

11. Energie - MCP

11.0. Introduction, modèle et guide.....	570
11.0.0 Introduction.....	570
11.0.1 Le modèle MCP.....	571
11.0.1.0 Avant propos.....	571
11.0.1.1 Concept du modèle utilisé par MCP.....	571
11.0.2 Guide des étapes à suivre.....	572
11.1. Outils du module MCP.....	574
11.1.0 Données-Online.....	574
11.1.1 Outil de prévision basé sur une méthode par régression linéaire.....	574
11.1.2 Outil de prévision basé sur une méthode matricielle.....	575
11.1.3 Outil de prévision basé sur l'ajustement des paramètres de Weibull.....	575
11.1.4 Outil de prévision basé sur une méthode indicielle.....	576
11.2. Données de départ.....	577
11.2.0 Données de vent.....	577
11.2.1 Données topographiques.....	577
11.3. Calculs et rapports.....	578
11.3.0 Onglet Données.....	578
11.3.0.0 Chargement des données.....	578
11.3.0.1 Filtrage des données.....	579
11.3.1 Onglet Corrélation.....	580
11.3.1.0 Chargement des données.....	580
11.3.1.1 Corrélation.....	581
11.3.2 Onglet Prévision.....	584
11.3.2.0 Méthodes MCP utilisées.....	585
11.3.2.1 MCP par régression.....	586
11.3.2.2 MCP matricielle.....	591
11.3.2.3 MCP par ajustement des paramètres de Weibull.....	596
11.3.2.4 MCP indicielle.....	598
11.3.2.5 Bouton Rapport Synthèse.....	600
11.3.3 Onglet Configuration.....	601
11.3.4 Onglet En-tête rapports.....	601

11.0. Introduction, modèle et guide

11.0.0 Introduction

Ce chapitre est une introduction aux outils de MCP (Mesure-Corrélation-Prévision) implémentés dans WindPRO. Le module MCP de WindPRO propose :

- L'accès au service *Données-Online* qui permet de télécharger, de manière totalement automatisée dans des objets *Météo*, des données de vent de long terme nécessaires aux prévisions.
- Des fonctions de filtrages des données utilisées.
- Un outil de calcul de la corrélation, sur leur période commune, entre les données de long terme et les mesures.
- Un outil de prévision basé sur une méthode par régression linéaire.
- Un outil de prévision basé une méthode matricielle.
- Un outil de prévision basé sur l'ajustement linéaire des paramètres de Weibull.
- Un outil de prévision basé une méthode indicielle.
- La génération d'une série temporelle équivalente à des mesures de long terme.
- La génération automatique d'une *Statistique* éolienne représentative du long terme.

La boîte à outils du module MCP permet de corriger les mesures de vent, faites sur une courte durée, pour les rendre représentatives du long terme. Outre le choix entre plusieurs méthodes, le module produit des rapports de synthèse et d'analyse, spécifiques à chacune des méthodes, permettant à l'utilisateur de documenter les résultats obtenus. La licence MCP donne accès gratuitement, via le service *Données-Online*, au téléchargement des données de long terme du NCEP/NCAR, qui couvrent l'ensemble de la planète et aussi à celles des stations SYNOP et METAR du monde entier. De plus, le service *Données-Online* donne également accès à certaines données payantes avec le même confort d'utilisation.

Le module MCP ne peut exploiter que des données contenues dans les objets *Météo* de WindPRO. Ces objets permettent de d'importer des données de vent ayant les formats suivants : séries temporelles, tableaux (histogrammes) et distributions de Weibull. La plupart des méthodes de MCP nécessitent des *Mesures* site et des *Données de long terme* ayant dans leurs chronologies une *Période commune*. Les données relatives à la *Période commune* doivent se présenter obligatoirement sous la forme de séries temporelles. En dehors de cette période les *Données de long terme* peuvent être décrites sous forme de tableaux (histogrammes) ou sous forme de distributions de Weibull.

Le résultat obtenu est, typiquement, une *Statistique éolienne*, représentative de la climatologie régionale du vent à long terme, générée avec WASP à partir de la description de la topographie du site et des *Mesures* corrigées avec MCP. Ensuite, cette *Statistique éolienne* peut être directement utilisée pour les calculs avec le module PARK ainsi que pour le calcul de cartes des ressources éoliennes.

Pour des usages n'impliquant pas WASP (ou pour des analyses supplémentaires), MCP peut générer une série temporelle à l'emplacement exact des *Mesures* couvrant la même période que les *Données de long terme* ; cette série est alors stockée dans un nouvel objet *Météo* qui est créé automatiquement exactement au même endroit que l'objet *Météo* contenant les *Mesures* faites sur le site étudié.

11.0.1 Le modèle MCP

11.0.1.0 Avant propos

MCP est l'abréviation de Mesure-Corrélation-Prévision qui ici désigne l'ensemble des techniques mises en œuvre pour établir une *Statistique éolienne* régionale représentative du long terme pour le site étudié à partir des *Mesures* effectuées sur ce site pendant une période courte et des *Données de long terme* provenant d'un autre site plus ou moins proche.

Pour cela, il faut en premier lieu établir la fonction de transfert – reliant, pour la *Période commune*, les *Données de long terme* aux *Mesures* - qui a son tour permettra de générer des données équivalentes à des mesures de long terme. Ensuite, à partir de ces données, il faudra établir la *Statistique éolienne* à l'aide d'un modèle d'écoulement.

Globalement, MCP peut faire appels à quatre catégories (au moins) de modèles :

1. Modèles physiques (écoulement des fluides par exemple)
2. Modèles statistiques
3. Modèles empiriques
4. Autres (combinant les modèles précédents)

Selon le contexte d'utilisation on fait appel au modèle le mieux adapté.

Le format des données utilisées varie également. La méthode indicielle de MCP utilise des moyennes mensuelles ; à l'opposé, la méthode par régression de MCP utilise chaque donnée une à une pour établir la relation entre les *Mesures* sur site et les *Données de long terme*.

Ainsi, si on dispose des mesures d'un mât situé à proximité du parc étudié, on utilisera un modèle statistique pour « corriger » les mesures à partir de données de long terme, puis on utilisera WASP afin de transposer les mesures « corrigées » à l'emplacement du parc (via le calcul d'une *Statistique éolienne*).

Il n'y a pas de méthode universelle et l'utilisateur doit bien connaître les avantages et inconvénients de chaque méthode afin de choisir la mieux adaptée au cas étudié.

En général l'application de MCP a pour résultat la modification d'une ou plusieurs des grandeurs issues des mesures :

1. L'indice d'énergie du vent
2. L'indice de production d'éoliennes (à partir de la de la production mesurée des éoliennes)
3. Les paramètres A et k des distributions de Weibull des vitesses du vent
4. Les vitesses du vent et parfois aussi les directions

Avec WindPRO on agit sur les grandeurs (1), (3) et (4).

11.0.1.1 Concept du modèle utilisé par MCP

La Figure 1 illustre le concept utilisé par le module MCP de WindPRO.

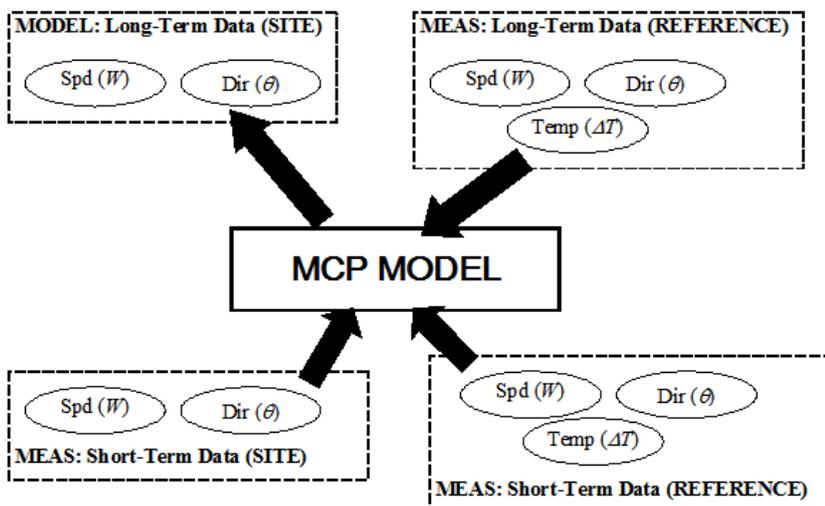


Figure 1

Trois ensembles distincts de données sont utilisés :

- A : les *Mesures* faites sur site
- B : les *Données de long terme* qui serviront pour la « correction » des mesures
- C : les *Données de long terme* concomitantes avec les *Mesures* faites sur site qui serviront à établir la fonction de transfert

Les données doivent avoir les formats suivants :

- Ensemble A : obligatoirement sous forme de séries temporelles
- Ensemble B : distributions de Weibull ou tableaux (histogrammes) ou séries temporelles.
- Ensemble C : obligatoirement sous forme de séries temporelles (*Période commune* avec A)

En plus des données de vitesse et de direction du vent, les modèles évolués peuvent utiliser de façon avantageuse les écarts de température. Dans son état actuel, le module MCP de WindPRO n'utilise que les données de vitesse et de direction du vent

Remarque: le module MCP de WindPRO fait toujours appel aux trois ensembles de données décrits précédemment. Souvent les *Données de long terme* se présentent entièrement sous forme de séries temporelles. Dans ce cas, WindPRO crée automatiquement les deux ensembles de données A et B à partir des séries temporelles.

11.0.2 Guide des étapes à suivre

Créez deux objets *Météo* et chargez dans l'un les *Mesures* et dans l'autre les *Données de long terme*. Si vous disposez de plusieurs jeux de *Données de long terme* créez un objet *Météo* pour chacun d'eux.

Créez un objet *Données-site* ayant pour *Usage Calculs de Statistiques éoliennes avec STATGEN*. Créez les liens vers les données de rugosité, les données altimétriques et les obstacles (voir détails de mise en œuvre dans la section 3).

