet Surfaces

L'onglet *Surfaces* est montré à la Figure 10.

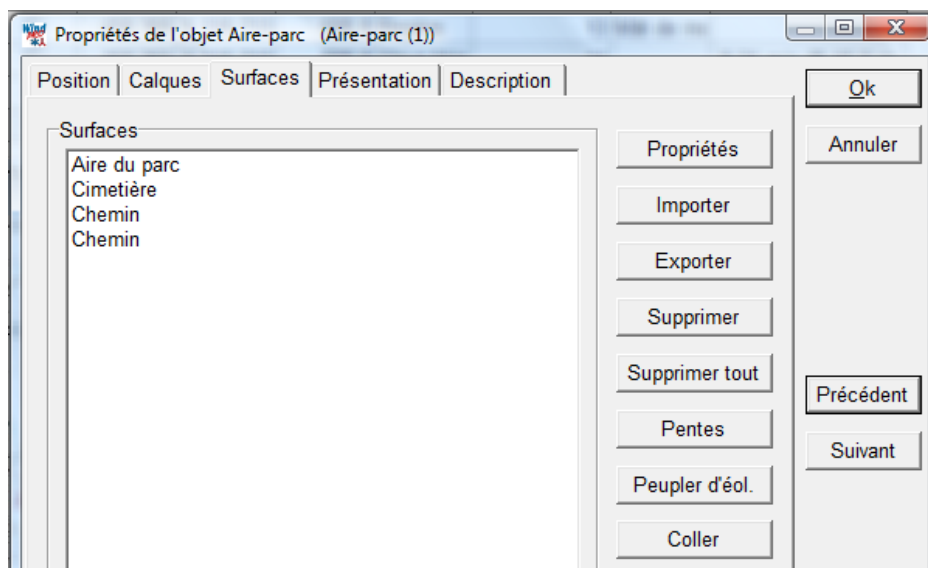


Figure 10

Dans le cadre *Surfaces* sont listées toutes les surfaces contenues dans l'objet *Aire-parc*. Les boutons sur la droite permettent d'effectuer les opérations suivantes :

- *Propriétés* : ouvre la fenêtre *Propriétés de la surface* sélectionnée, voir Figure 4.
- *Importer* : voir dans les pages précédentes « Importation des surfaces à partir d'un fichier »
- *Exporter* : permet d'exporter l'ensemble des surfaces en format Shape, voir Figure 11.

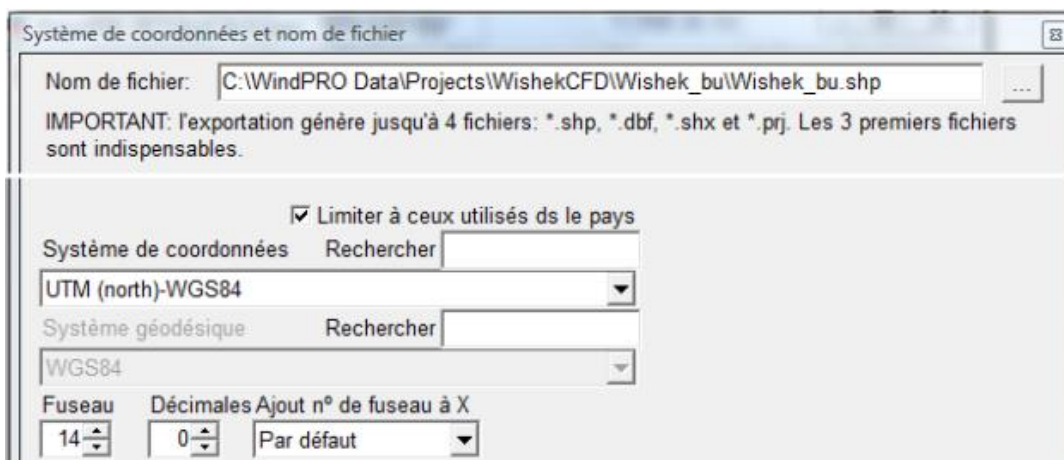


Figure 11

- *Supprimer* : élimine la *Surface* sélectionnée. Avant de supprimer la *Surface*, WindPRO demandera s'il faut également supprimer toutes les autres *Surfaces* portant le même *Nom*. Cette possibilité peut être pratique quand on importe les surfaces. Par exemple, si on utilise un fichier décrivant l'occupation des sols on pourra éliminer en une seule opération toutes les surfaces occupées par de la forêt.
- *Supprimer tout* : élimine toutes les *Surfaces*.
- *Pentes* : ce bouton ouvre la fenêtre *Conversion en Aires interdites des zones trop pentues* présentées à la Figure 12. A partir de cette fenêtre on peut convertir en *Aires interdites* les zones dont la pente dépasse le seuil entré dans le champ *Seuil des pentes*.
L'analyse des pentes se fait, selon l'option choisie, sur les *Surfaces définies dans l'objet Aire-parc* ou sur une *surface rectangulaire centrée sur l'icône de l'objet Aire-parc*.
Pour l'analyse des pentes il faut un objet, *Données-lignes* ou *Maille-altimétrique*, contenant les données altimétriques. S'il existe plusieurs objets, il faut indiquer celui qui devra être utilisé.
L'algorithme transforme en *Aire interdite* chaque triangle du MNT dont une des pentes dépasse le seuil. Les triangles adjacents sont fusionnés afin de réduire le nombre d'*Aires interdites*. Un exemple est présenté à la Figure 13.

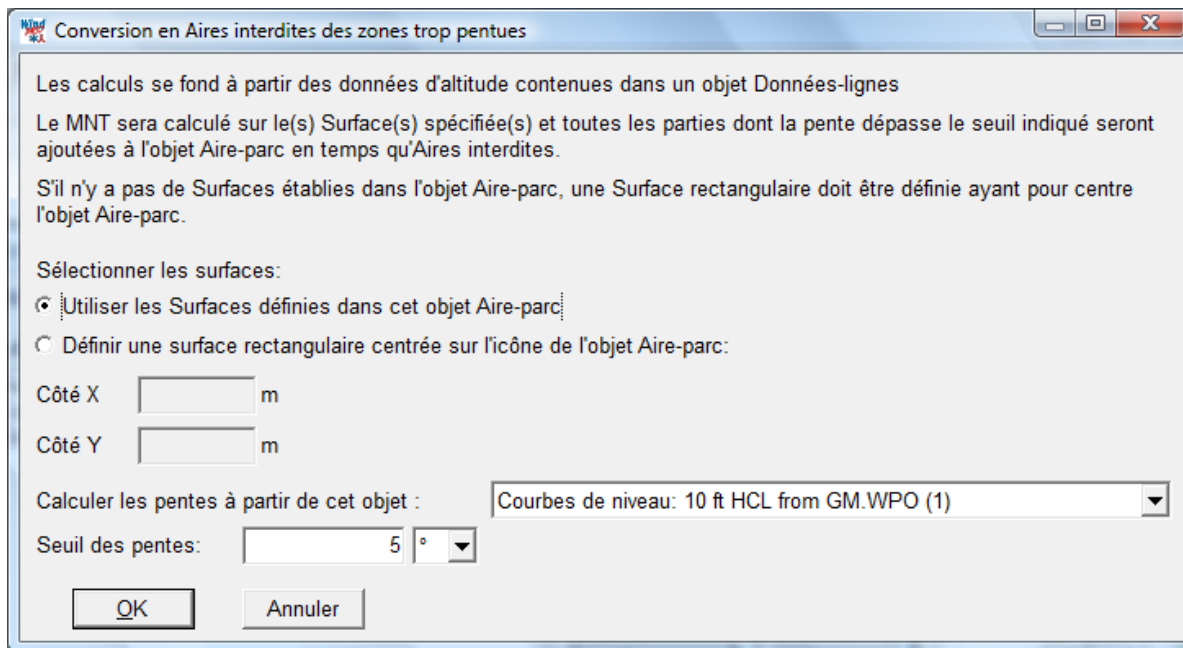


Figure 12

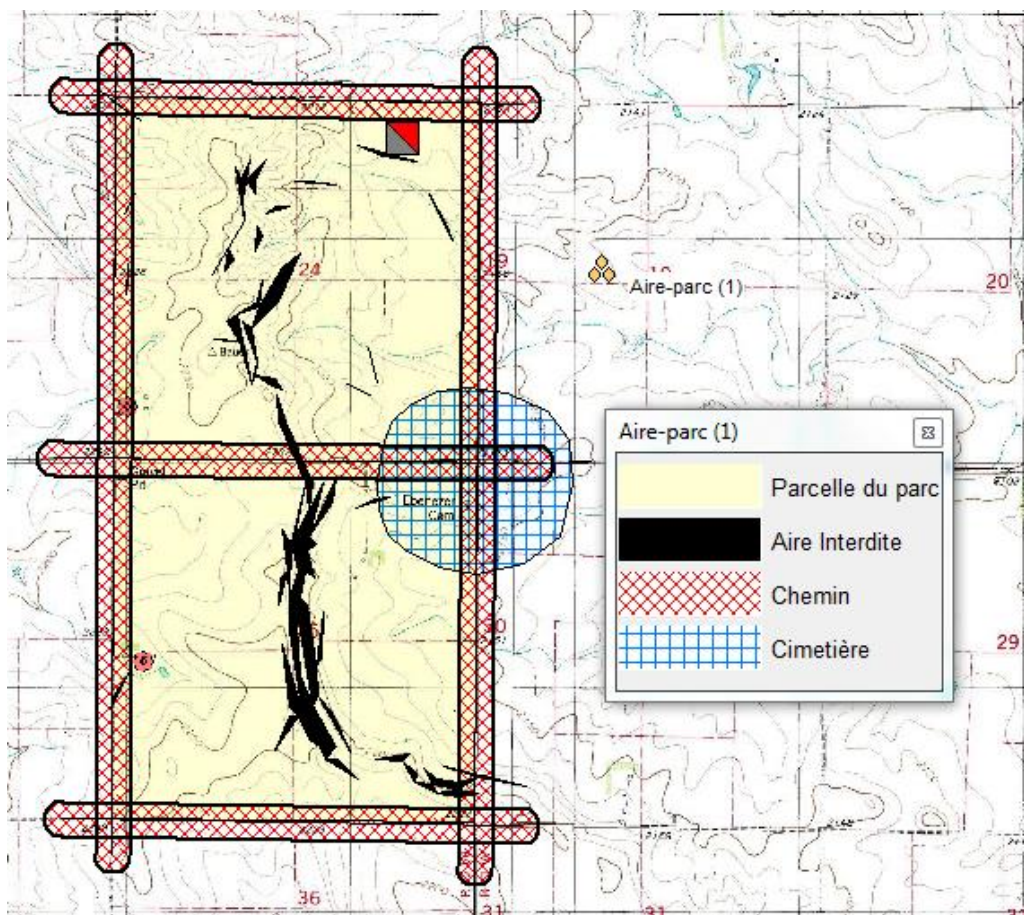


Figure 13

- **Peupler d'éoliennes** : en cliquant sur ce bouton WindPRO vous propose de choisir un type d'éolienne avec lequel il peuplera les *Surfaces* définies dans l'objet *Aire-parc* à l'exception des *Aires interdites* et des *Bandes-tampons*. Pour placer les éoliennes, l'algorithme ne prend en compte que la *Distance entre éoliennes* spécifiée dans les *Contraintes d'optimisation* de chaque *Surface*. On retrouve cette même fonction, appelée *Autocréation des éoliennes*, dans la fenêtre *Contrôle de l'OPTIMISATION* qui s'ouvre quand démarre une optimisation. Un exemple du résultat est montré à la Figure 14.

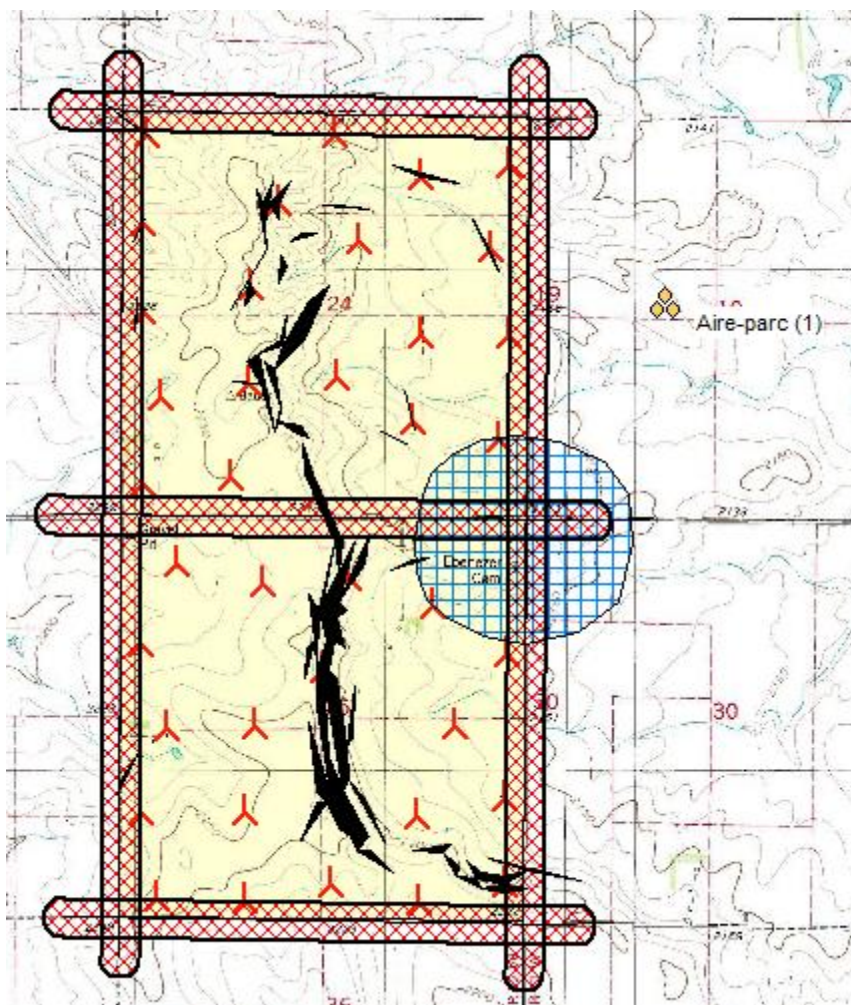


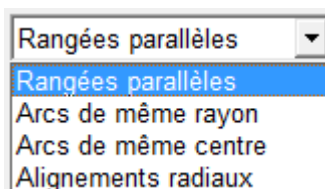
Figure 14

8.1.1.1 Objet Parc-géométrique



L'objet *Parc-géométrique* permet de créer des dispositions régulières des éoliennes.