Passez à la fenêtre *Calculs et rapports* et cliquez sur la flèche verte devant *MCP* qui ouvre la fenêtre de paramétrage du calcul :

- Allez à l'onglet *Données* pour sélectionner les *Mesures* et les *Données de long terme* à utiliser. Cliquez sur le bouton *Charger* pour charger les données dans MCP. Examinez les données et appliquez, si nécessaire, les corrections adéquates à l'aide de l'utilitaire *Filtrage des données*.
- Passez à l'onglet *Corrélation*, cliquez sur le bouton *Charger données* pour charger les données de la *Période commune* dans l'onglet *Corrélation* et vérifiez la pertinence des *Données de long terme* utilisées en examinant la *Moyenne pondérée des corrélations sectorielles*. Les boutons *Corrélation*, *Ratios* et *Rapports* donnent accès à des analyses supplémentaires de la corrélation. L'examen peut révéler des périodes où les données sont peu vraisemblables. Ces données peuvent être ignorées en les sélectionnant dans le tableau et en utilisant le pavé de boutons *Action*.
- Passez à l'onglet *Prévision* et choisissez la méthode à utiliser via les boutons *Ajouter MCP par régression*, etc. Chaque méthode a un paramétrage spécifique, mais les paramètres proposés par défaut sont bien adaptés aux contextes communs et il est par conséquent habituel de faire défiler les fenêtres de paramétrage sans faire de changements. Les méthodes par régression et matricielle produisent des graphiques comparant les *Mesures* aux mesures reconstituées en appliquant la fonction de transfert calculée aux *Données de long terme* de la *Période commune*. Cela permet de juger de l'efficacité de la fonction de transfert. La méthode indicelle produit un graphique comparant l'évolution mensuelle des indices de production des *Mesures* et des *Données de long terme*.

À l'issue de la procédure, WindPRO propose de lancer un calcul STATGEN afin de produire une *Statistique éolienne* représentative du long terme. Le calcul STATGEN requiert un objet *Données-site* configuré pour les calculs STATGEN.

Vous pouvez lancer successivement des calculs avec les différentes méthodes, vous pouvez également revenir à l'onglet *Données*, choisir un autre jeu de *Données de long terme* et répéter les calculs. Chaque calcul génère une ligne de résultats qui s'affiche dans le cadre inférieur de l'onglet *Prévision*.

En sélectionnant une ligne de résultats et en cliquant sur le bouton *Rapports* on accède à l'analyse détaillée des résultats qui vous permettra de choisir la correction la plus adéquate.

Sélectionnez la ligne de résultats voulue et cliquez sur le bouton *Enregistrer Stat. Eol.* pour ajouter la statistique à l'atlas de WindPRO afin de l'utiliser pour les calculs de productible avec PARK et WAsP (voir mode opératoire dans la section 3).

Vous pouvez aussi cliquer sur le bouton *Enregistrer ds Météo* pour enregistrer les « mesures corrigées » dans un nouvel objet *Météo* situé à l'emplacement exact des *Mesures*.

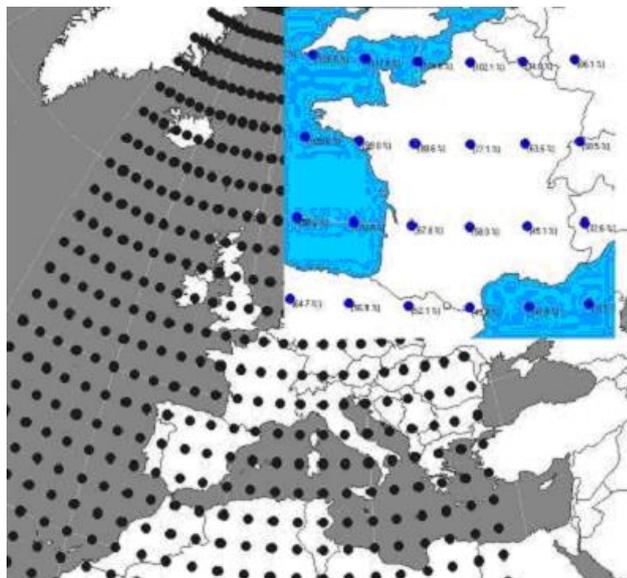
Quittez la fenêtre de paramétrage du calcul en cliquant sur bouton *Ok*, le paramétrage des calculs est enregistré et un rapport succinct est créé et listé dans le cadre *Nom* de la fenêtre *Calculs et rapports*.

En faisant un clic droit sur le titre du rapport en choisissant *Redéfinir calcul* dans le menu contextuel vous pouvez rappeler la fenêtre *Définir calcul* avec son contexte au moment de sa fermeture et reprendre les calculs où vous les avez laissés.

11.1. Outils du module MCP

Les outils du module MCP de WindPRO sont décrits brièvement à la suite.

11.1.0 Données-Online



La licence MCP donne accès, gratuitement, via le service *Données-Online*, au téléchargement de données de long terme à partir de différentes sources telles que le NCEP/NCAR, voir Figure 2.

Leur téléchargement se lance à partir d'un objet *Météo* en cliquant sur le bouton *Données-Online* qui ouvre une fenêtre présentant toutes les sources proposant des données dans le voisinage de la position de l'objet *Météo*.

Données-Online donne également accès à certaines données payantes qui se téléchargent en suivant la même procédure.

Si de nouvelles sources de données sont disponibles elles sont intégrées à *Données-Online* et apparaissent automatiquement dans la fenêtre listant les sources sans qu'il soit nécessaire de faire de mise à jour du logiciel.

Figure 2

11.1.1 Outil de prévision basé sur une méthode par régression linéaire

La fonction de transfert permettant de transformer les *Données de long terme* en données équivalente à des mesures de long terme se base sur une régression linéaire. Des graphiques animés, voir Figure 3 permettent de visualiser les droites de régression utilisées. Cette méthode propose un large éventail de paramètres finement ajustables qui permettent à l'utilisateur d'affiner les résultats. Des régressions polynomiales d'ordre supérieur sont également disponibles.

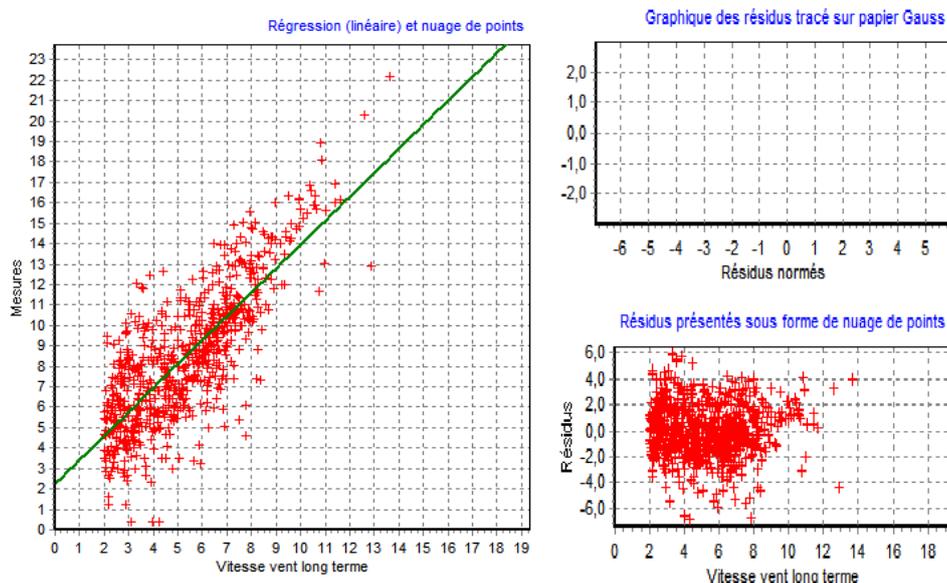


Figure 3

11.1.2 Outil de prévision basé sur une méthode matricielle

La fonction de transfert, utilisée par cette méthode, se fonde sur une matrice qui associe à chaque paire (vitesse, direction) des *Données de long terme*, l'ensemble des paires (vitesse, direction) correspondantes des *Mesures* sur le site pendant la *Période commune*. Chaque ensemble est caractérisé par la moyenne et l'écart-type des vitesses et par la moyenne et l'écart-type des directions.

MCP utilise ces moyennes et ces écarts-types pour la « correction ».

Etant donné que certaines combinaisons (vitesse, direction) n'existent pas dans les *Données long terme* de la *Période commune*, WindPRO propose de compléter la matrice par des procédés de lissage.

Il existe donc deux fonctions de transfert dont le choix de l'utilisation est laissé à l'appréciation de l'utilisateur, voir Figure 4.

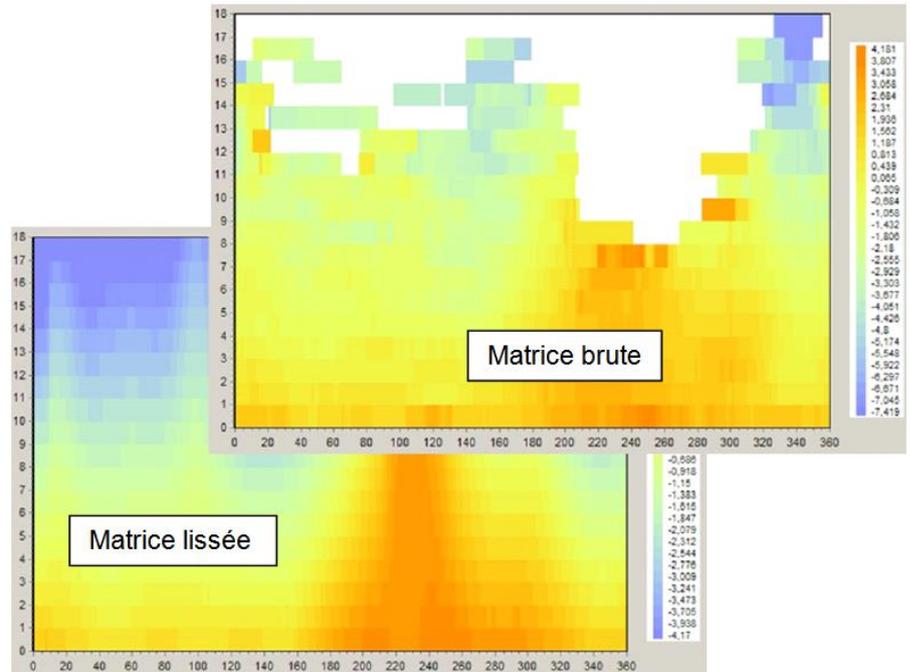


Figure 4

11.1.3 Outil de prévision basé sur l'ajustement des paramètres de Weibull

Cette méthode empirique est très simple. Elle agit, secteur par secteur, sur les paramètres d'échelle et de forme (A,k) de la distribution de Weibull et sur les fréquences du vent, voir Figure 5.

L'avantage de cette méthode est qu'elle s'adapte à la plupart des cas, sauf quand le vent ne peut pas être caractérisé par une distribution de Weibull

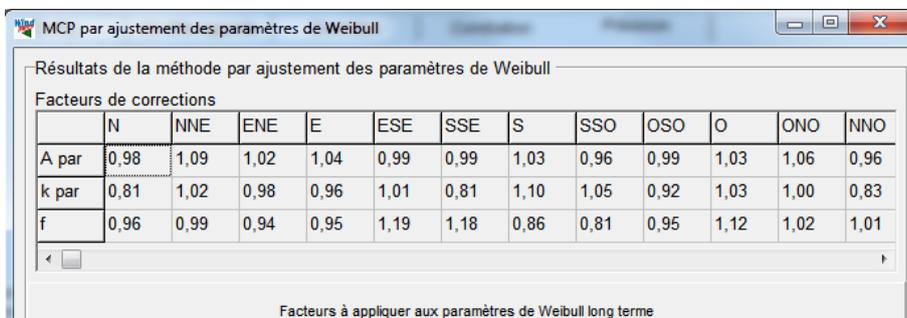


Figure 5

11.1.4 Outil de prévision basé sur une méthode indicielle

Cette méthode représente typiquement les méthodes qui utilisent seulement les moyennes mensuelles de production d'énergie et ignorent par conséquent la distribution des vitesses du vent par secteur. Bien que cette méthode paraisse triviale, par rapport à des méthodes plus sophistiquées, elle a l'avantage de donner des résultats fidèles et performants même quand les autres méthodes ne semblent plus fonctionner.

Cette méthode permet le calcul des indices de production d'énergie, voir Figure 6, soit en utilisant les courbes de puissance des éoliennes de la bibliothèque WindPRO, soit en utilisant des courbes de puissance « génériques ».

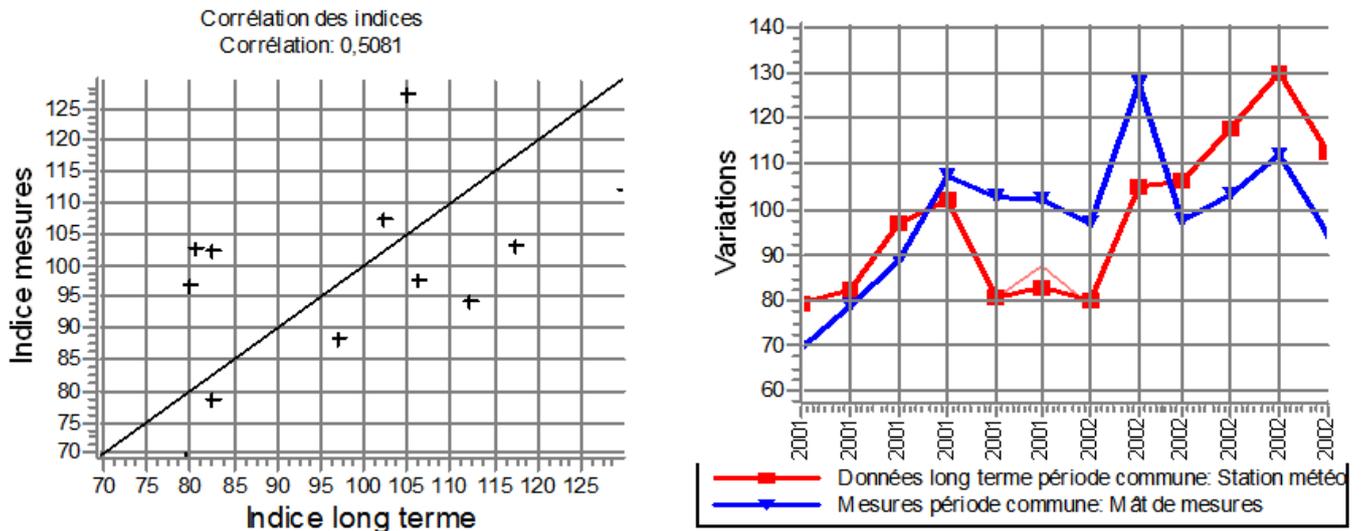


Figure 6

11.2. Données de départ

Pour une exploitation complète des possibilités du module MCP, les données de départ décrites à la suite doivent disponibles dans WindPRO.

11.2.0 Données de vent

Les données suivantes sont indispensables :

- *Mesures* de vent,
- *Données de long terme*,
- Les *Données de long terme* doivent avoir une *Période commune* avec les *Mesures*.

Format des données :

- *Mesures* de vent : obligatoirement sous forme de séries temporelles.
- Partie des *Données de long terme* appartenant à la *Période commune* : obligatoirement sous forme de séries temporelles.
- *Données de long terme* : sous forme de distributions de Weibull ou tableaux (histogrammes) ou séries temporelles.

Entrée des données :

- *Mesures* de vent : elles doivent être chargées dans un objet *Météo* positionné à l'emplacement exact où les mesures ont été faites. Il faudra aussi indiquer la hauteur des *Mesures* dans l'objet.
- *Données de long terme* sous forme de séries temporelles : elles doivent être chargées dans un objet *Météo* dont l'emplacement est indifférent. Dans ce cas WindPRO crée automatiquement l'ensemble des données concomitantes avec les *Mesures (Période commune)* et l'ensemble formé des autres données.
- *Données de long terme* sous forme mixte :
 - Les données sous forme de séries temporelles concomitantes avec les *Mesures (Période commune)* doivent être chargées dans un objet *Météo*.
 - La partie des données sous forme de distributions de Weibull ou de tableaux (histogrammes) doit être chargée dans un autre objet *Météo*.

11.2.1 Données topographiques

Pour mettre totalement à profit les possibilités du module MCP en convertissant automatiquement, avec WAsP, les « mesures corrigées » en *Statistique éolienne* représentative des caractéristiques du vent sur le long terme, il faut décrire la rugosité, l'orographie et les obstacles dans le voisinage des *Mesures* et créer un objet *Données-site* ayant pour *Usage Calculs de Statistiques éoliennes avec STATGEN* (pour plus d'information sur la création d'une *Statistique éolienne régionale*, reportez-vous à la section 3).

11.3. Calculs et rapports

Quand toutes les données nécessaires sont en place, passez à la fenêtre *Calculs et rapports* et cliquez sur la flèche verte devant *MCP (Mesure-...)*. Si la flèche est de couleur jaune c'est que vous n'avez pas de licence pour l'utilisation du module MCP.

Pour lancer un calcul, cliquez sur le triangle vert (module avec licenc...)

Energie

MCP MCP (Mesure-Corrélation-Prévision/génération stat. éoliennes)

La fenêtre de paramétrage du calcul s'ouvre automatiquement sur l'onglet *Données*, voir Figure 7. Il faudra ensuite parcourir les onglets en se déplaçant vers la droite jusqu'à la conclusion du calcul.

11.3.0 Onglet Données

C'est dans cet onglet que se fait le choix, et si nécessaire le filtrage, des données qui seront être utilisées pour les calculs.

11.3.0.0 Chargement des données

Sélectionnez, ci-dessous, l'option correspondante aux formats des données à utiliser:

Les Données de long terme se présentent sous forme de séries temporelles pour l'ensemble de la période.

Les Données de long terme sont une combinaison de tableaux ou de Weibulls et de séries temporelles pour la Période commune.

	Objet Météo et hauteur	Graphique	Date initiale	Date finale	Fréquence [mn]	Données	Utilisées [%]	Vmoy vent [m/s]	Séries temporelles?
1: Mesures	Mesures (1).50,0m -	<input checked="" type="checkbox"/>	21/05/2005	13/12/2007	10	132.015	100,0	5,08	Oui
2: Données de long terme	EmdConwx_N46.820_W000.520.50,0m -	<input checked="" type="checkbox"/>	01/01/1993	31/03/2013	60	177.459	100,0	6,26	Oui

Filtrage des données

Données: utiliser "ignorées" de l'objet Météo

Période: ignorer données hors intervalle spécifié

Intégrer: remplace valeurs par celles d'une moy. mobile

Horodatage: correction du décalage

Direction: correction du décalage

Il peut être intéressant de remplacer les valeurs de la série par celles d'une moyenne mobile. Les moyennes se feront sur l'intervalle [horodatage - le nb de minutes indiqué ci-dessous].

Moyenne sur minutes

Avertissement: ce calcul peut être assez long.

Graphique des séries (clic droit sur le graphique pour le modifier)

Charger

9
8
7
6
5
4
3
2
1
0

01/93 01/95 01/97 01/99 01/01 01/03 01/05 01/07 01/09 01/11 01/13

— 1: Mesures(Vitesse) — 2: Données de long terme(Vitesse)

Vitesse du vent Moyenne sur mois Jours fenêtre

Direction du vent

Indice prod. Période commune Afficher tout Copier graph.

Variabilité interannuelle de la Vmoy des Données de long terme: 3,3%

L'écart-type de la Vmoy annuelle n'est calculé que si les Données long terme couvrent au moins 5 ans.

OK Annuler

Figure 7

Tout d'abord, vous devez indiquer le format des données en choisissant soit *Les Données de long terme se présentent sous forme de séries temporelles pour l'ensemble de la période* soit *Les Données de long terme sont une combinaison de tableaux ou de Weibulls et de séries temporelles pour la Période commune*.

Ensuite vous devez indiquer où se trouvent les *Mesures* et les *Données de long terme* en utilisant les menus déroulants de la colonne *Objet Météo et hauteur*. Sélectionnez les objets *Météo* contenant les données.