Dans la présente version, les types de disposition listés ci-contre sont disponibles.



L'objet *Parc-géométrique* peut s'utiliser en combinaison avec l'objet *Aire-parc* pour créer (*réaliser*) seulement les éoliennes contenues dans les limites définies dans l'objet *Aire-parc*.

Pour créer un objet *Parc-géométrique*, cliquez sur son icône dans la barre d'objet, placez-la par un deuxième clic sur la carte, la fenêtre *Propriétés de l'objet Parc-géométrique* s'ouvre, dans l'onglet *Type d'éoliennes* choisissez le type de machine et passez à l'onglet *Disposition*, voir Figure 15, dont les paramètres sont expliqués à la suite :

- *Choisir unité* : les longueurs paramétrables peuvent être exprimées en *Mètres*, en *Pieds* et en *Diamètre de rotor*, le choix se fait dans ce menu.
- *Disposition* : le choix du type de disposition se fait dans ce menu.

- *Eolienne pivot* : cette éolienne est le point d'encrage de la disposition, elle reste fixe lors de ses déformations. On choisit l'*Eolienne pivot* en indiquant sa rangée, champ *Rangée n°*, et sa position dans la rangée, champ *n° ds rangée*. L'*Eolienne pivot* apparaît entourée d'un cercle.

Les paramètres présentés dans la partie centrale de la fenêtre diffèrent selon la *Disposition* choisie. Les paramètres se rapportant à la disposition *Rangées parallèles* sont décrits à suite :

- *Cadre Rangées* : *Nombre* est le nombre de rangées ; *Espacement* est la distance entre les rangées ; *Esp. mini.* est la distance minimale permise entre les rangées ; *Décalage des rangées pour disposition en quinconce* est une valeur comprise entre 0 et 1 qui multiplié par l'espacement entre les éoliennes dans la rangée donne la valeur du décalage.

Figure 15

- *Cadre Eoliennes dans les rangées* : *Nombre* est le nombre d'éoliennes dans chaque rangée ; *Espacement* est la distance de départ entre les éoliennes les rangées ; *Esp. mini.* est la distance minimale permise entre les éoliennes dans les rangées.
- *Orientation du parallélogramme formé par les éoliennes* : *Angle de la base* et *Angle des rangées* définissent la déformation du parallélogramme ; *Esp. mini* est la distance minimale entre les éoliennes à respecter quelque soit la déformation de la disposition.

Cliquez sur *Ok* pour afficher la disposition.

- *Contrôle vs contraintes définies dans l'Aire-parc* : cette option permet de comparer la disposition avec les contraintes définies dans un objet *Aire-parc*. Les éoliennes hors de l'*Aire-parc* sont signalées par une couleur différente, voir Figure 17. D'autre part, en faisant un clic droit sur l'objet *Parc-géométrique* et en choisissant *Fenêtre d'informations* dans le menu contextuel de la Figure 16 apparaît une fenêtre montrant une comparaison détaillée avec les contraintes définies dans l'objet *Aire-parc* choisi, voir Figure 17.

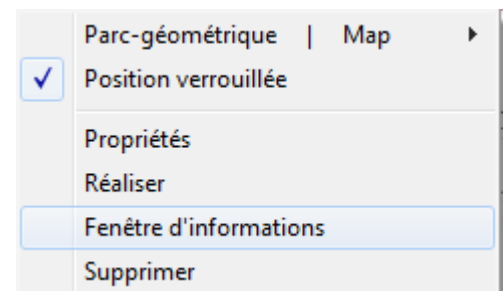


Figure 16

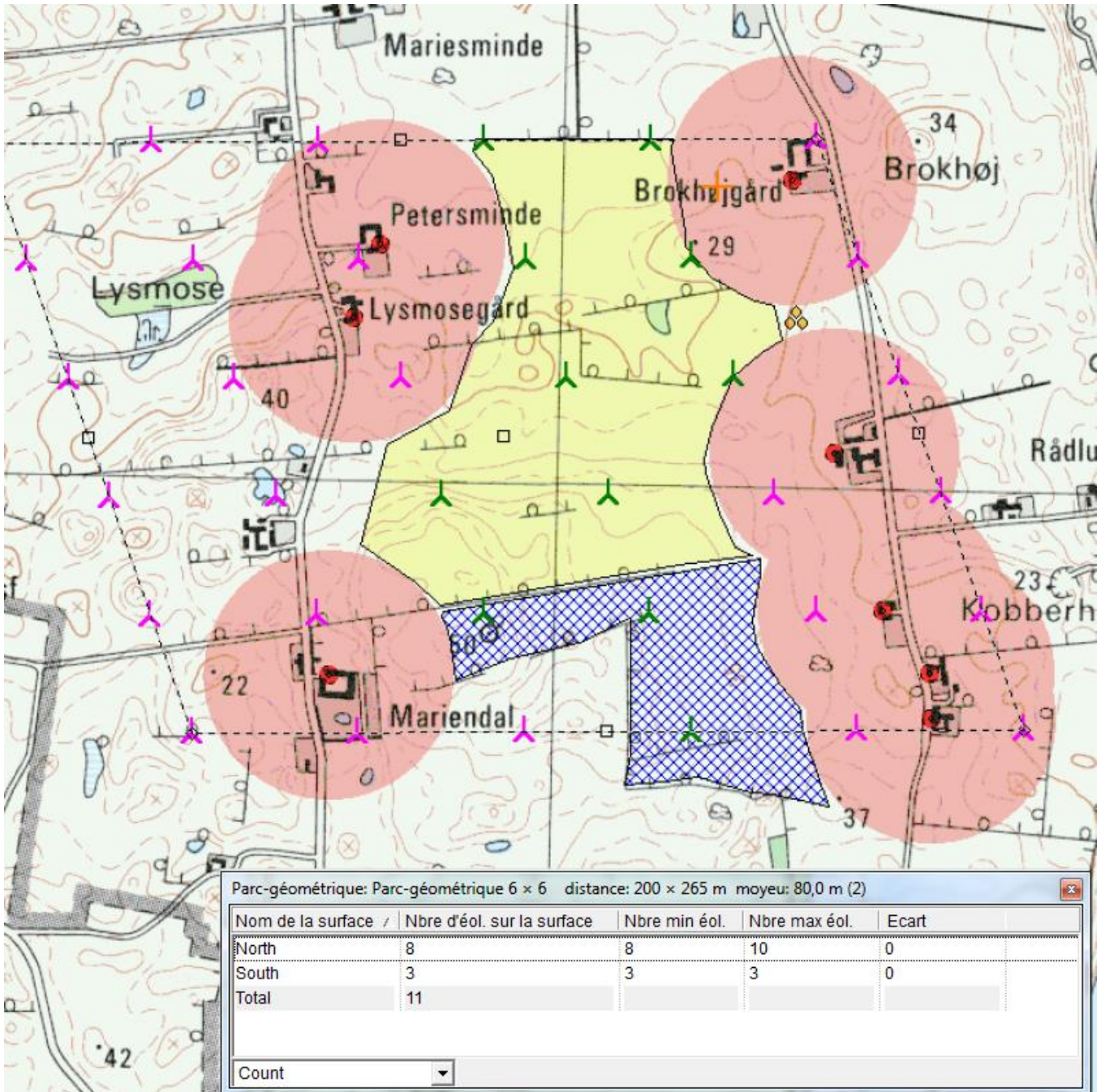


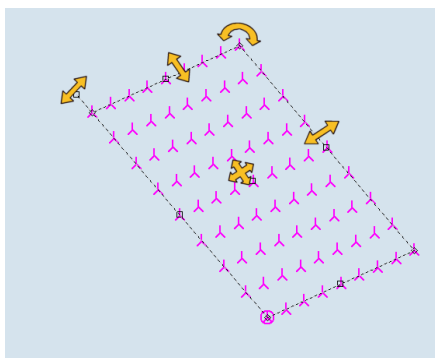
Figure 17

Dans l'exemple de la Figure 17, les éoliennes à l'intérieur des surfaces définies dans l'Aire-parc sont affichées en vert les autres sont affichées en rose.

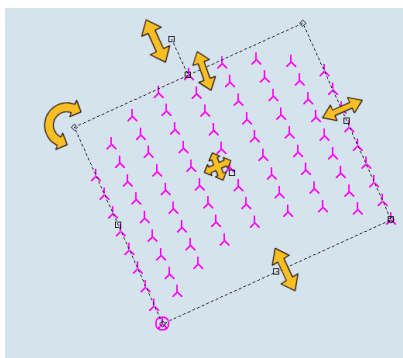
La fenêtre de contrôle indique d'une part que, pour la surface *North*, les contraintes spécifiées dans l'Aire-parc sont *Nbre min. d'éol.* = 8, *Nbre max. d'éol.* = 10 et d'autre part que le *Nbre d'éol. (placées) sur la surface* = 8 d'où l'*Ecart* = 0 étant donné que les contraintes sont respectées.

Manipulation de l'objet Parc-géométrique avec la souris :

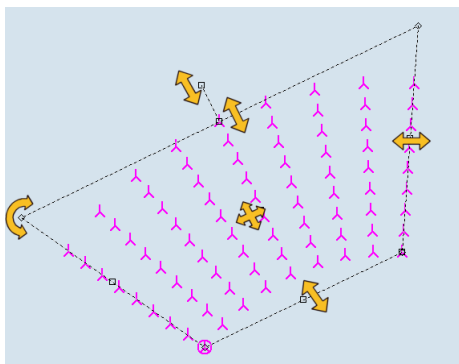
Les illustrations ci-dessous montrent comment les poignées de l'objet *Parc-géométrique* permettent de faire tourner et de déformer la disposition directement avec la souris.



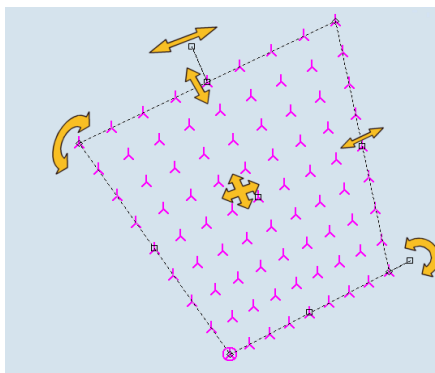
Rangées parallèles



Arcs de même rayon



Arcs de même centre



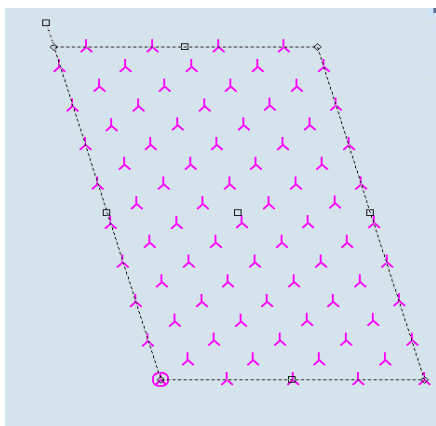
Alignements radiaux



L'*Eolienne pivot* définit un point d'encrage qui reste fixe lors des déformations de la disposition. Pour déplacer l'ensemble de la disposition, il suffit de tirer sur la poignée centrale avec la souris.

Vous pouvez choisir l'*Eolienne pivot* dans les propriétés de l'objet ou en faisant un clic droit sur l'icône d'une éolienne et en choisissant *Convertir en éolienne pivot* dans le menu contextuel.

Le seul paramètre ne pouvant pas être modifié avec la souris est le *Décalage des rangées pour une disposition en quinconce* des éoliennes.



Dans une disposition en *Rangées parallèles*, la valeur du décalage s'exprime en $D \times$ la distance entre les éoliennes dans rangée avec $0 < D < 1$.

$D = 0,5$ dans l'illustration ci-contre.

8.1.1.2 Réalisation de la disposition optimisée

Quand vous avez trouvé la meilleure disposition, appelez le menu contextuel de l'objet *Parc-géométrique*, voir Figure 18, et cliquez sur l'option *Réaliser* pour créer le parc avec les éoliennes contenues dans le(s) surface(s) de l'objet *Aire-parc*. Le parc est créé dans un nouveau calque, voir Figure 19.

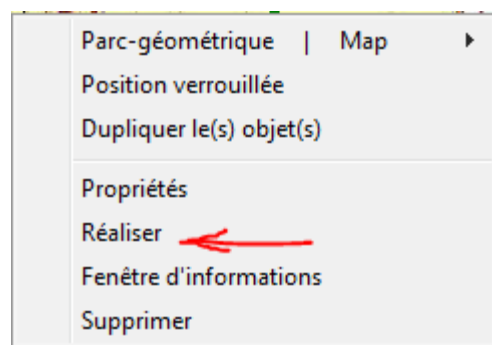


Figure 18

L'objet *Parc-géométrique* reste disponible pour *Réaliser* d'autres dispositions qui seront créées à chaque fois dans un calque différent. Quand toutes les dispositions que vous souhaitez tester ont été *Réalisées*, il suffit de lancer les calculs correspondants et de comparer les résultats.