Note : lorsqu'on coche l'option *Les Données de long terme sont une combinaison de tableaux...* un troisième menu - *Données LT (séries temp.)* - apparaît dans lequel il faut indiquer l'objet *Météo* contenant les séries temporelles des *Données de long terme* concomitantes avec les *Mesures (Période commune)*

Enfin, cliquez sur le bouton *Charger*, pour afficher les données sous forme de chronogrammes dans le cadre *Graphique des séries*.

Les *Mesures* sont tracées en bleu et les *Données de long terme* en rouge.

Un certain nombre d'options d'affichage sont proposés sous le graphique :

- *Vitesse du vent, Direction du vent* et *Indice prod.* permettent de comparer, respectivement, les vitesses du vent, les directions du vent et la variation de l'indice de production calculé, par défaut, à partir d'une courbe de puissance générique.
- *Jours fenêtre, Période commune, Afficher tout*, permettent, respectivement, de limiter les chronogrammes affichés au nombre de jours indiqué, d'afficher les chronogrammes pour la période de concomitance des données et d'afficher les chronogrammes pour l'ensemble des données (*Mesures* et *Données de long terme* en séries temporelles).
- *Moyennes sur* : les chronogrammes présentés sont les moyennes glissantes des données calculées sur la durée spécifiée dans ce champ (1 mois par défaut).

Note : la *Variabilité interannuelle de la Vmoy des Données de long terme* s'utilise pour les calculs avec le module PERTES&INCERTITUDES. Comme indiqué, cette valeur n'est calculée que si les *Données de long terme* couvrent une période d'au moins 5 ans, de plus, il faut que ces données soient sous forme de séries temporelles.

REMARQUE: dans cet onglet, le plus important est d'évaluer la qualité des *Données de long terme* utilisées. Souvent ces données, issues des stations météo, présentent des tendances. Par exemple, la croissance de la végétation autour de la station peut se traduire par une diminution constante de la vitesse moyenne du vent. De telles données ne sont pas représentatives du long terme ! Un moyen de lever le doute est de les comparer à d'autres *Données de long terme* en les chargeant à la place des *Mesures* (par exemple les données du NCAR accessibles via le service *Données-Online*).

11.3.0.1 Filtrage des données

La représentation graphique des données – courbes bleu et rouge - permet d'avoir une première indication visuelle sur leur niveau de corrélation. Des chronogrammes présentant des variations similaires indiquent que les *Données de long terme* choisies sont représentatives de la climatologie du vent à l'emplacement des *Mesures*.

Les chronogrammes peuvent être affectés par des défauts qui peuvent masquer ou détériorer le niveau réel de corrélation. Ces défauts peuvent être corrigés en utilisant les options de filtrage contenues dans le cadre *Filtrage des données*.

Dans la partie supérieure de ce cadre, des options à cocher permettent de sélectionner les types de filtrage à appliquer aux *Mesures* et aux *Données de long terme*. Les choix faits dans la partie supérieure activent les onglets du classeur situé dans la partie inférieure du cadre dans lesquels se font les paramétrages des filtres.

Les filtres suivants sont possibles :

- *Données : utiliser "ignorées" de l'objet Météo*, ce filtre donne la possibilité d'utiliser, dans les calculs MCP, les données marquées « ignorées » dans l'objet *Météo*, par défaut elles ne sont pas utilisées.
- *Période : ignorer données hors intervalle spécifié*, ce filtre permet d'exclure des calculs les données situées à l'extérieur d'une période délimitée par l'utilisateur.
- *Intégrer : remplace valeurs par celles d'une moy. Mobile*, ce filtre remplace chaque valeur horodatée hh:mm par la moyenne des valeurs sur la période hh:mm moins l'intervalle spécifié (moyenne mobile). Habituellement les valeurs sont des moyennes sur les 10 mn précédant le tampon d'horodatage ; par exemple si les *Mesures* sont des séries avec une périodicité de 10 mn et si les *Données de long terme* se présentent sous forme de séries tri-horaires dont les valeurs ne sont les moyennes sur les 10 dernières minutes mais la moyenne sur les 3 heures précédant le tampon, il est préférable de remplacer les valeurs des *Mesures* par la moyenne des valeurs des 3 heures précédentes afin d'avoir des grandeurs de nature comparable.
- *Horodatage : correction du décalage*, si les chronogrammes mettent en évidence un décalage entre les *Mesures* et les *Données de long terme*, ce filtre permet de « retarder » ou « d'avancer » les séries afin de les synchroniser.
- *Direction : correction du décalage*, ce filtre permet de « faire tourner la rose », par exemple, pour corriger les *Mesures* lorsque le zéro de la girouette ne coïncide pas avec le nord.

- *Filtrer les séries de données*, une fois les filtrages définis, cliquez sur ce bouton pour appliquer le filtrage. Sur le graphique apparaissent alors des courbes fines représentant les données non filtrées et des courbes grasses représentant données filtrées, voir Figure 8.

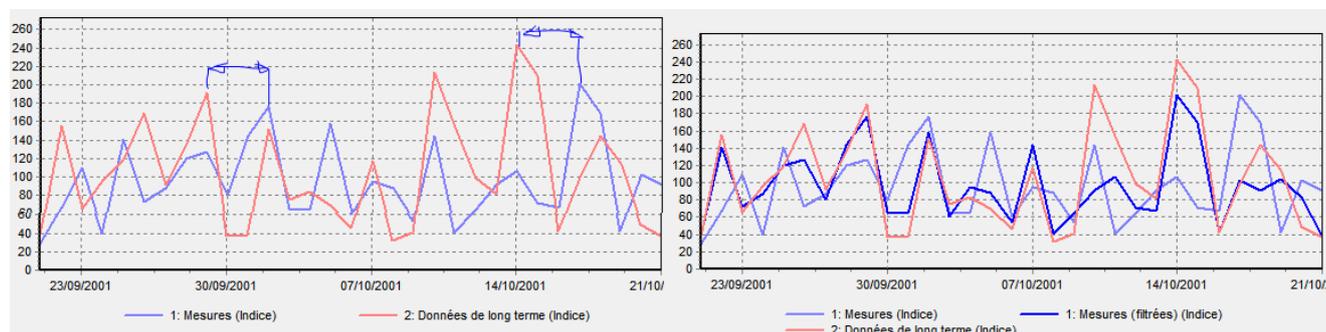


Figure 8

- *Supprimer filtrage*, ce bouton rétablit l'état avant filtrages.
- *Créer un objet Météo contenant les données filtrées*, ce bouton duplique l'objet *Météo* contenant les données et les remplace par les données filtrées.

11.3.1 Onglet Corrélation

C'est dans l'onglet *Corrélation* que l'on examine le niveau de corrélation existant entre les *Mesures* et les *Données de long terme* pour la *Période commune*. Bien que l'analyse de la corrélation commence dans l'onglet *Données* et se poursuive dans l'onglet *Prévision* (où l'on choisit la méthode MCP à appliquer), c'est principalement dans cet onglet que se fait l'analyse.

Il y a corrélation quand il existe une relation systématique entre les données concomitantes des deux séries. Cette relation peut être linéaire, polynomiale, non linéaire, se produire sur les moyennes mensuelles, etc.

Il est essentiel d'analyser le niveau de corrélation entre les *Mesures* et les *Données de long terme*, car un niveau faible se traduira par une prévision de faible qualité qui conduira à des calculs de productibles erronés.

Une mauvaise corrélation peut être due à des *Données de long terme* mal choisies ; par exemple, le mât de *Mesures* est situé sur le versant d'une montagne et les *Données de long terme* proviennent d'une station météo située sur le versant opposé où la climatologie du vent est très différente. Mais une mauvaise corrélation peut aussi être due à des *Mesures* de mauvaise qualité résultant de problèmes avec les capteurs. Si l'on constate que ce type de problème affecte seulement des parties des *Mesures*, les données correspondantes peuvent être ignorées (période de gel des capteurs par ex.). Il faut donc veiller à n'injecter que des données de bonne qualité dans MCP.

REMARQUE: le but de cette analyse n'est pas d'éliminer les données présentant un faible niveau de corrélation ; ceci fausserait les données à la base de la prévision. Extraire des données présentant une bonne corrélation de deux ensembles de données présentant globalement une faible corrélation donnera une prévision à laquelle aucune confiance ne pourra être accordée.

11.3.1.0 Chargement des données

Passer à l'onglet *Corrélation*, voir Figure 9, et cliquez sur *Charger données* pour extraire les données concomitantes des séries *Mesures* et *Données de long terme*. Si un filtrage a été appliqué, ce sont les données filtrées qui sont extraites.

WindPRO tolère un décalage d'horodatage entre les *Données de long terme* et les *Mesures*. La tolérance maximale permise s'indique dans le champ *Ecart maximal d'horodatage acceptable*.

Les données relatives à la *Période commune* peuvent être directement examinées dans le tableau au bas de l'onglet. Les données peuvent être ordonnées en cliquant sur les en-têtes des colonnes.

Sous le texte *Vitesse min. et écart de direction max.*...il y a deux champs qui permettent d'indiquer un seuil de vitesse *min* et un seuil d'écart de direction *max*. Les données ne respectant ces seuils ne sont pas prises en compte pour le calcul de la corrélation. Les valeurs ignorées apparaissent en gris dans le tableau, voir Figure 9. Par défaut, les seuils sont positionnés à 4m/s et 99 degrés.