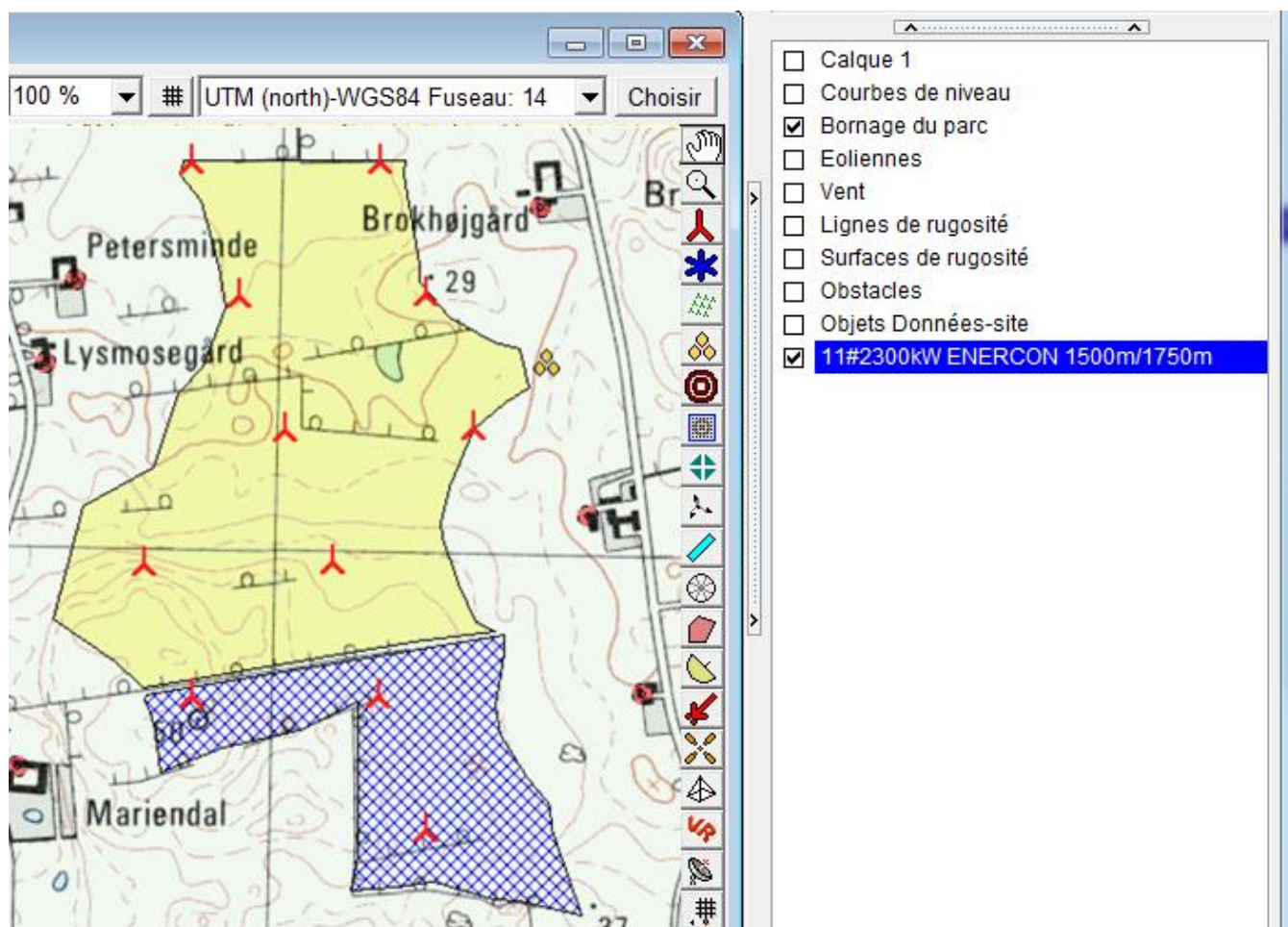


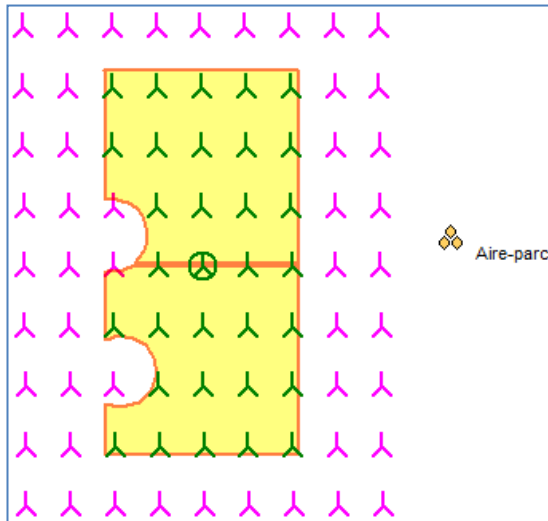
Figure 19

8.1.2 Optimisation du productible basée sur une disposition régulière des éoliennes (option B)

L'optimisation automatique d'un modèle régulier consiste à faire varier les paramètres sélectionnés (par exemple les distances inter-éoliennes, l'orientation de la disposition, etc.) à l'intérieur d'intervalles définis jusqu'à trouver la solution donnant le productible le plus élevé.

Il faut tout d'abord définir un objet *Aire-parc* et un objet *Parc-géométrique*.

De plus, il faut disposer de données de vent. A cet effet, une carte de ressources éoliennes (fichier .rsf) peut être utilisée, mais les données issues d'un mât de mesure peuvent être suffisantes compte tenu de l'hypothèse de départ (terrains plats ou offshore).



Les éoliennes se trouvant dans l'*Aire-parc* sont vertes et celles se trouvant à l'extérieur sont roses (voir Figure 20)

Figure 20

Il faut maintenant définir les paramètres sur lesquels il sera permis à WindPRO d'agir. Pour cela, ouvrez le calcul OPTIMISATION (voir Figure 21).

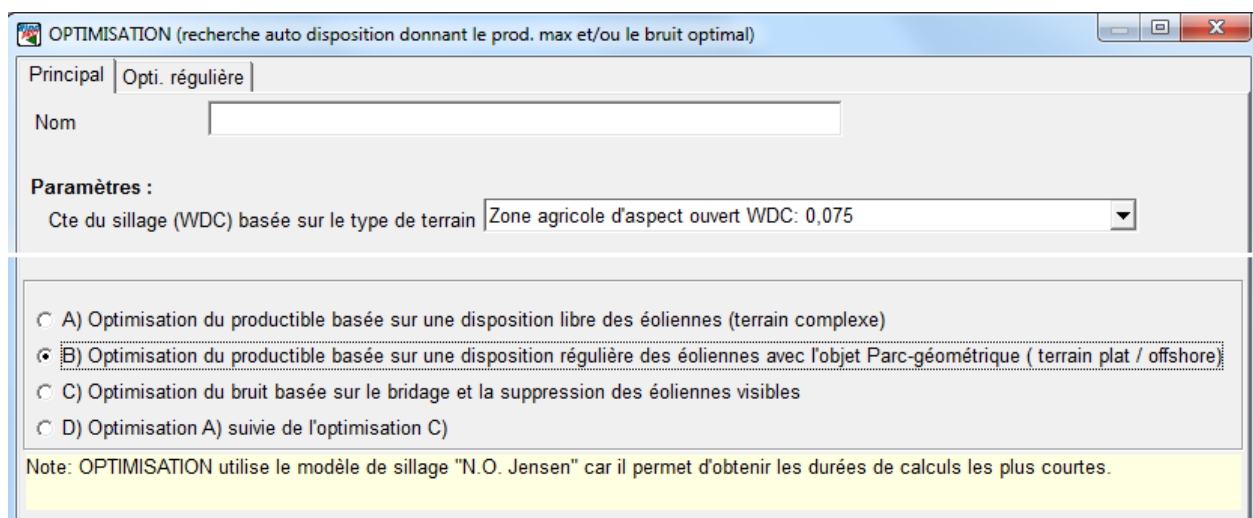


Figure 21

Onglet *Principal*

- La *Constante du sillage (WDC)*... est par défaut réglée à 0,075. Pour les parcs éoliens offshore, il est convenant de remplacer cette valeur par 0,04 qui est plus appropriée.
- Cochez l'option B) *Optimisation du productible basée sur une disposition régulière ...*

Onglet *Opti. régulière* (voir Figure 22)

- Dans le champ *Sélectionnez un objet Parc-géométrique*, choisissez, en cliquant dessus, celui qui devra être utilisé pour le calcul (si plusieurs objets ont été créés).
- Choisissez la *Source des données de vent* ; si on coche *Fichier(s) ressources éoliennes* il faut indiquer l'emplacement du fichier en cliquant sur le bouton *Ajouter fichier(s) RSF* ; si on coche *Objet Météo*, toutes les données contenues dans les objets *Météo* du projet s'affichent dans le cadre et il faut choisir, en cliquant dessus, celles qui devront être utilisées pour le calcul (l'extrapolation de la vitesse du vent à hauteur de moyeu se fait à partir des valeurs de cisaillement contenues dans l'objet *Météo* choisi).
- En cochant l'option *Vérifier rendement du parc*, l'optimisation ne sera présentée que si elle dépasse le seuil indiqué dans le champ *Rendement minimal du parc*.
- Cochez l'option *Parc offshore* pour activer le cadre *Options offshore*. Pour le *Calcul automatique de la profondeur de l'eau*, cochez l'option du même nom et choisissez l'*Objet Données-lignes* contenant les données dans le menu déroulant du même nom. Alternativement vous pouvez entrer une *Profondeur constante* dans le champ du même nom. Le champ *Altitude de l'eau* sert pour des projets offshore sur des lacs.

Figure 22

Poursuivre en cliquant sur *Ok* qui ouvre la fenêtre *Contrôle de l'OPTIMISATION* présentée à la Figure 23. Cette fenêtre est l'une des rares qui peut rester ouverte tout en travaillant dans les fenêtres *Cartes et Objets*. L'option *Garder au premier plan* doit être utilisée avec circonspection car les messages d'erreur peuvent alors être masqués.

Le bouton *Calculer le productible* permet de calculer le productible de la disposition *Initiale* pour avoir une base de comparaison. Dans le présent exemple, dans leur disposition *Initiale*, les 32 éoliennes situées dans l'*Aire-parc* produiraient 180459 MWh et le rendement du parc serait de 90,8%.

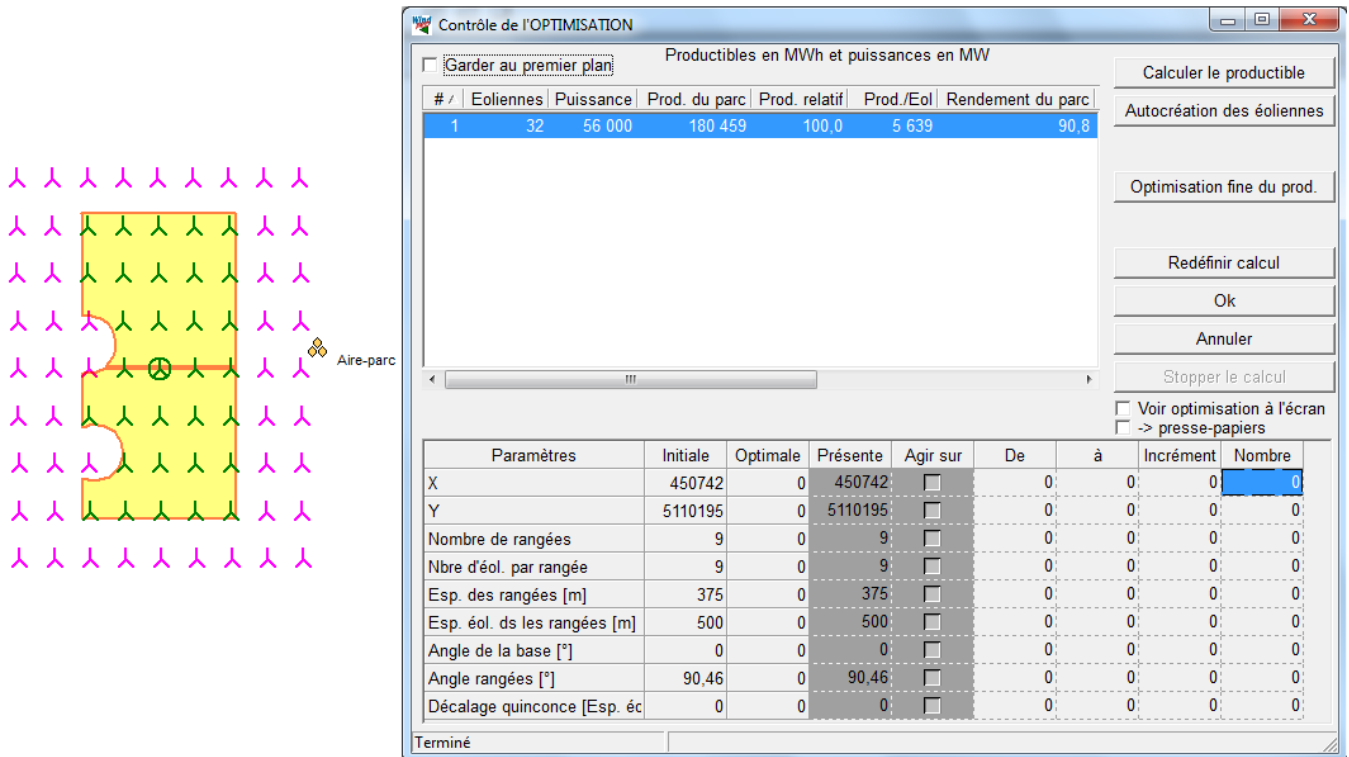


Figure 23

Avant de lancer l'*Optimisation fine du productible*, vous devez indiquer les paramètres à faire varier et leur intervalle de variation. Dans le cas de la disposition présentée ici (*Rangées parallèles*) les paramètres suivants peuvent être ajustés :

- Les coordonnées X et Y de l'éolienne pivot
- Le *Nombre de rangées*
- Le *Nombre d'éoliennes par rangée*
- L'*Espacement des rangées*
- L'*Espacement des éoliennes dans les rangées*
- L'*Angle de la base* de la disposition géométrique par rapport à l'axe X
- L'*Angle des rangées* de la disposition géométrique par rapport à la base
- Le *Décalage* des rangées pour une disposition en quinconce

A partir des paramètres sélectionnés dans colonne *Agir sur* et de leur intervalle de variation défini dans les champs des colonnes *De*, *à*, *Incrément*, WindPRO détermine la disposition qui donne le productible le plus élevé et dont le rendement dépasse le seuil minimal indiqué dans la fenêtre de la Figure 22.

La Figure 24 montre le résultat de l'optimisation réalisée à partir de la configuration de la Figure 23 en imposant un *Rendement minimal du parc* de 90%. La durée de l'optimisation dépend du nombre de paramètres et de leur intervalle de variation ; pour donner un ordre de grandeur, dans le cas présenté ici, 108 calculs ont été faits qui ont nécessité un peu plus de 1mn avec un PC cadencé à 2,8 GHz ; notez que l'option *Voir optimisation à l'écran*, qui utilise une partie notable des ressources de calcul, était activée.

A partir de cette première optimisation, on peut encore améliorer la disposition en utilisant des *Incréments* plus petits ou en faisant varier d'autres paramètres ; d'autres dispositions géométriques peuvent aussi être essayées. Pour revenir à une des dispositions précédemment calculée, il suffit de la sélectionner, d'appeler le menu contextuel par un clic avec le bouton droit de la souris et de choisir dans le menu *Restaurer la disposition*.

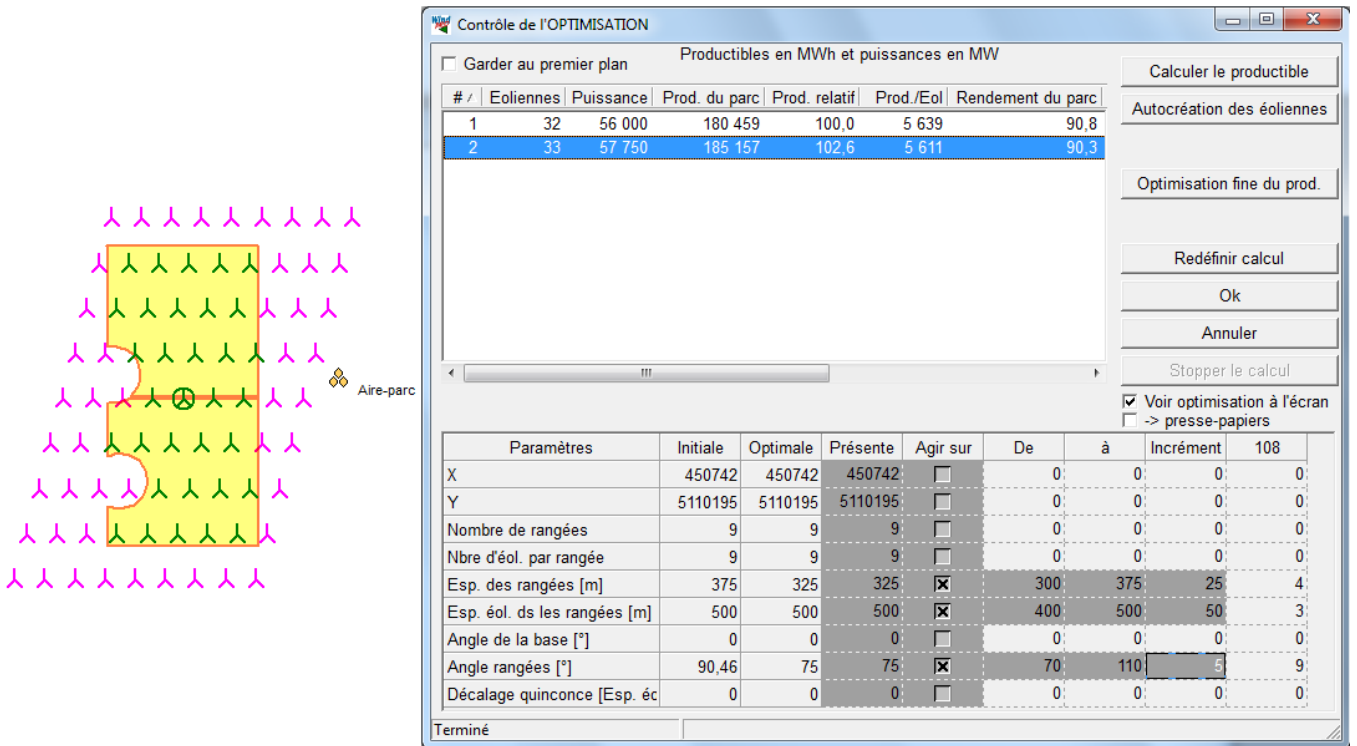


Figure 24

Un clic droit dans le tableau des paramètres ouvre le menu de la Figure 25 où les options suivantes sont proposées :

- *Calculer avec la Présente disposition* : calcule le productible avec les paramètres de la colonne *Présente*.
- *Actualiser l'objet Parc-géométrique avec les présentes valeurs* : applique les paramètres de la colonne *Présente* à l'objet *Parc-géométrique*.
- *Réaliser la Présente disposition* : la disposition *Présente* est créée dans un nouveau calque.
- *Copier colonne Initiale dans colonne Présente* : permet de réaliser une des opérations antérieures à partir de la disposition *Initiale*.
- *Copier colonne Optimale dans colonne Présente* : idem.
- *-> presse-papiers* : permet de copier les paramètres dans une feuille de calcul.
- *Coller du presse-papiers* : permet d'utiliser les paramètres sauvegardés dans une feuille de calcul.
- *Interrompre la variation des paramètres* : arrête le processus d'optimisation.

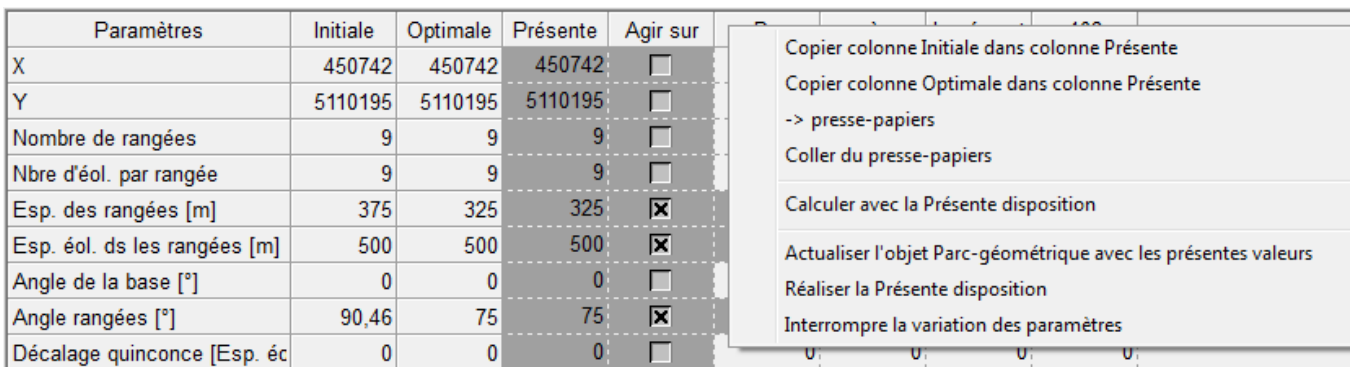


Figure 25

8.1.3 Optimisation du productible basée sur une disposition libre des éoliennes (option A)


Les objets suivants sont nécessaires pour calculer automatiquement les positions optimales des éoliennes d'un parc :

Un objet *Aire-parc* pour délimiter la surface du parc et définir les *Contraintes d'optimisation* : *Puissance*, *Nombre d'éoliennes*, *Distance entre les éoliennes*, etc. (voir la description de l'objet *Aire-parc*).

Une carte de ressources éoliennes (fichier .rsf) avec une résolution suffisante (typiquement de 25 m). Le module MODELE RESSOURCE permet de calculer les ressources pour les différentes hauteurs nécessaires en une seule opération (et d'enregistrer les résultats dans un unique fichier .rsf). Cette possibilité est très pratique si vous souhaitez optimiser un parc avec des machines ayant des hauteurs de moyeu différentes.

Note : il est possible de calculer les ressources uniquement pour la zone délimitée par les *Surfaces* de l'objet *Aire-parc*, voir section 3).

CAS PARTICULIER : si les conditions de vent sont identiques sur toute la surface du parc, comme en mer où en grandes plaines, on peut utiliser une simple distribution des vitesses du vent consignée dans un objet *Météo* au lieu d'une carte de ressources éoliennes. Mais dans ce type de conditions on opte généralement pour une disposition régulière des éoliennes (voir 8.1.2).

 Il est toujours intéressant de visualiser la carte des ressources éoliennes qui sera employée pour l'optimisation. Pour cela il suffit de créer un objet *Calque-résultat* et d'y charger le fichier .rsf correspondant.

8.1.3.0 Paramétrage du calcul

Quand toutes les données nécessaires ont été entrées lancez le calcul OPTIMISATION.

Onglet *Principal*

Dans l'onglet *Principal* de la fenêtre de paramétrage, voir Figure 26, choisissez la valeur de la *Constante du sillage* et cochez l'option A) *Optimisation du productible basée sur une disposition libre des éoliennes*.

Note : l'optimisation se fait en utilisant une version simplifiée du modèle de sillage « N.O. Jensen ».

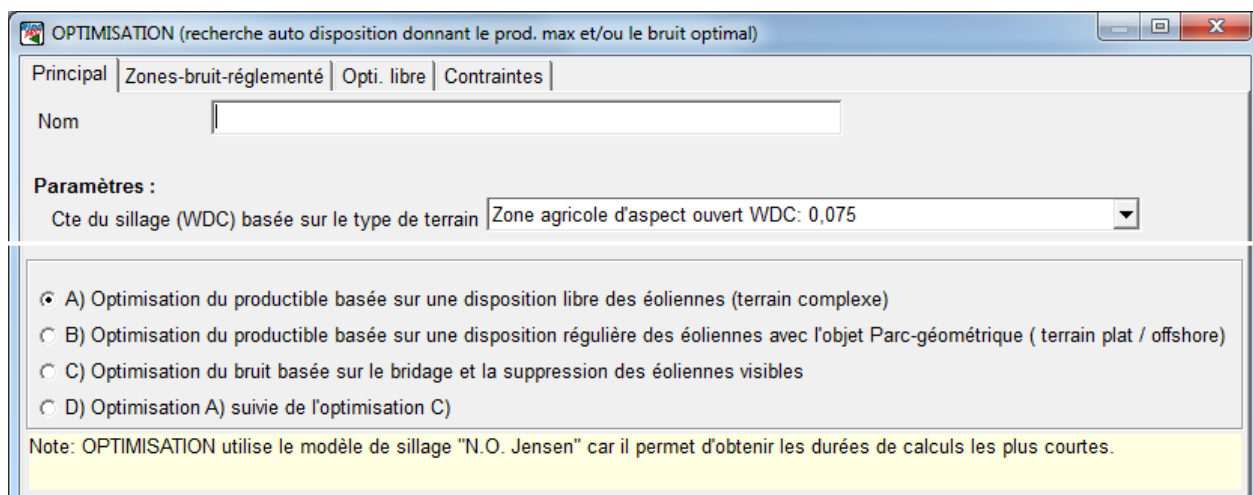


Figure 26

Onglet *Opti. libre* (voir Figure 27)

Description des options de paramétrage :

- *Sélectionnez un objet Aire-parc* : dans le cas où plusieurs objets ont été créés ce menu permet de choisir l'objet délimitant la surface du parc et contenant les contraintes d'optimisation.
- *Interdire les Zones-tampons des Zones-bruit-réglémenté* : en cochant cette option les *Zones-tampons des Zones-bruit-réglémenté* des calques actifs seront exclues des surfaces utilisables pour l'optimisation.
- *Source des données de vent* : si on coche *Fichier(s) ressources éoliennes* il faut indiquer l'emplacement du fichier en cliquant sur le bouton *Ajouter fichier(s) RSF* ; si on coche *Objet Météo*, toutes les données contenues dans les objets *Météo* du projet s'affichent dans le cadre et il faut choisir, en cliquant dessus, celles qui devront être utilisées pour le calcul (l'extrapolation de la vitesse du vent à hauteur de moyeu se fait à partir des valeurs de cisaillement contenues dans l'objet *Météo* choisi).
Si le fichier .rsf contient des données pour plusieurs hauteurs le choix se fait dans le menu déroulant à gauche de *m de haut*.
- *Résolution* : l'algorithme déplace les éoliennes sur les nœuds d'une maille, couvrant l'*Aire-parc*, jusqu'à trouver la disposition optimale. Une maille avec un pas (résolution) inférieur à 10m est déconseillé, un pas de 100m ne produira pas la meilleure disposition, un pas de 25m est un bon compromis entre précision du résultat et temps de calcul. On peut utiliser la résolution du fichier .rsf ou spécifier une autre résolution, dans ce cas WindPRO produit un fichier .rsf interpolé pour les besoins du calcul.