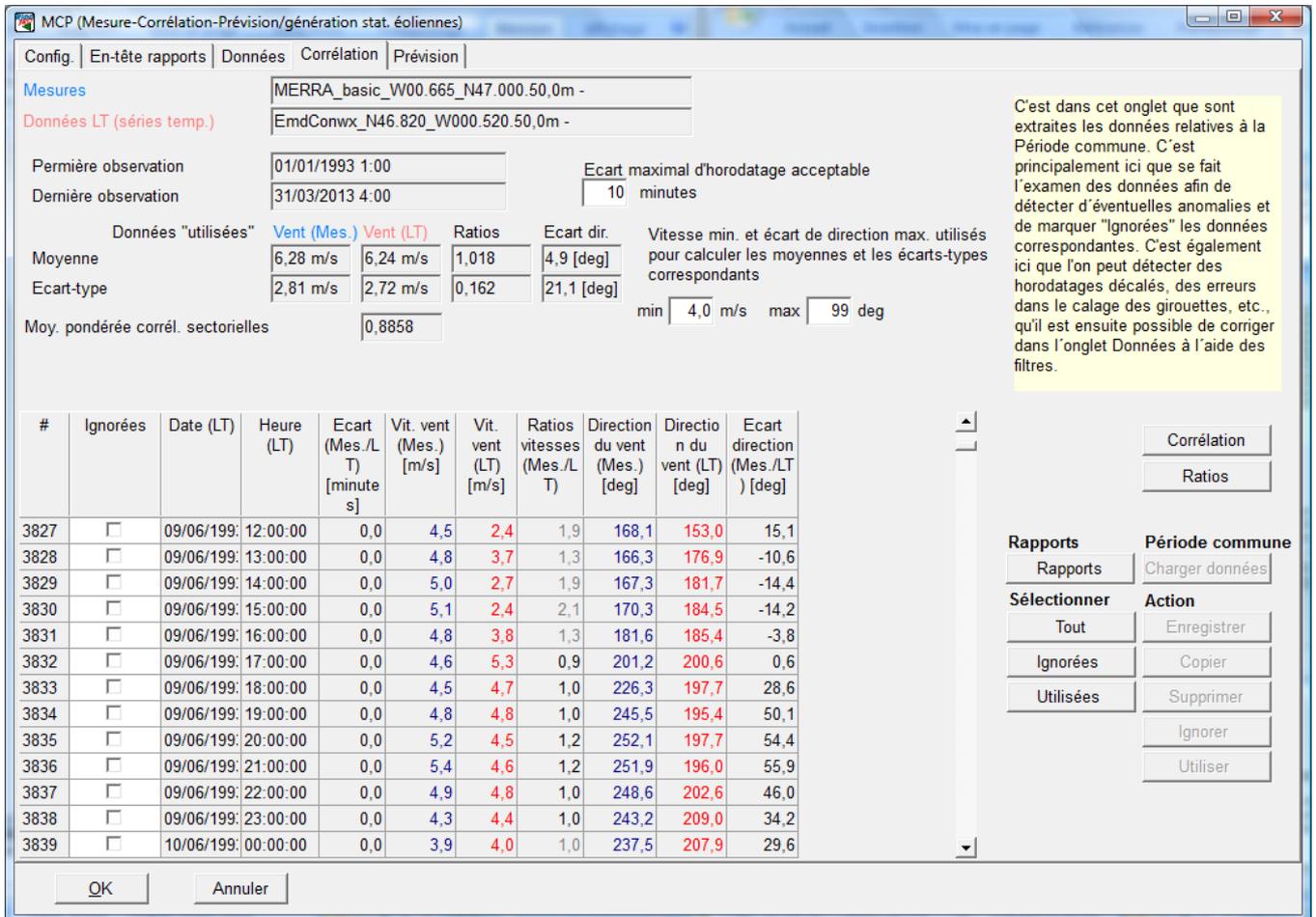


Figure 9

11.3.1.1 Corrélation

La partie supérieure de l'onglet présente des résultats statistiques se rapportant aux vitesses du vent et aux différences de direction du vent (*Ecart dir.*).

Sous ces résultats se trouve la valeur essentielle : la *Moyenne pondérée des corrélations sectorielles* qui est la moyenne des coefficients de corrélation de chaque secteur (30°) après leur avoir appliqué un poids proportionnel à la fréquence du vent dans le secteur (les fréquences des *Données de long terme* sont utilisées pour la pondération).

Coefficient de corrélation	Pertinence des <i>Données de long terme</i>
0,5 à 0,6	Très mauvaise
0,6 à 0,7	Mauvaise
0,7 à 0,8	Moyenne
0,8 à 0,9	Bonne
0,9 à 1	Très bonne

La table ci-contre permet d'estimer la pertinence des *Données de long terme* choisies en fonction de la valeur du coefficient de corrélation. Un coefficient de corrélation élevé ne garantit pas l'excellence de la prévision, de même qu'un coefficient de corrélation faible n'exclut pas de faire une bonne prévision. Néanmoins le coefficient de corrélation reste un bon indicateur.

Ici, le coefficient de corrélation est le coefficient de corrélation linéaire habituellement appelé « r ».

Utilisation des boutons situés dans la partie droite de l'onglet

Corrélation : ce bouton ouvre la fenêtre *Corrélation* de la Figure 10 qui présente les chronogrammes des *Mesures* et des *Données long terme* relatifs à leur *Période commune*.

Le menu déroulant *Moyenne sur* permet de présenter les chronogrammes des moyennes glissantes sur *1 an*, *1 mois*, *1 semaine*, *1 jour* ou *pas de moyenne*.

Les options *Vitesse du vent*, *Direction du vent* et *Indice prod.* permettent d'afficher les chronogrammes des grandeurs correspondantes.

Les résultats *Corrélation* et *Err-typ* se rapportent à la *Moyenne sur* choisie. *Corrélation* est le coefficient de corrélation « r » et l'*Err-typ* est l'écart-type des différences.

Les chronogrammes ont pour objectif de se faire une idée qualitative de la corrélation. Si les *Données long terme* appartiennent à la même zone climatologique que les *Mesures* les chronogrammes montreront des « hauts » et des « bas » synchrones. L'*Indice prod.* permet de se faire une idée de la variation du productible mensuel qui peut être attendue.

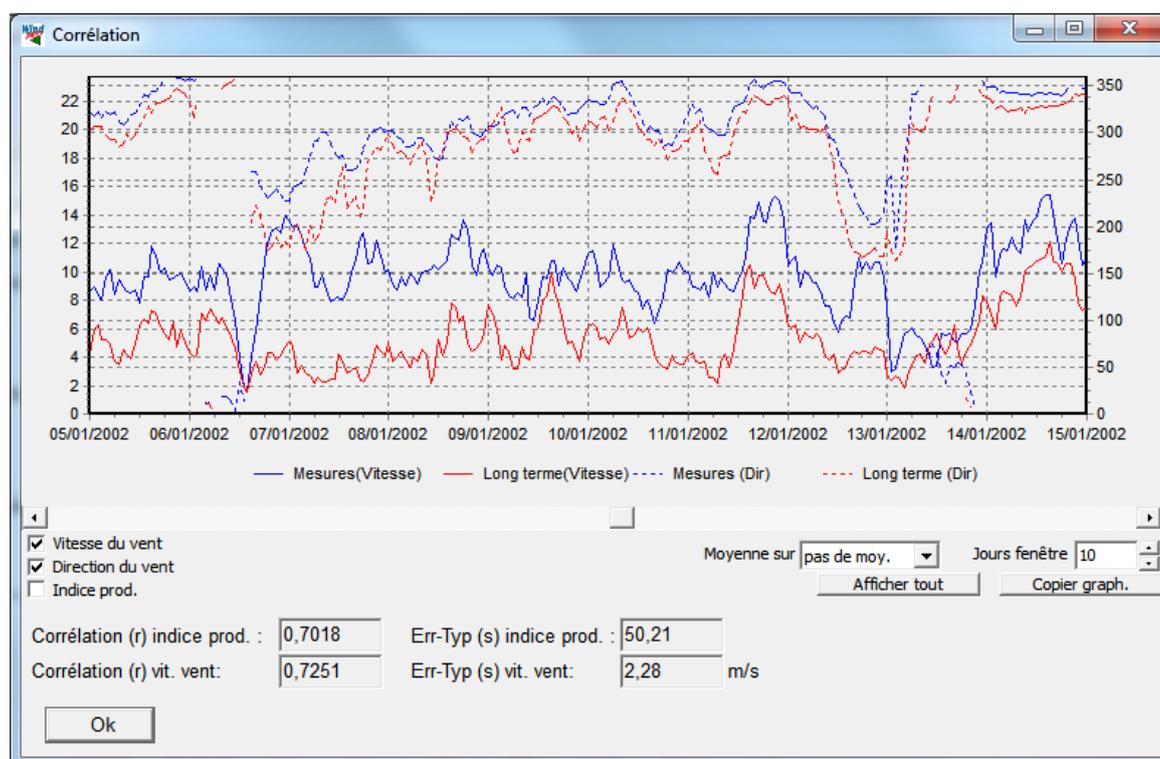


Figure 10

Rapports : ce bouton ouvre la fenêtre de la Figure 11 qui donne accès à des rapports permettant de documenter l'étude de corrélation.

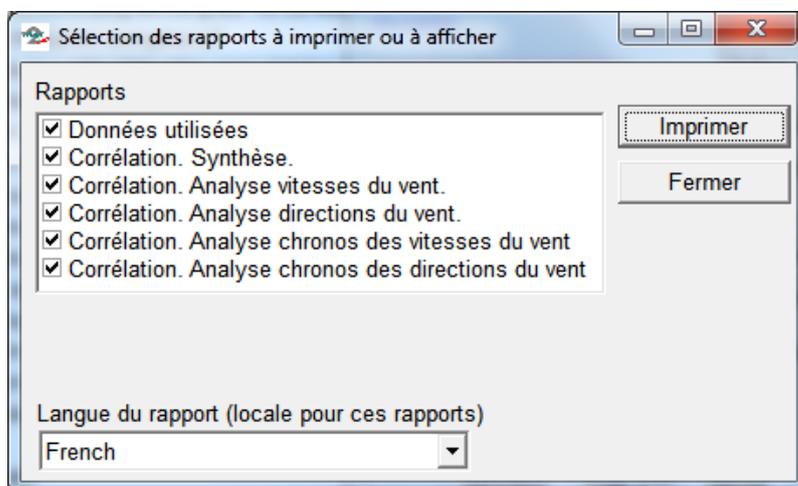
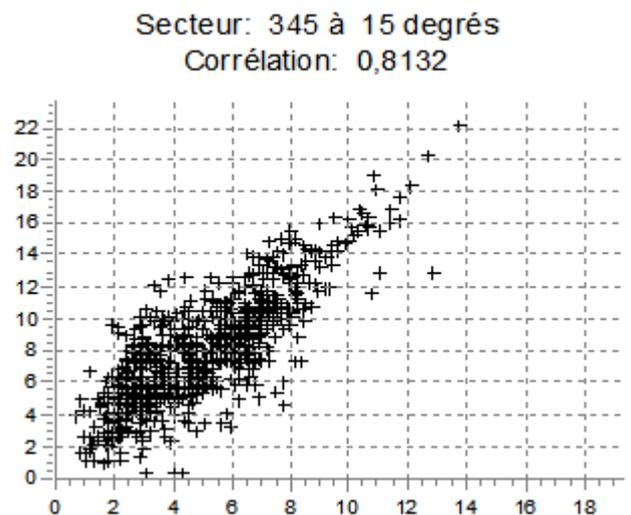


Figure 11

Ces rapports qui n'appellent pas d'explications particulières, des extraits sont présentés à la suite :

La Figure 12 présente un extrait du rapport *Corrélation. Analyse vitesses du vent* qui donne la corrélation, secteur par secteur, entre les *Mesures* (en ordonné) et les *Données de long terme* (en abscisse).