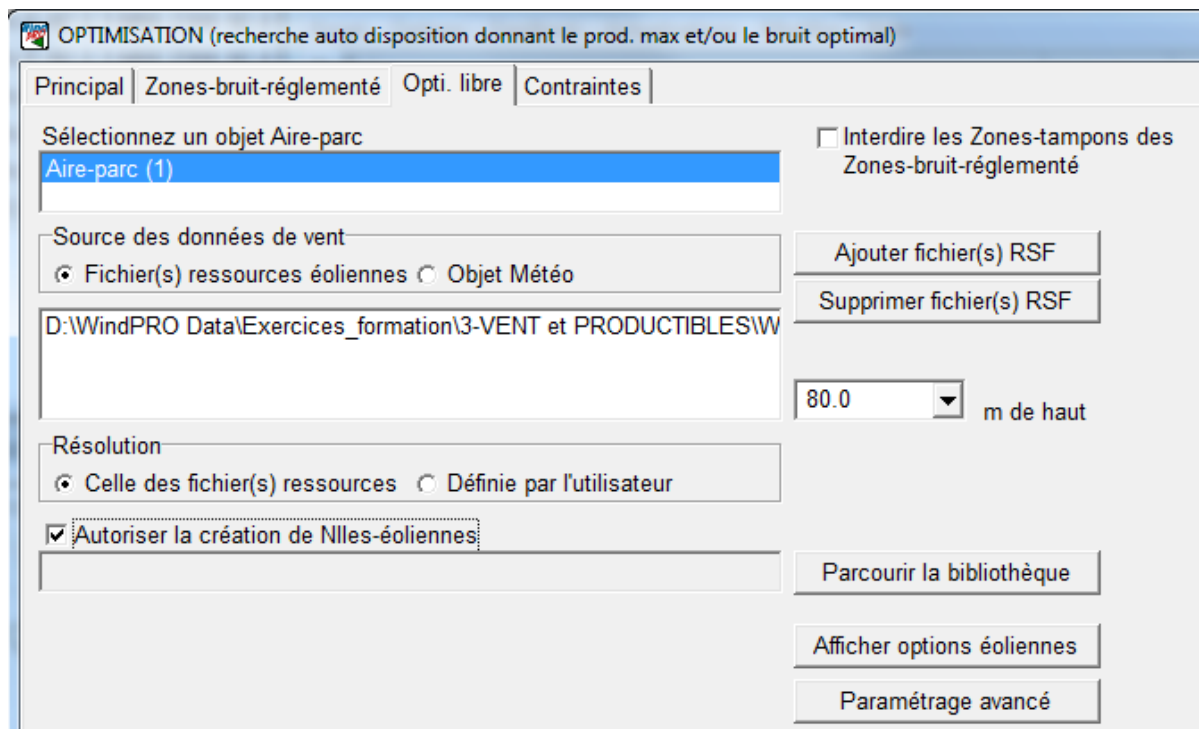


Figure 27

- *Autoriser la création de Nlles-éoliennes*, voir Figure 28 :
 - Si cette option est cochée, il faut choisir un type de machine en cliquant sur le bouton *Parcourir la bibliothèque*.
En cliquant sur le bouton *Afficher options éoliennes*, les options suivantes sont proposées pour le traitement des *Nouvelles-éolienne* déjà créées :
 - *Les effacer et créer de Nouvelles-éolienne* du type indiqué.
 - *Les conserver et les verrouiller à leur place*. Note : des éoliennes complémentaires seront créées si les contraintes le permettent.
 - *Les conserver et optimiser leur position*. Note : des éoliennes complémentaires seront créées si les contraintes le permettent (cette option permet de faire une optimisation avec plusieurs types d'éoliennes).

492 • 8.1.3 Optimisation du productible basée sur une disposition libre des éoliennes (option A)

- Si cette option n'est pas cochée, il faudra créer toutes les éoliennes. Dans le cas où l'objet *Aire-parc* est composé de plusieurs *Surfaces*, choisir une des deux options suivantes :
 - Les éoliennes devront rester dans leur surface de départ
 - Les éoliennes pourront être placées sur toutes les surfaces
 Ces options permettent de prendre en compte des contraintes foncières par exemple.

- *Nouvelles-éoliennes visibles hors de l'Aire-parc* : les deux options suivantes sont proposées :
 - Les intégrer au parc, dans ce cas elles seront intégrées et optimisées dans le parc
 - Les supprimer

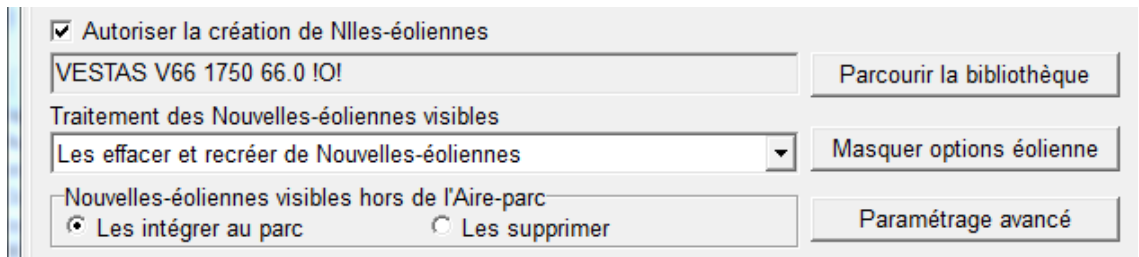


Figure 28

- Cas des *Eoliennes-existantes* (icônes bleues) : leurs effets seront pris en considération si elles se trouvent dans la zone couverte par le(s) fichier(s) .rsf (c.à.d. que des données de vent sont disponibles à leur emplacement), sinon leurs effets seront ignorés dans le processus d'optimisation et dans le calcul de productible associé. Dans le rapport PARK, le productible peut intégrer, ou pas, les éoliennes existantes selon que dans les *Propriétés de l'éolienne* l'option *Considérer que l'éolienne fait partie du parc* est cochée, ou pas, voir Figure 29.

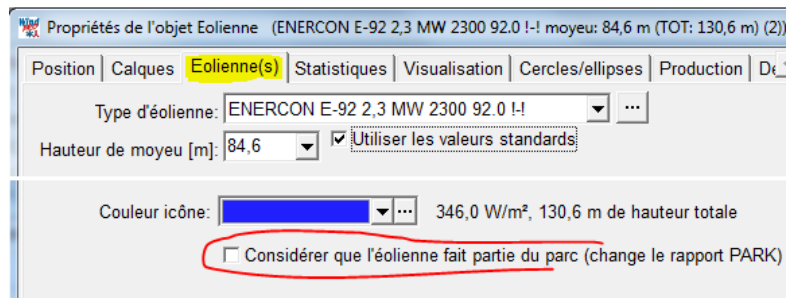


Figure 29

- *Paramétrage avancé* (voir Figure 28) : ce bouton ouvre la fenêtre *Paramétrage avancé de l'optimisation* de la Figure 30 dont l'utilisation est présentée à la suite :
 - *Nombre d'éoliennes à placer avant le verrouillage de leur position* : l'optimisation des grands parcs serait interminable si toutes les combinaisons possibles devaient être testées. Quand le nombre d'éoliennes optimisées est atteint, ici 20, le processus d'optimisation s'arrête et verrouille la position des éoliennes.

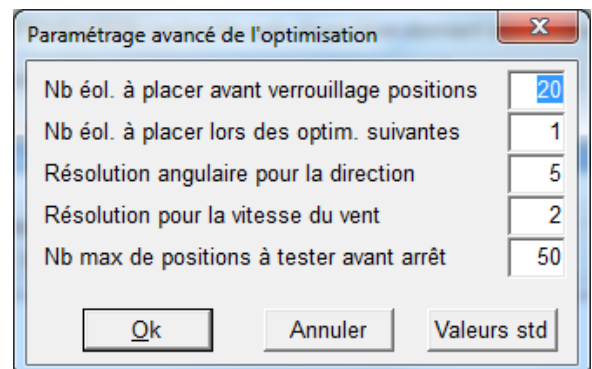


Figure 30

- *Nombre d'éoliennes à placer lors des optimisations suivantes* : les 20 premières éoliennes étant verrouillées à leur place, le processus d'optimisation ajoute les éoliennes suivantes. Ici, l'ajout se fait 1 par 1, à la place donnant le productible le plus élevé. L'ajout pourrait se faire, par exemple, par groupes de 5, cela accélérerait le calcul au détriment de la qualité de l'optimisation.
- *Résolution angulaire pour la direction* et *Résolution pour la vitesse du vent* : afin de limiter acceptablement le nombre de combinaisons, ici les effets des sillages sont calculés tous les 5 degrés et tous les 2 m/s. Après l'optimisation, pour connaître avec plus de précision le productible, on fait généralement un calcul PARK qui calcule les effets des sillages tous les degrés et tous les 1 m/s.

- *Nombre max de positions à tester avant arrêt* : ici, après le verrouillage des 20 premières éoliennes, et avant de placer chacune des suivantes, OPTIMISATION détermine, basé sur un modèle simplifié d'effet des sillages, les 50 dispositions les plus favorables et les teste 1 par 1 avant de placer l'éolienne. La réduction de cette valeur accélère le calcul mais diminue sa précision.

8.1.3.1 Contraintes d'optimisation

L'onglet *Contraintes*, voir Figure 31, permet de vérifier les différentes contraintes d'optimisation introduites via l'objet *Aire-parc*, afin de les valider, avant de lancer un calcul d'optimisation qui peut être très long.

Aux contraintes individuelles définies pour chaque *Surface* dans l'objet *Aire-parc*, vous pouvez ajouter, sous cet onglet, des *Contraintes globales à respecter* pour l'ensemble du parc. Remarque : la contrainte de *Distance min.* remplacera, dans ce cas, celles définies dans les contraintes individuelles définies pour chaque *Surface* et s'appliquera donc à toutes les éoliennes du parc.

Dans l'exemple de la Figure 31, Avec ces contraintes, au maximum, 12 ENERCON E-92... seront placées. Cette valeur est déterminée uniquement à partir du *Nombre max.* d'éoliennes et de la *Puissance max.*, de la ligne *Contraintes globales à respecter* ; elle ne tient pas compte des limitations imposées dans chaque *Surface* ni des *Distances min.* qui peuvent diminuer cette valeur.

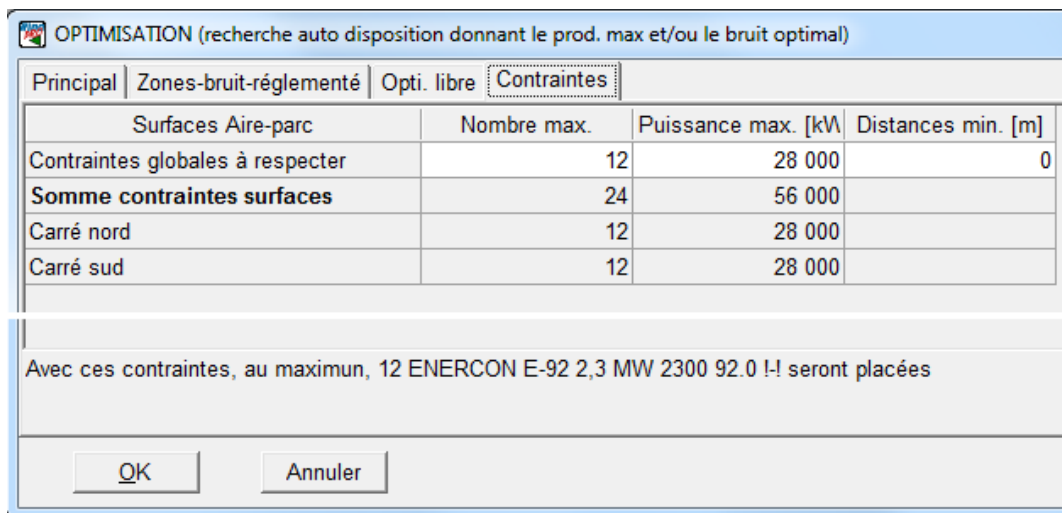


Figure 31

8.1.3.2 Utilisation de la fenêtre de Contrôle de l'OPTIMISATION

Cliquez sur le bouton *Ok* pour quitter la fenêtre de paramétrage et faire apparaître la fenêtre *Contrôle de l'OPTIMISATION*, cliquez sur la fenêtre *Cartes et objets* pour avoir à l'écran simultanément la carte et la fenêtre *Contrôle de l'OPTIMISATION*, voir Figure 32.

Note : cette fenêtre est l'une des rares qui peut rester ouverte tout en travaillant dans les fenêtres *Cartes et Objets*. L'option *Garder au premier plan* doit être utilisée avec circonspection car les messages d'erreur peuvent alors être masqués.

L'optimisation prend en compte uniquement les éoliennes visibles (calques actifs) et les éoliennes créées par le processus lui-même.

Quatre possibilités différentes de départ sont proposées via le pavé de boutons à droite de la fenêtre :

Calculer le productible :

Le bouton *Calculer le productible* lance le calcul du productible de la disposition affichée à l'écran à partir des données de vent choisies dans la fenêtre de paramétrage. Quand le calcul est terminé, une ligne avec les résultats s'affiche dans la fenêtre, voir Figure 32.

On peut ainsi comparer très rapidement différentes dispositions en les créant dans des calques différents ou optimiser manuellement une disposition en calculant le productible après chaque déplacement d'éolienne.

Pour revenir à une disposition antérieure, il suffit de sélectionner la ligne correspondante, d'appeler par un clic droit le menu contextuel et de cliquer sur *Restaurer la disposition* dans le menu.

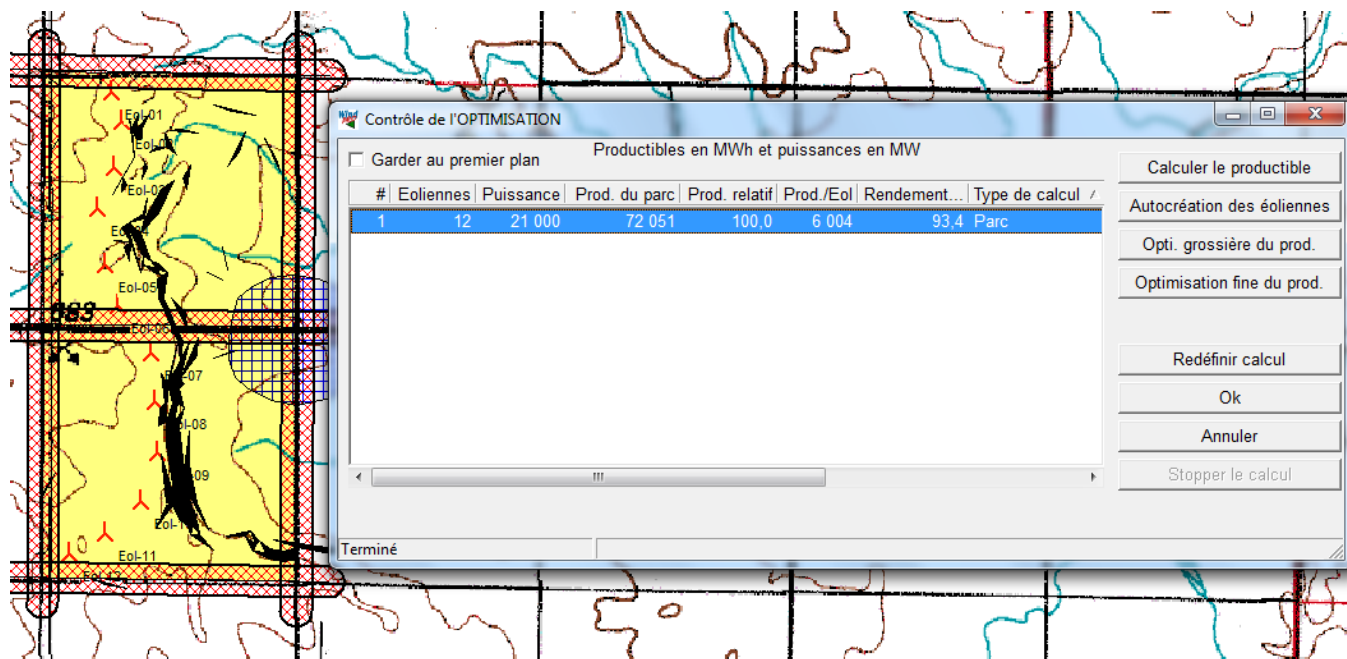
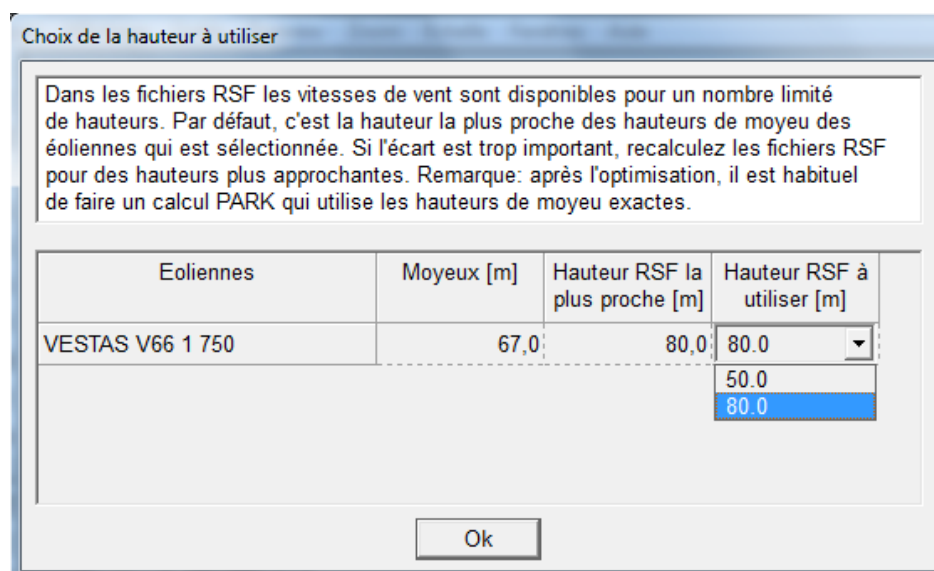


Figure 32

Note importante : pour réduire les temps de calculs OPTIMISATION utilise des procédures de calculs simplifiées par rapport à PARK et les résultats seront moins précis. Par conséquent, quand l'optimisation est achevée, il est recommandé de faire un calcul PARK pour calculer le productible de manière plus précise.



Quand un fichier de ressources est utilisé, OPTIMISATION vient lire directement les vitesses de vent dans le fichier ; si les hauteurs des moyeux des éoliennes ne correspondent avec celles des ressources du fichier .rsf, le productible calculé sera incorrect. Dans ce cas, la fenêtre de la Figure 33 apparaît où vous pouvez choisir la hauteur à utiliser ;

Figure 33

Autocréation des éoliennes :

Ce bouton a la même fonction que le bouton *Peupler d'éoliennes* de l'objet *Aire-parc*, voir 8.1.1.0. Cette opération n'est pas une optimisation mais un moyen pratique de remplir l'*Aire-parc* avec le nombre maximal d'éoliennes permis par les contraintes de *Distance entre éoliennes* spécifiées dans l'objet *Aire-parc*.

Optimisation grossière du productible :

Ce bouton lance une optimisation rapide basée sur les données du fichier ressources et les contraintes de *Distance entre éoliennes* ; l'algorithme est décrit au 8.0.1.0. Cette option permet d'avoir une première idée de la disposition optimale et d'introduire d'éventuels changements avant de lancer l'*Optimisation fine* dont la durée de calcul est beaucoup plus longue.

Optimisation fine du productible :

Ce bouton lance une optimisation qui prend en compte les effets des sillages. L'optimisation des grands parcs est très longue.

Tout d'abord une éolienne est placée sur le meilleur nœud de la maille du fichier .rsf, puis une deuxième est placée sur le nœud donnant le meilleur rendement d'ensemble, ensuite la première éolienne est déplacée à la recherche de deux bonnes positions, plutôt qu'une seule très bonne, qui serviront à la recherche du meilleur résultat global. Cette procédure se poursuit jusqu'au placement de toutes les éoliennes.

Un compromis doit être fait entre le niveau d'optimisation et le temps de calcul. Ce compromis est ajustable via le bouton *Paramétrage avancé* se trouvant sous l'onglet *Optimisation*. Il donne accès à fenêtre de *Paramétrage avancé de l'optimisation* de la Figure 30.

8.1.3.3 Exemple d'optimisation

A la suite est présenté un exemple d'optimisation d'un parc. Il n'y a pas une manière unique de procéder et la séquence suivie à pour seul objet d'illustrer les possibilités offertes par OPTIMISATION. Les étapes sont illustrées dans la Figure 34.

- 1) Le productible annuel de la configuration de départ est égal à 72051 MWh
- 2) Le résultat de l'*Optimisation grossière* donne un productible de 72772 MWh soit une amélioration de 1%.
- 3) Le résultat de l'*Optimisation fine* donne un productible de 74737 MWh soit une amélioration supplémentaire de 2,7%.
- 4) Puis certaines éoliennes sont déplacées manuellement vers des positions qui visuellement semblent meilleures, le productible résultant est de 74707 MWh soit une diminution 30 MWh par contre le *Rendement du parc* est légèrement amélioré.

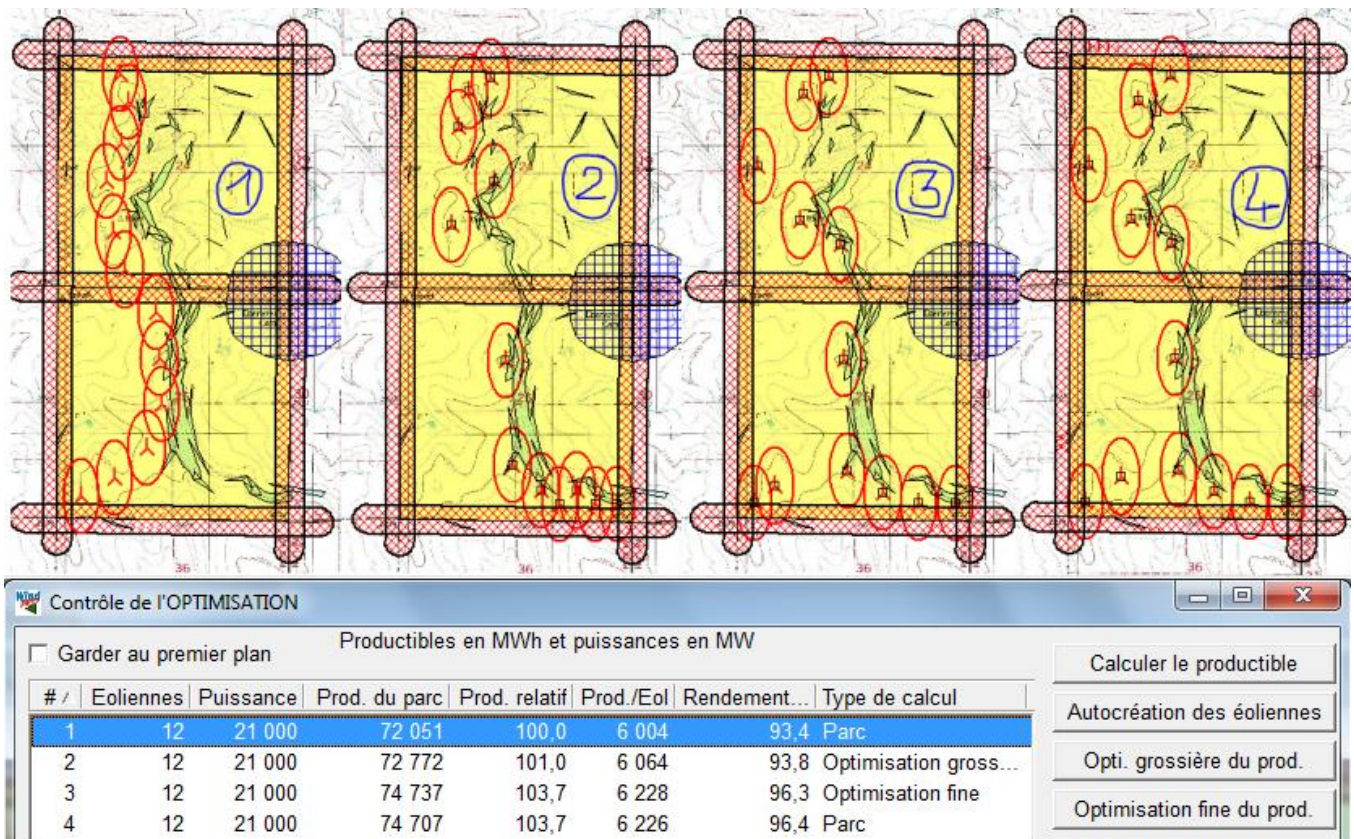


Figure 34

Quand les essais d'optimisation sont terminés, vous pouvez rétablir la disposition qui vous paraît la plus intéressante en la sélectionnant dans la liste par un clic gauche puis en faisant un clic droit pour ouvrir le menu contextuel proposant de *Restaurer la disposition* sélectionnée, voir Figure 35.

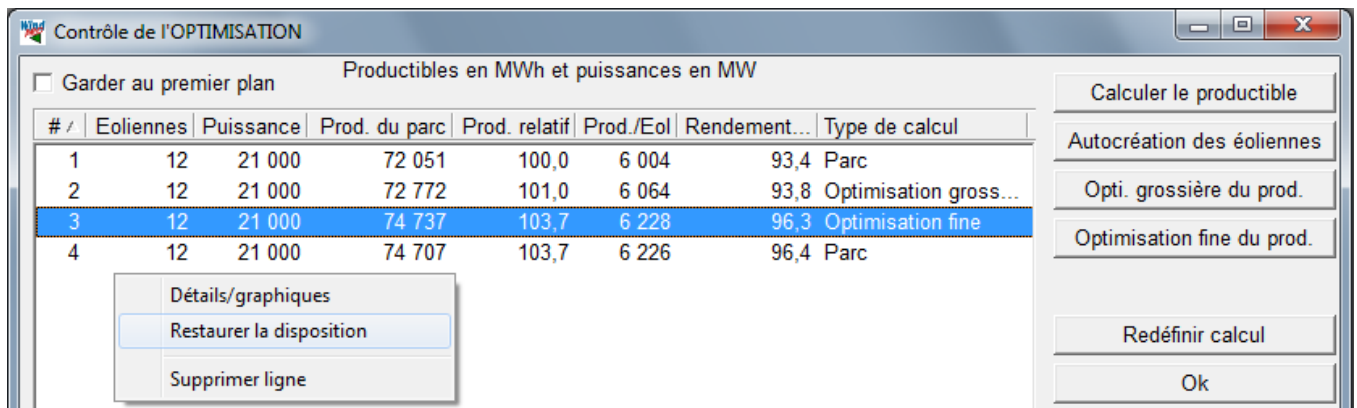


Figure 35

A partir de ce menu, en cliquant sur *Détails/graphiques*, on peut obtenir des informations détaillées par éolienne et des informations graphiques, voir Figure 36 et Figure 37.

Dans la fenêtre *Résultat détaillé de l'optimisation*, voir Figure 36, les informations des colonnes peuvent être listées en ordre croissant ou décroissant en cliquant sur le titre de la colonne.

Le bouton *Copier* permet copier les informations dans le presse-papiers puis de les coller dans une feuille de calcul par exemple.

Un clic sur le bouton *Graphiques* ouvre la fenêtre de la Figure 37.

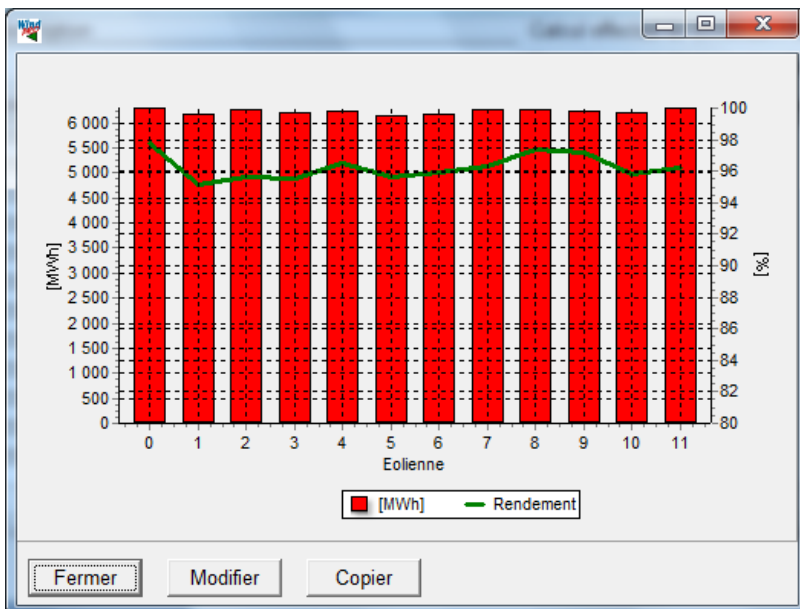
Résultat détaillé de l'optimisation

Calcul effectué le: 08/10/2013 22:31:03
Type de calcul: Optimisation grossière

Eolienne	Bridage	Productible [MWh]	Rendement [%]	MWh/MW [h]	Easting	Northing
REpower MM 70 2000 70.0	Config. 0	6 544	96,4	3 272	450 176	5 108 878
REpower MM 70 2000 70.0	Config. 0	6 545	96,6	3 272	451 376	5 108 678
REpower MM 70 2000 70.0	Config. 0	6 564	96,8	3 282	450 376	5 110 678
REpower MM 70 2000 70.0	Config. 0	6 595	97,3	3 297	450 776	5 108 878
REpower MM 70 2000 70.0	Config. 0	6 487	96,5	3 243	450 376	5 111 678
REpower MM 70 2000 70.0	Config. 0	6 496	97,7	3 248	449 976	5 108 678
REpower MM 70 2000 70.0	Config. 0	6 386	96,3	3 193	451 176	5 108 678
REpower MM 70 2000 70.0	Config. 0	6 496	98,1	3 248	449 976	5 111 078
		65 676				

Fermer Copier Graphiques

Figure 36



L'information graphique présente le productible et le rendement pour chaque éolienne. Le bouton *Modifier* ouvre une fenêtre de paramétrage de la présentation du graphique.