Figure 12



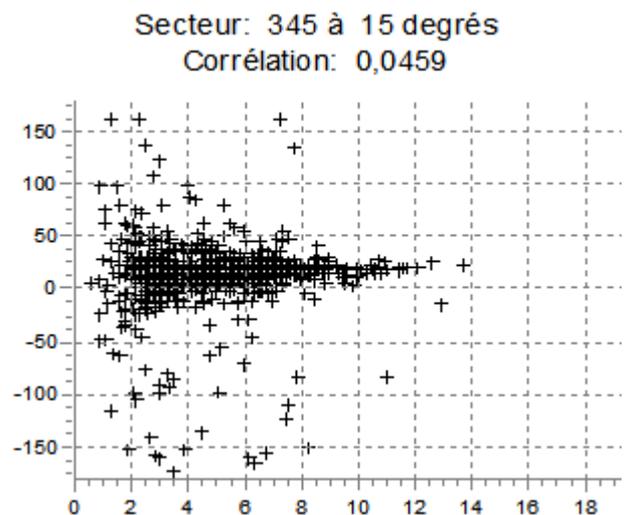
Une mauvaise corrélation peut être due à un changement de la direction du vent. Ce type de problème peut être traité avec certaines méthodes de prévision et produire ainsi à partir d'une mauvaise corrélation de départ de bons résultats.

La Figure 13 présente un extrait du rapport *Corrélation. Analyse des directions du vent* qui donne, secteur par secteur, les écarts de direction du vent entre les *Mesures* et les *Données de long terme* en fonction de la vitesse du vent des *Données de long terme*.

La direction du vent est normalement indépendante de sa vitesse et par conséquent la valeur du coefficient de corrélation est sans intérêt.

Si les *Données de long terme* sont représentatives de la climatologie du lieu des *Mesures* les écarts de direction doivent converger vers une valeur stable lorsque que le vent est bien établi. De plus, dans ces conditions, la performance de la fonction de transfert augmentera aux hautes vitesses du vent porteuses de la plus grande partie de l'énergie.

Figure 13



La Figure 14 présente un extrait du rapport *Corrélation. Analyse des chronos des vitesses du vent*. Pour la présentation des chronogrammes la *Période commune* est divisée en mois.

L'analyse porte sur l'étude statistique des écarts de vitesse entre *Données de long terme* et les *Mesures*. Leur distribution s'approche la plupart du temps d'une distribution normale, si ce n'est pas le cas l'utilisation de la méthode matricielle (voir dans la suite) n'est pas adaptée car elle utilise ces moyennes et ces écarts-types en considérant qu'ils se rapportent à une distribution normale.

Rouge = Long terme(Station météo.10,0m -), Bleu = Mesures(Mât de mesures.40,0m -), Vert = Ecart

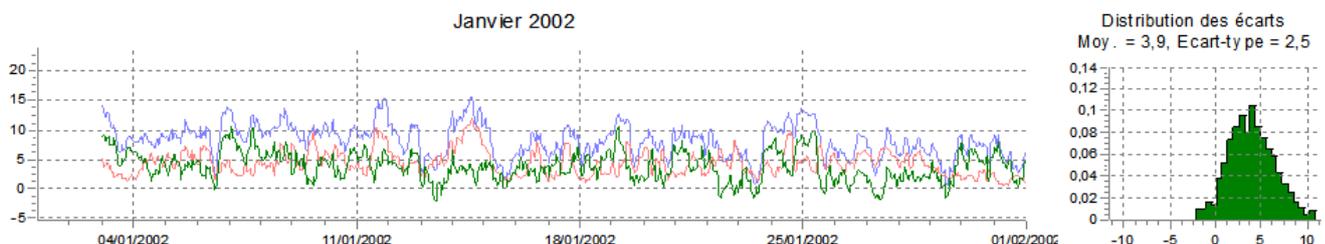


Figure 14

Les pavés de boutons sous **Sélectionner** et **Action** s'utilisent de la même manière que dans l'objet *Météo* (voir section 3).

Le bouton **Ratios** ouvre une fenêtre présentant sous forme graphique les rapports des vitesses du vent *Mesures/Données long terme*.

11.3.2 Onglet Préviation

Si la corrélation entre les *Mesures* et les *Données de long* utilisées est suffisante passez à l'onglet *Préviation*, voir Figure 15.

C'est dans cet onglet que l'on choisit la méthode, parmi les quatre disponibles. Chacune des méthodes va calculer une fonction de transfert, à partir des données de la *Période commune*, qui sera ensuite appliquée à l'ensemble des *Données de long terme* pour obtenir à l'emplacement des *Mesures* l'équivalent de ce qu'aurait produit des mesures durant la période couverte par les *Données de long terme*.

Chaque calcul génère une ligne de résultats qui s'affiche dans le cadre inférieur. On peut retourner à l'onglet *Données*, choisir une autre source de *Données de long terme*, relancer les calculs et comparer ainsi tous les résultats obtenus.

Sélectionnez une ligne de résultats et cliquez sur le bouton *Enregistrer Stat. Eol.* afin d'ajouter la *Statistique éolienne* à l'atlas de WindPRO et pouvoir ensuite l'utiliser pour calculer des productibles avec PARK et WAsP (voir mode opératoire dans la section 3).

Vous pouvez aussi cliquer sur le bouton *Enregistrer ds Météo* pour enregistrer le résultat dans un nouvel objet *Météo* situé à l'emplacement exact des mesures. Les méthodes *matricielle* et *par régression* produisent des séries temporelles couvrant la même période que les *Données de long terme* (à condition qu'elles soient sous forme de séries temporelles pour l'ensemble de leur période) ; la méthode *par ajustement des paramètres de Weibull* vient uniquement peupler la table des paramètres de Weibull de l'objet ; le résultat de la méthode *indicielle* ne peut pas être *Enregistré ds Météo*.

Le tableau présente les valeurs représentatives du long terme à l'emplacement du mât de mesure. Les valeurs r et s sont les corrélations et les erreurs-types entre les Mesures et les mesures "reconstituées" en appliquant aux Données de long terme (non "moyennées") de la Période commune la fonction de transfert qui a été calculée.

Méthode	Description	Hauteur de mesure [m]	Vmoy à hauteur de mesure [m/s]	Hauteur témoin [m/s]*	Vmoy. hauteur témoin [m/s]	Stat. éol. : énergie relative	Stat. éol. : prod. relatif	Stat. éol. enregistrée	Vent très long terme [m/s]	Indice très long terme [%]	r - vit. vent	s - vit. vent [m/s]	r - indice	s - indice [%]	Date du calcul
Méthode par régression	Mesures Wishek	40,0	8,09	50,0	8,44	130,3	137,8	<input type="checkbox"/>			0,7023	2,3753	0,9691	3,2606	16/06/20
Méthode matricielle	Mesures Wishek	40,0	8,19	50,0	8,54	131,2	139,9	<input type="checkbox"/>			0,6994	2,3332	0,9526	3,8637	16/06/20
Méthode par ajustement	Mesures Wishek	40,0	8,18			132,8	140,4	<input checked="" type="checkbox"/>							12/09/20
Méthode indicielle	Mesures Wishek	40,0		50,0	8,43	127,7	137,5	<input type="checkbox"/>					0,9783	3,8364	16/06/20

Figure 15

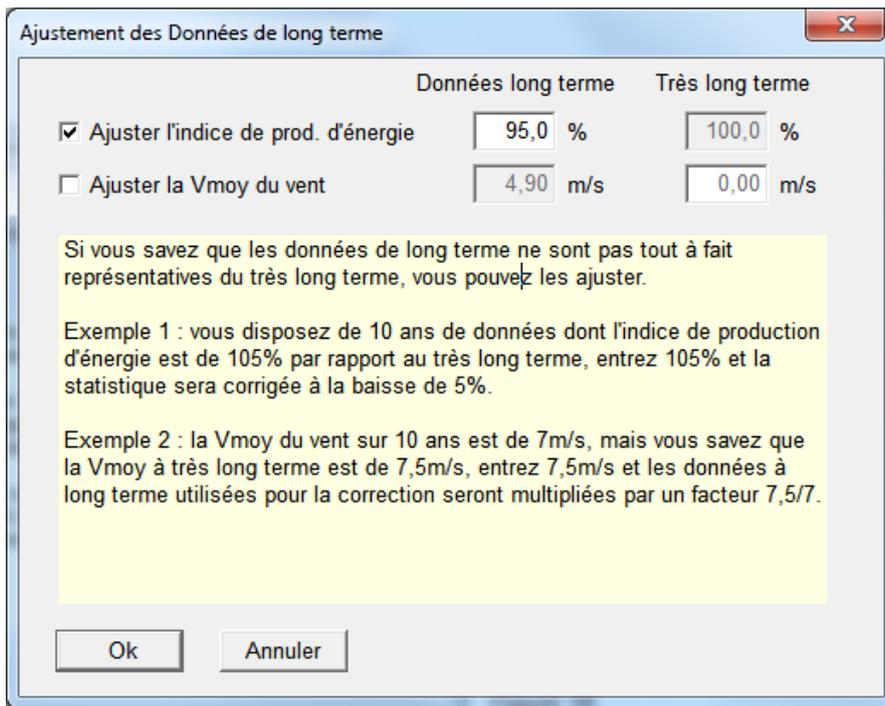
Données utilisées :

Les jeux de données utilisées sont rappelés dans les champs *Mesures* et *Données de long terme*.