Figure 37

8.1.3.4 Rapport produit par le module OPTIMISATION

Un clic sur le bouton *Ok* de la fenêtre *Contrôle de l'OPTIMISATION* lance la génération du rapport.

Les valeurs de productibles, étant en général calculées à partir d'un fichier ressources (.rsf), peuvent différer légèrement de celles obtenues à partir d'un calcul PARK, car les nœuds de la maille du fichier ressources ne peuvent pas correspondre exactement avec les positions des éoliennes (quand on fait le *Calcul de productible* de la configuration de départ) et car les hauteurs de calcul de la carte des ressources peuvent ne pas correspondre aux hauteurs de moyeu. Il est, par conséquent, fortement recommandé d'effectuer un calcul PARK après l'optimisation pour estimer plus précisément le productible.

Outre la disposition optimisée, on peut représenter sur la carte du rapport la surface de l'objet *Aire-parc* ainsi que les ressources qui ont servi à faire l'optimisation.

Dans le cas où vous souhaitez retravailler sur une optimisation, il suffit de faire un clic avec le bouton droit de la souris sur le titre du rapport pour rouvrir la fenêtre *Contrôle de l'OPTIMISATION* avec les dernières dispositions.

8.1.4 Optimisation du bruit basée sur le bridage et l'arrêt des éoliennes (option C).

Les options présentées antérieurement concernaient l'optimisation de la disposition des machines, à partir de contraintes spatiales définies par l'utilisateur, afin d'obtenir le meilleur productible possible.

Une autre contrainte pouvant affecter l'implantation des machines d'un parc éolien est le bruit maximal permis dans les zones habitées voisines. En général, le respect des contraintes de bruit viendra en première considération avant l'optimisation du productible. Le calcul des niveaux du bruit d'un parc est décrit dans la section 4.

Pour avoir des temps de calcul acceptables, il est impossible de recalculer les niveaux du bruit pour chaque déplacement de machine lors de l'optimisation du productible.

Compte tenu de cette limitation, WindPRO propose les deux approches suivantes :

- L'utilisation de l'option *Isophones interactifs pour optimiser l'implantation* proposée dans le module DECIBEL (voir 4.1.3.3.) en conjonction avec la fenêtre de *Contrôle de l'OPTIMISATION* vue au 8.1.3.2. Ainsi après une optimisation spatiale, on peut ajuster manuellement à l'écran la position des éoliennes en se basant sur les isophones, *Calculer le productible* et ainsi de suite jusqu'à obtenir convenable.
- L'utilisation des possibilités de bridages des machines que proposent la plupart des constructeurs. Ainsi à partir d'une disposition donnée WindPRO calculera la combinaison de bridage des éoliennes donnant le productible le plus élevé tout en respectant les contraintes de bruit. C'est cette deuxième approche qui est décrite dans la suite.

8.1.4.5 Bridage des éoliennes

La plupart des fabricants proposent des fonctionnements en mode « bruit réduit » au prix d'une réduction de la production des machines. La réduction du bruit se choisi en sélectionnant la courbe de puissance « bridée » adéquate. Dans la *bibliothèque d'éoliennes* les courbes de puissance sont libellées *Level 0, Level 1, etc.* ; *Level 0* est la courbe de puissance sans bridage toujours utilisée sauf indication contraire, *Level 1* introduit une première réduction du bruit, *Level 2* une réduction supplémentaire du bruit, etc.

Les deux méthodes de bridage typiquement employées sont illustrées par la Figure 38 :

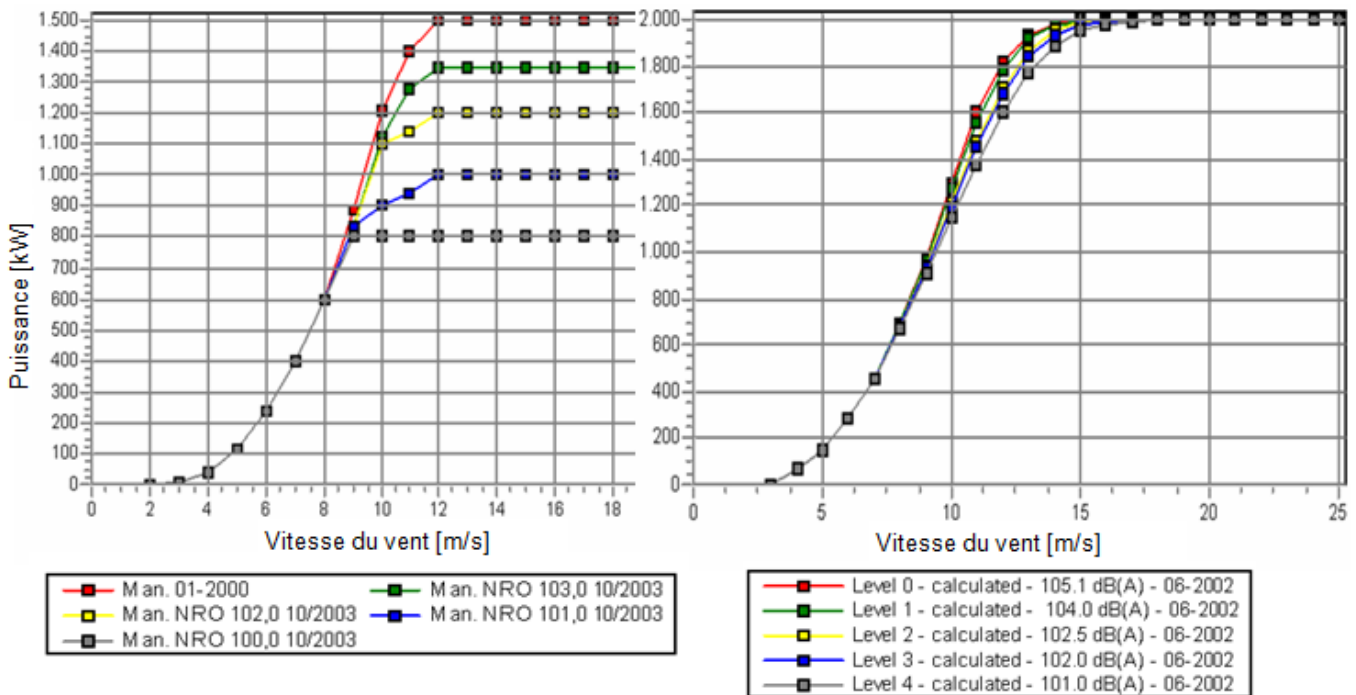


Figure 38

- La méthode « Danoise », graphique de droite, consiste à modifier la courbe de puissance dans l'intervalle des vitesses critiques pour le bruit et à laisser la courbe de puissance reprendre ses caractéristiques en dehors de cet intervalle.
- La méthode « allemande », graphique de gauche, consiste à limiter la puissance maximale de la machine. Ce type de bridage s'adapte mieux aux réglementations où les calculs se font en considérant le niveau maximal de bruit des éoliennes, comme en Allemagne.

Le choix de la courbe de puissance (bridage) qui doit être utilisé dans les calculs se fait dans les *Propriétés de l'objet Eolienne*, voir section 2 BASIS.

Pour les calculs spécifiques à l'optimisation du bruit, le choix des différentes courbes de puissances qui pourront être utilisés se définit de la manière suivante :

- Dans les *Propriétés de l'objet Eolienne*, décochez l'option *Utiliser les valeurs standards* et cochez l'option *Ava.(ncé)* pour faire apparaître les *Usages Optimiser* et *Ljsn*, voir Figure 39. Le mode *Ljsn* est décrit dans le chapitre consacré à DECIBEL dans la section 4, il n'est pas utilisable avec OPTIMISATION.

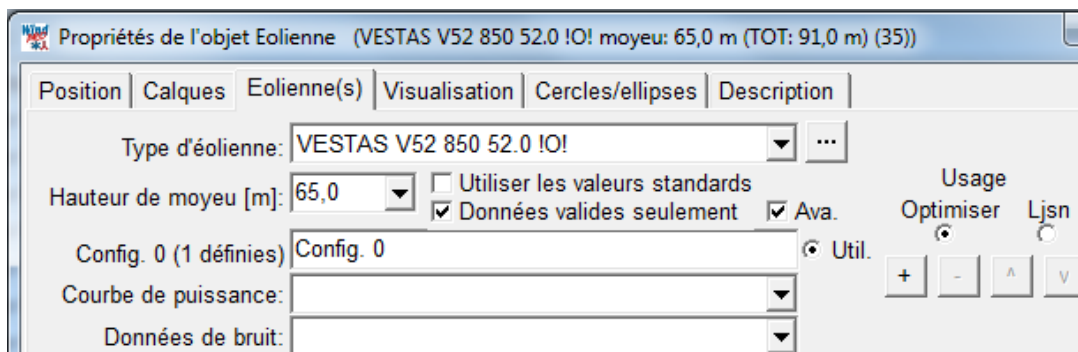


Figure 39

- Cochez l'option *Optimiser*, puis définissez la *Config. 0* (1^{er} niveau de bridage) à l'aide des menus *Courbe de puissance* et *Données de bruit*, il faut que la même courbe puissance (*Level*) soit utilisée dans les deux menus pour que les calculs de productible et de bruit soit cohérent, voir Figure 40.
- Cliquez sur le bouton « + » pour créer la *Config. 1* (2^{ème} niveau de bridage) et ainsi de suite. Les boutons « ^ » et « v » permettent de faire défiler les différentes *Configs*, le bouton « - » permet de supprimer une *Config*.
- L'option *Util.(ser)*, permet d'indiquer la *Config.* qui sera utilisé par les autres calculs.
- Quand la définition des bridages est terminée quittez par *Ok* les *Propriétés de l'objet Eolienne*.

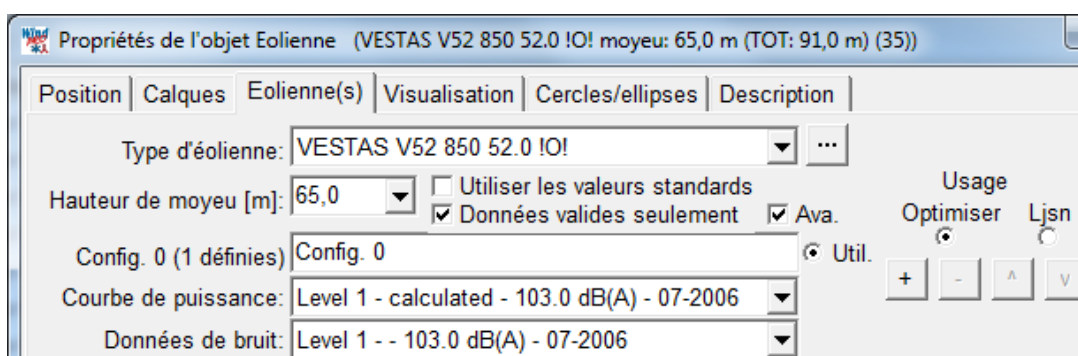


Figure 40

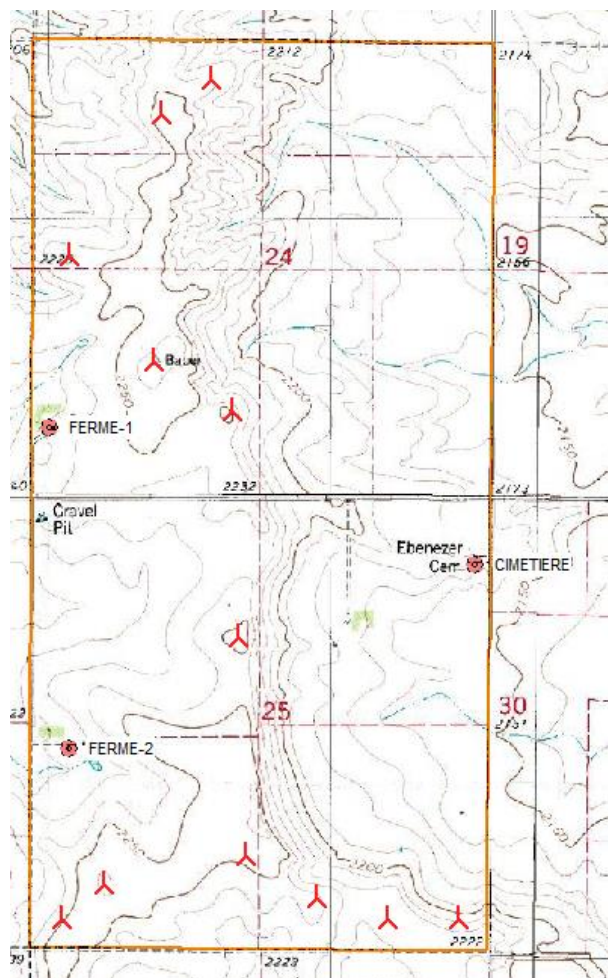
Note : si le projet comporte beaucoup d'éoliennes (identiques) utilisez le bouton *Modifications multiples* pour effectuer leur paramétrage en une seule opération.

8.1.4.6 Zones-bruit-réglementé

Les contraintes de bruit s'introduisent à l'aide d'objets *Zones-bruit-réglementé*. Leur utilisation est décrite décrit dans le chapitre consacré à DECIBEL dans la section 4.

500 • 8.1.4 Optimisation du bruit basée sur le bridage et l'arrêt des éoliennes (option C).

L'OPTIMISATION prend uniquement en compte les objets visibles. Dans le cas où les contraintes de bruit sont différentes pendant la journée et pendant la nuit, il est pratique de créer des objets avec les contraintes applicables la nuit dans un calque et des objets avec les contraintes applicables la journée dans un autre calque et de basculer du calcul d'optimisation de la journée à celui de la nuit simplement en activant et désactivant les calques correspondants.



La Figure 41 reprend la disposition spatiale résultant de l'Optimisation fine du 8.1.3.3.

Trois objets *Zone-bruit-réglémenté* ont été créés aux emplacements des deux fermes et du cimetière se trouvant dans la zone du parc.

Notez que lors de l'optimisation spatiale les *Zones-tampons* autour des objets *Zones-bruit-réglémenté* peuvent être prises en compte pour tenir compte de la distance minimale entre les éoliennes et les habitations, voir Figure 27.

Figure 41

8.1.4.7 Paramétrage du calcul

Dans la fenêtre *Calculs et rapports* lancez le calcul *OPTIMISATION*.

Dans l'onglet *Principal* de la fenêtre de paramétrage qui s'est ouverte, cochez l'option *C) Optimisation du bruit basée sur le bridage et la suppression des éoliennes visible*, voir Figure 42.

Note : l'arrêt d'une éolienne se traduit par la suppression de l'objet éolienne correspondant-

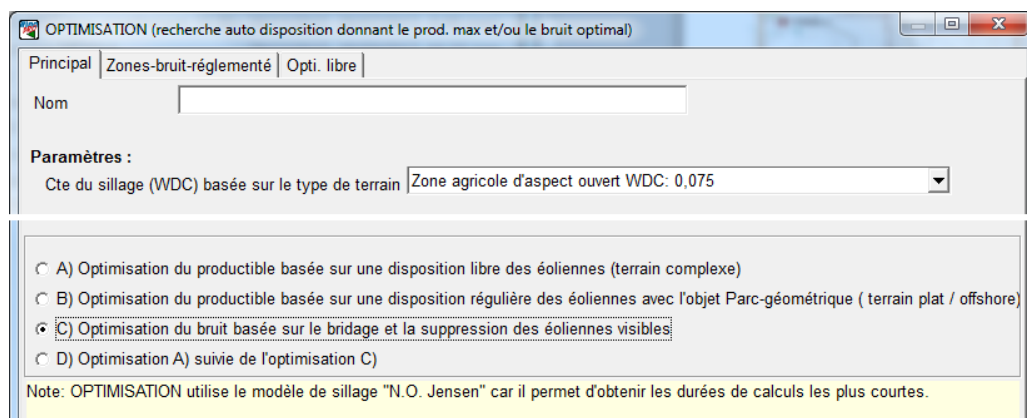


Figure 42

Passer à l'onglet *Opti.libre*, voir Figure 43.

Sélectionnez l'objet *Aire-parc* à utiliser et cliquez sur le bouton *Parcourir la bibliothèque* pour choisir un type d'éolienne, notez que ces deux paramètres ne servent que dans le cas où vous souhaitez utiliser l'*Autocréation des éoliennes*, voir Figure 44.

Cliquez sur le bouton *Modification des paramètres* pour ajuster le *Modèle de calcul du bruit* (reportez-vous au chapitre DECIBEL de la section 4 pour plus d'informations).

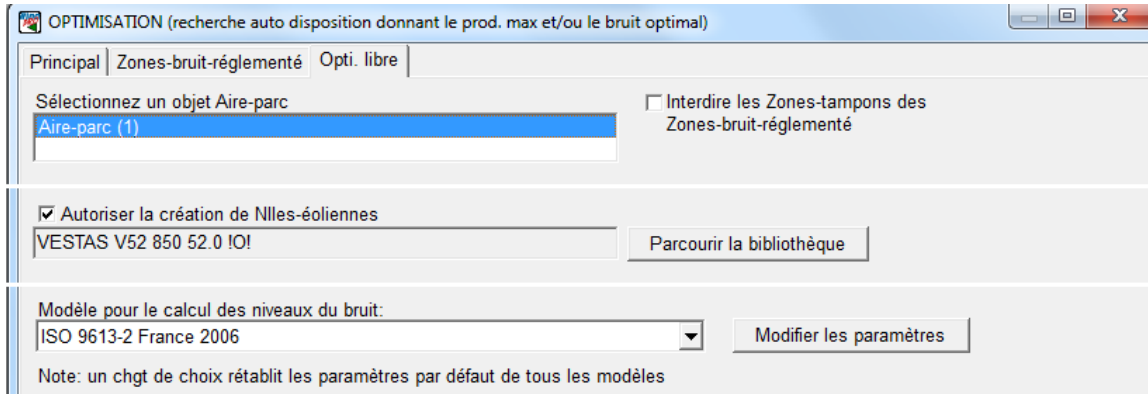


Figure 43

Cliquez sur le bouton *Ok* pour ouvrir la fenêtre de *Contrôle de l'OPTIMISATION*, voir Figure 44. *Autocréation des éoliennes* peuple l'*Aire-parc* avec le type d'éolienne choisie.

Optimisation du bruit lance l'optimisation du bridage des éoliennes de la disposition en place. La ligne résultat montre le nombre d'*Eoliennes* qui pourront rester en fonctionnement tout en respectant les contraintes de bruit ; le détail des bridages est donné dans la fenêtre *Résultat détaillé de l'optimisation*, voir Figure 45, qui s'ouvre en cliquant sur *Détails/graphiques* du menu contextuel, voir Figure 44. A l'issue de l'optimisation, le bridage et/ou la suppression est automatiquement appliqué aux éoliennes.

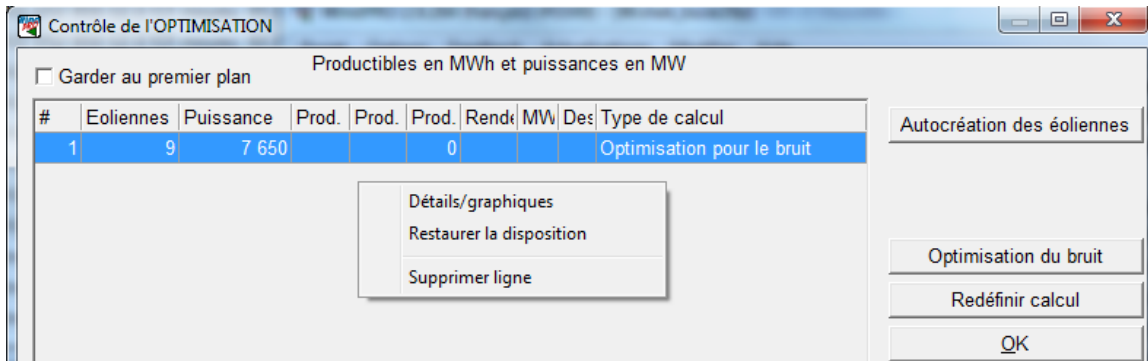


Figure 44

Eolienne	Bridage	Productible	Rendement	MWh/MW	Easting	Northing
VESTAS V52 850 52.0 !O! moyeu: 65,0 m (TOT: 91,0 m) (32)	Config. 4	0		0	450 608	5 110 150
VESTAS V52 850 52.0 !O! moyeu: 65,0 m (TOT: 91,0 m) (36)	Config. 0	0		0	451 283	5 110 674
VESTAS V52 850 52.0 !O! moyeu: 65,0 m (TOT: 91,0 m) (37)	Config. 4	0		0	450 131	5 108 785
VESTAS V52 850 52.0 !O! moyeu: 65,0 m (TOT: 91,0 m) (38)	Config. 0	0		0	450 659	5 111 682
VESTAS V52 850 52.0 !O! moyeu: 65,0 m (TOT: 91,0 m) (39)	Config. 1	0		0	451 427	5 108 721
VESTAS V52 850 52.0 !O! moyeu: 65,0 m (TOT: 91,0 m) (41)	Config. 4	0		0	450 980	5 108 960
VESTAS V52 850 52.0 !O! moyeu: 65,0 m (TOT: 91,0 m) (31)	Config. 4	0		0	450 592	5 109 670
VESTAS V52 850 52.0 !O! moyeu: 65,0 m (TOT: 91,0 m) (33)	Config. 3	0		0	450 328	5 110 870
VESTAS V52 850 52.0 !O! moyeu: 65,0 m (TOT: 91,0 m) (40)	Config. 4	0		0	450 451	5 108 936

Figure 45

8.1.5 Optimisation A) suivie l'optimisation C) (option D)

L'option D) combine les optimisations de la disposition et du bridage. Elle permet de faire les deux types d'optimisation sans avoir à lancer deux calculs OPTIMISATION séparés.

L'onglet *Opti. libre*, voir Figure 46, présente, dans ce cas, les paramètres relatifs aux deux types d'optimisations décrits antérieurement.

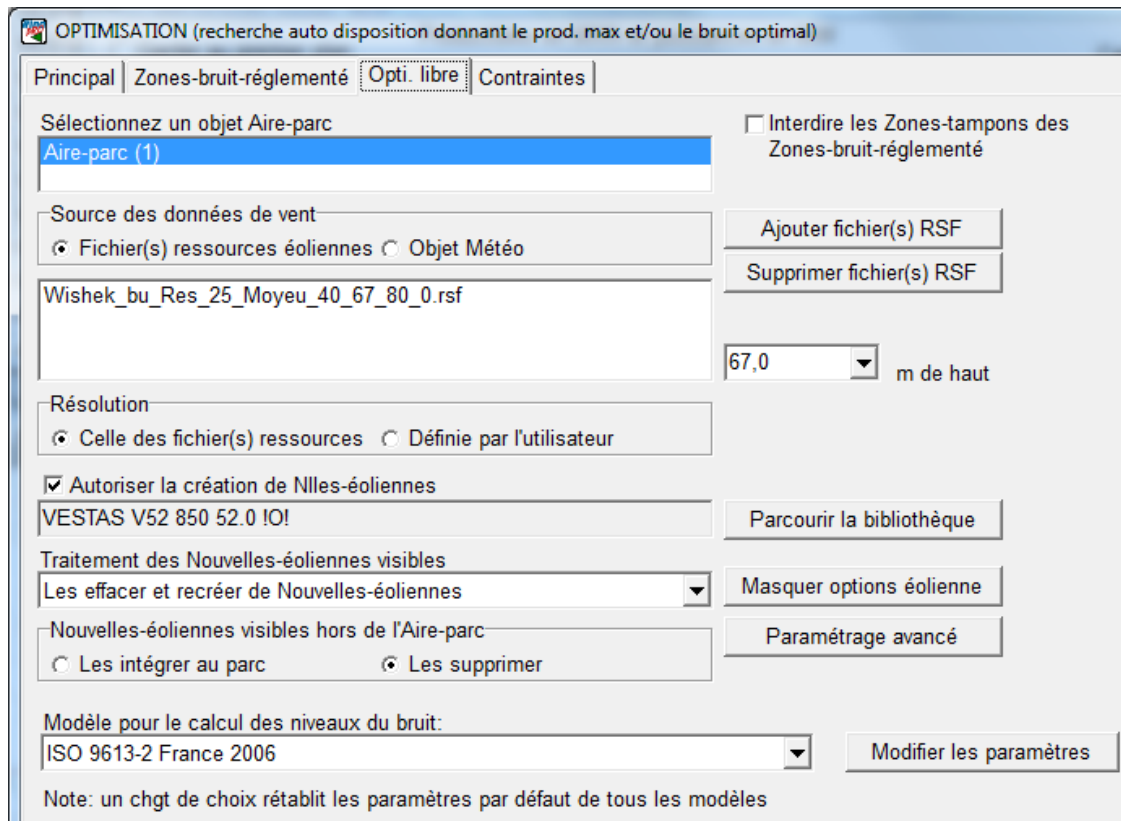


Figure 46

La fenêtre *Contrôle de l'OPTIMISATION*, voir Figure 47, présente, dans ce cas, les boutons relatifs aux deux types d'optimisations.

Cette option permet de d'effectuer une optimisation de la disposition suivie immédiatement d'une optimisation des bridages. Dans l'exemple suivant, on voit que le respect des contraintes de bruit impose l'arrêt d'1 machine, voir Figure 47, et le bridage de 5 machines, Figure 48.

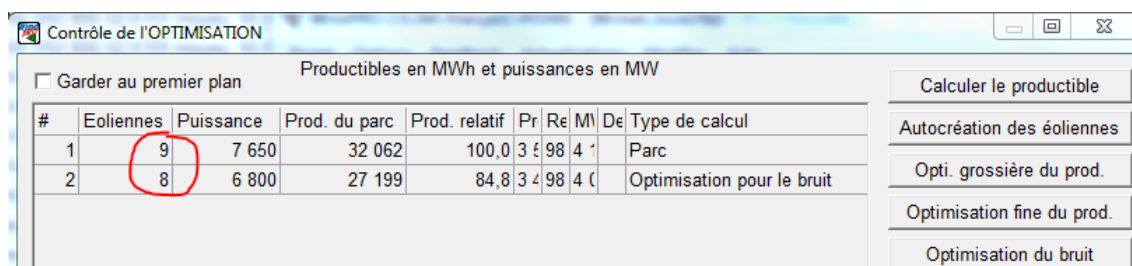


Figure 47

Résultat détaillé de l'optimisation						
Description			Calcul effectué le: 09/10/2013 00:55:59			
			Type de calcul: Optimisation pour le bruit			
Eolienne	Bridage	Productible [MWh]	Rendement [%]	MWh/MW [h]	Easting	Northing
VESTAS V52 850 52.0	Config. 4	3 286	98,3	3 866	450 608	5 110 150
VESTAS V52 850 52.0	Config. 0	3 423	99,0	4 028	451 283	5 110 674
VESTAS V52 850 52.0	Config. 4	3 348	99,2	3 939	450 131	5 108 785
VESTAS V52 850 52.0	Config. 0	3 590	99,5	4 224	450 659	5 111 682
VESTAS V52 850 52.0	Config. 0	3 628	99,0	4 268	451 427	5 108 721
VESTAS V52 850 52.0	Config. 3	3 304	98,6	3 887	450 980	5 108 960
VESTAS V52 850 52.0	Config. 4	3 286	98,0	3 866	450 592	5 109 670
VESTAS V52 850 52.0	Config. 4	3 333	98,3	3 922	450 451	5 108 936
		27 199				

Figure 48