Vmoy globale est la vitesse moyenne du vent pour l'ensemble des données disponibles et *Vmoy Période commune* est vitesse moyenne pour leur période commune.

Bouton *Recharger Données et Corrélation* : si nécessaire, un clic sur ce bouton déclenche le rechargement des données de départ dans les onglets *Données* et *Corrélation* sans avoir à quitter l'onglet *Préviation*.

Si l'on sait que les *Données de long terme* disponible ne sont pas tout à fait représentatives (du très long terme) il est possible d'introduire un ajustement en cliquant sur le bouton *<-Modif.*



Ce bouton ouvre la fenêtre *Ajustement des Données de long terme* de la Figure 16 qui permet de faire l'ajustement soit à partir de l'*Indice de production d'énergie* soit à partir la *Vitesse moyenne du vent*. Dans le premier cas l'ajustement va se traduire par une correction de la *Statistique éolienne* générée, dans le second cas, les *Données de long terme* seront corrigées de façon à ce que la vitesse moyenne résultante soit égale à celle du *Très long terme*.

Figure 16

11.3.2.0 Méthodes MCP utilisées

Les lignes qui suivent ne sont pas une description théorique des méthodes MCP, mais des informations dont la connaissance permettra à l'utilisateur leur mise en œuvre pratique dans les meilleures conditions.

MCP par régression et MCP matricielle sont des méthodes classiques. Elles déterminent la relation, appelée *fonction de transfert*, liant les *Données de long terme* aux *Mesures* concomitantes (*Période commune*). Cette fonction de transfert est ensuite appliquée à l'ensemble des *Données de long terme* pour obtenir l'équivalent de mesures de long terme sur le site étudié. Pour obtenir un bon résultat il faut une *fonction de transfert* performante mais surtout de *Données de long terme* de bonne qualité.

Pour obtenir une *fonction de transfert* performante, il faut, au départ, que la corrélation des vitesses du vent calculée dans l'onglet *Corrélation* soit bonne, mais aussi que les directions du vent soient corrélées et que la périodicité et le nombre des données soient suffisants pour que les calculs statistiques soient valables.

Les *Données de long terme* issues de stations météo remplissent, en général, cette dernière condition et si les corrélations sont bonnes les résultats seront bons. Par contre les *Données de long terme* provenant de modèles météo (type réanalyse par ex.) présentent souvent une périodicité des données et une corrélation des directions insuffisantes pour faire une bonne étude.

Si la relation entre les *Données de long terme* et les *Mesures* présente une bonne linéarité le choix de la méthode *MCP par régression linéaire* sera un bon choix, sinon la méthode *MCP matricielle* sera plus adéquate.

La qualité des *Données de long terme* est plus difficile à estimer. De fortes discontinuités ou des tendances, croissantes ou décroissantes, sont des signes d'anomalies. Ces signes se détectent plus facilement quand on peut comparer deux séries de *Données de long terme* issues de sources différentes, en utilisant un objet *Météo* ou en les chargeant dans l'onglet *Mesures* (l'une venant alors à la place des *Mesures*). Mais la plupart du temps les anomalies seront mises à jour en examinant l'histoire de la station météo, les causes les plus fréquentes sont :

- le changement de place du mât de mesure,
- le changement de hauteur de l'anémomètre,
- le changement d'un anémomètre par un autre ayant une calibration différente,
- la construction de bâtiments ou la croissance des arbres dans le voisinage du mât. La croissance des arbres vient affecter les données de façon particulièrement insidieuse étant donné que le phénomène est très progressif au cours des années. Ceci est particulièrement vrai pour les mâts de faible hauteur.

Concernant les *Données de long terme* provenant de modèles météo (type réanalyse par ex.) l'examen historique est beaucoup plus difficile car en général car elles ont le produit de nombreuses sources. De ce fait elles sont moins sensibles aux anomalies par contre elles sont plus difficiles à détecter.

Une règle de protection simple consiste à utiliser seulement les données qui sont postérieures à la dernière anomalie.

MCP indicielle, cette méthode est recommandée quand on utilise des *Données de long terme* provenant de modèles météo (type réanalyse par ex.) dont la périodicité des données et la corrélation des directions sont insuffisantes pour les exploiter de manière satisfaisante avec les méthodes par régression et matricielle.

Cette méthode calcule, en appliquant une courbe de puissance aux vitesses du vent, un productible moyen basé sur l'ensemble des *Données de long terme*, puis l'opération est répétée avec la partie des *Données de long terme* appartenant à la *Période commune*, ensuite le facteur reliant ces deux productibles est utilisé pour corriger la *Statistique éolienne*, calculée à partir des *Mesures*, afin de la rendre représentative du long terme.

Avec cette méthode, la pertinence des *Données de long terme* utilisées se fonde simplement sur la bonne corrélation de la variation de l'*Indice de production* des *Données de long terme* et de la variation de l'*Indice de production* des *Mesures* sur leur *Période commune* (les variations mensuelles sont utilisées).

MCP par ajustement des paramètres de Weibull, est une méthode singulière qui n'utilise pas vraiment une fonction de transfert et qui ne nécessite aucun traitement mathématique compliqué.

En effet, la méthode consiste à corriger les paramètres des distributions de Weibull des *Mesures* en leur appliquant les facteurs qui relient les paramètres des distributions des vitesses du vent de la *Période commune* des *Données de long terme* à ceux des distributions des vitesses du vent de l'ensemble des *Données de long terme*.

Néanmoins, cette méthode est capable de produire des prévisions étonnantes de qualité. Cette approche différente fait aussi de cette méthode un excellent outil de validation des résultats obtenus avec les autres méthodes.

11.3.2.1 MCP par régression

Pour lancer la méthode utilisant une régression cliquez sur le bouton *Ajouter MCP par régression (linéaire et polynomiale)* dans l'onglet *Prévision*.

Ce bouton ouvre la fenêtre de paramétrage de la Figure 17. Le paramétrage par défaut est adapté à la plupart des situations. L'ajustement des paramètres ne se justifie que dans les cas où l'on veut faire des essais ou pour des traitements particuliers des données.

Les paramètres sont expliqués à la suite.

Figure 17

Configuration de la fonction de transfert :

- Dans les applications « maison », basées généralement sur Excel, on étudie habituellement 12 directions. Dans le cas où l'on veut faire des comparaisons directes avec ces applications on choisira l'option *Etablir une fonction de transfert par secteur* et dans le champ *Angle du secteur [deg]* on entrera 30°.
- Autrement, il est préférable de laisser l'option par défaut *Etablir une fonction de transfert tous les 1 degré* qui donne des résultats plus précis. Quand cette option est choisie, WindPRO calcule 360 fonctions de transfert et utilise les données correspondantes au secteur centré sur la direction étudiée et dont l'angle est celui défini dans le champ *Angle du secteur*. Les directions sont celles des *Données de long terme*. Si l'on définit un secteur égal à 360° une seule fonction de transfert est établie qui utilise toutes les données.

Données à ignorer :

- *Ignorer écarts de direction supérieurs à* : aux faibles vitesses du vent on constate en général d'importantes variations de l'écart entre la direction du vent des *Données de long terme* et celle des *Mesures* concomitantes. Il en résulte un « bruit », qui vient brouiller l'information ; on peut réduire ce « bruit » en ignorant les écarts supérieurs à la valeur définie dans le champ *Ignorer écarts de direction supérieurs à*. Cette opération conduit à ignorer des données qui peuvent être importantes. Par défaut toutes les données sont utilisées.
- *Ignorer vitesses inférieures à* : les très faibles vitesses du vent s'écartent souvent de la relation linéaire qui peut être constatée entre les vitesses supérieures des *Données de long terme* et des *Mesures*. Il peut être intéressant d'ignorer ces faibles vitesses de vent pour établir la fonction de transfert. Ceci ne signifie pas que les faibles vitesses seront ignorées lors de l'application de la fonction de transfert. Le champ *Ignorer vitesses inférieures à* permet de fixer la valeur en dessous de laquelle les vitesses des *Données de long terme* ne seront pas prises en compte pour établir la fonction de transfert. Par défaut cette valeur est fixée à 2m/s.

Vitesse du vent :

- *Type de régression* : ce menu déroulant permet de choisir le type de régression qui sera utilisé pour établir la *fonction de transfert*. Par défaut c'est la droite de régression ne passant pas par l'origine qui est proposée car elle donne un meilleur ajustement aux hautes vitesses du vent que celle passant par l'origine.
Une régression d'ordre 2 est également proposée. Avec certaines données, la recherche du meilleur ajustement peut conduire à une courbe de régression parabolique dont l'application par la *fonction de transfert* aux hautes vitesses du vent des *Données de long terme* va générer des vitesses exagérément élevées.
- *Modèle pour les résidus* : l'utilisation des résidus va faire que la *fonction de transfert* ne va pas être une simple droite de régression mais qu'elle va tenir compte de la dispersion des données autour de la droite. Au départ, avec la v2.5 la *fonction de transfert* se traduisait par une fonction $y=ax+b+e$, où « e » était déterminé par l'écart-type de la dispersion des résidus autour de la droite de régression. Cette méthode était valable si la dispersion était similaire tout le long de la droite de régression, sinon elle conduisait à une *fonction de transfert* produisant des vitesses globalement surestimées. Cette méthode reste disponible via l'option *Gaussien : les résidus sont distribués normalement*.
La v2.6 a introduit une nouvelle *fonction de transfert* se traduisant par une fonction $y=ax+b+e(x)$, afin de traiter correctement les cas où la dispersion des résidus autour de la droite de régression n'est pas constante mais dépendante de la vitesse du vent. Pour la création cette nouvelle *fonction de transfert* les vitesses du vent sont divisées intervalles et pour chaque intervalle on applique la méthode de la v.2.5. Cela conduit à une courbe de régression formée des droites de régression de chaque intervalle que l'on peut visualiser en cochant l'option *Afficher courbe de LOWESS, régression locale*, voir Figure 18 et à des écarts-types de la dispersion des résidus fonction de l'intervalle dont la variation en fonction de la vitesse est modélisée par un ajustement linéaire ou d'ordre 2 que l'on peut visualiser en cochant l'option *Afficher modèle des résidus*, voir Figure 18 également. Les expériences ont montré la pertinence de cette nouvelle *fonction de transfert*. Note : le choix de l'ajustement de la dispersion des résidus par une régression d'ordre 2 présente les mêmes inconvénients que ceux indiqués pour le *Type de régression* et faute de certitude il convient d'utiliser l'option recommandée.

Direction du vent :

- *Type de régression* : les changements de la direction du vent sont habituellement indépendants de la vitesse du vent et donc non corrélés d'où l'option par défaut *Constante (polynomiale ordre 0)*.
- *Modèle pour les résidus* : il est recommandé de ne pas tenir compte des résidus

Quand le paramétrage est terminé cliquez sur le bouton *Suivant* qui ouvre la fenêtre de la Figure 18 qui montre, sous forme graphique, l'analyse des données à partir de laquelle est construite la *fonction de transfert*.

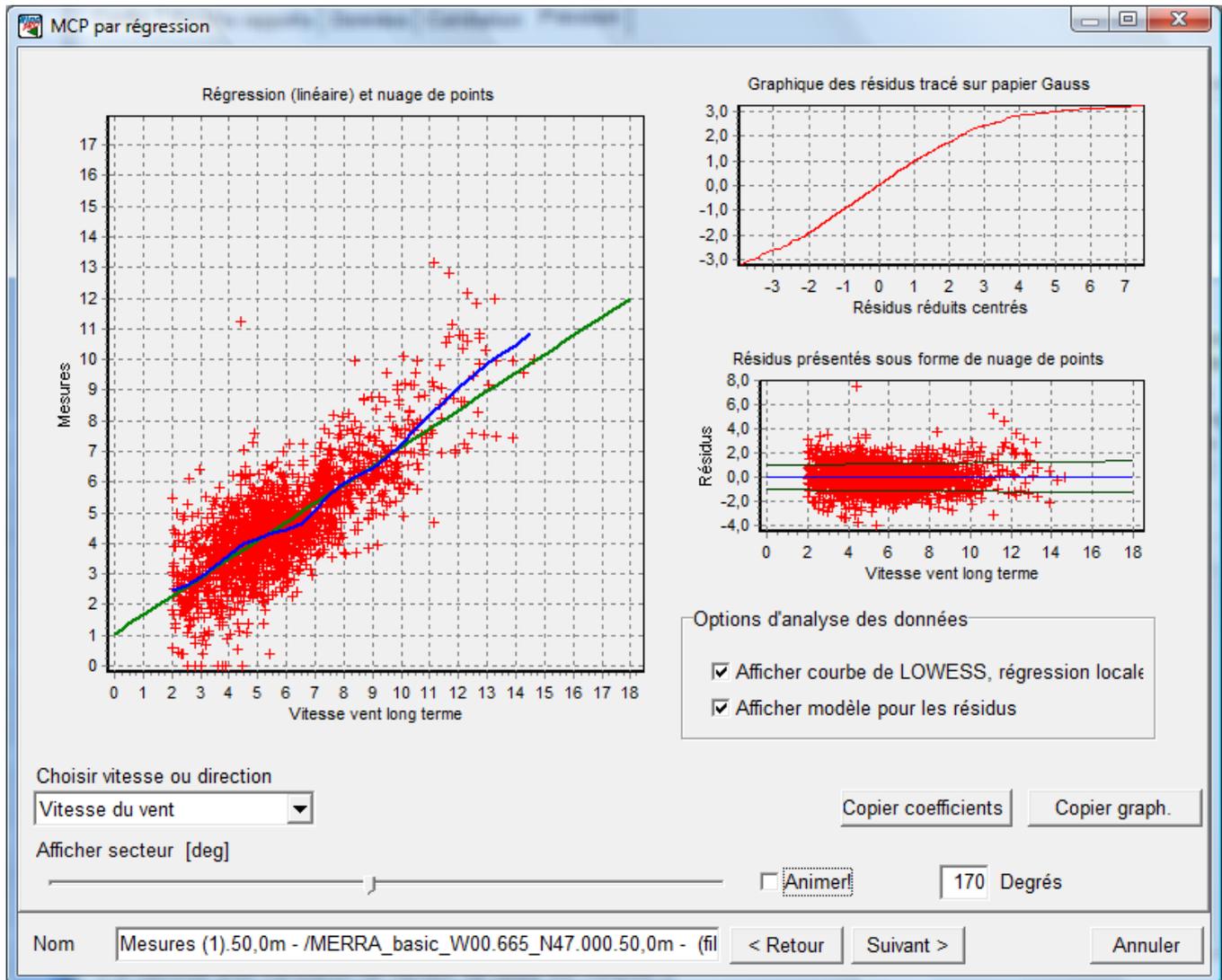


Figure 18

Dans cette fenêtre :

- En cliquant sur le bouton *Copier Coefficients* les paramètres de la régression sont copiés dans le presse-papiers, ils peuvent ensuite être collés dans Excel, typiquement.
- En cliquant sur le bouton *Copier graphiques* les graphiques sont copiés dans le presse-papiers, ils peuvent ensuite être collés dans un document.
- Le curseur *Afficher secteur* et l'option *Animer* permettent de faire défiler manuellement ou automatiquement les ajustements pour chaque secteur.
- En choisissant *Ecart de direction du vent* dans le menu déroulant *Choisir vitesse ou direction* ouvre la fenêtre de la Figure 19 où sont montrés les ajustements relatifs aux écarts de direction du vent.

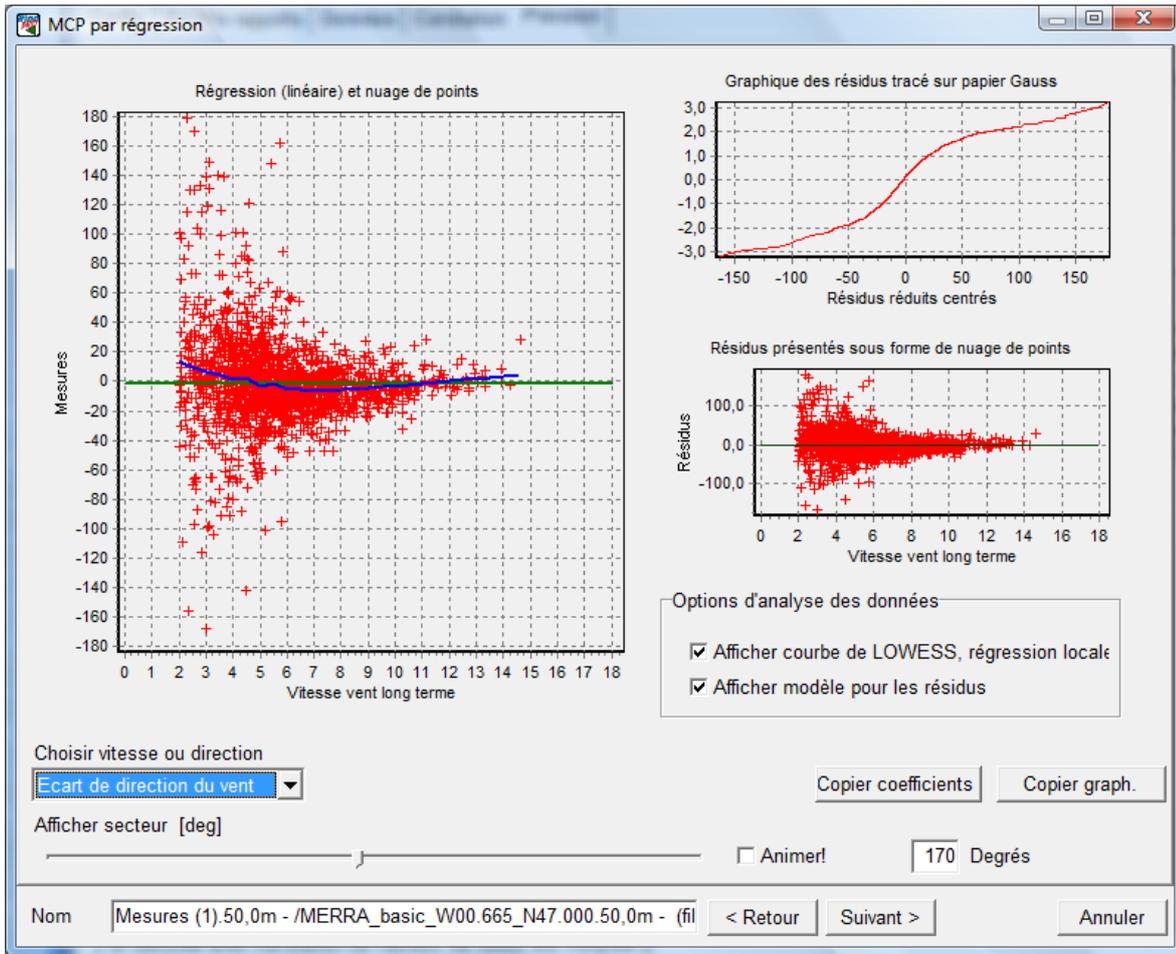


Figure 19

Cliquez sur le bouton *Suivant* pour ouvrir la fenêtre de la Figure 20 dans laquelle le résultat de l'application de la *fonction de transfert* aux *Données de long terme* de la *Période commune* - *courbe Prévission* - est comparée aux *Mesures* - *courbe Mesures*. On peut ainsi se rendre compte du niveau de performance de la *fonction de transfert*.

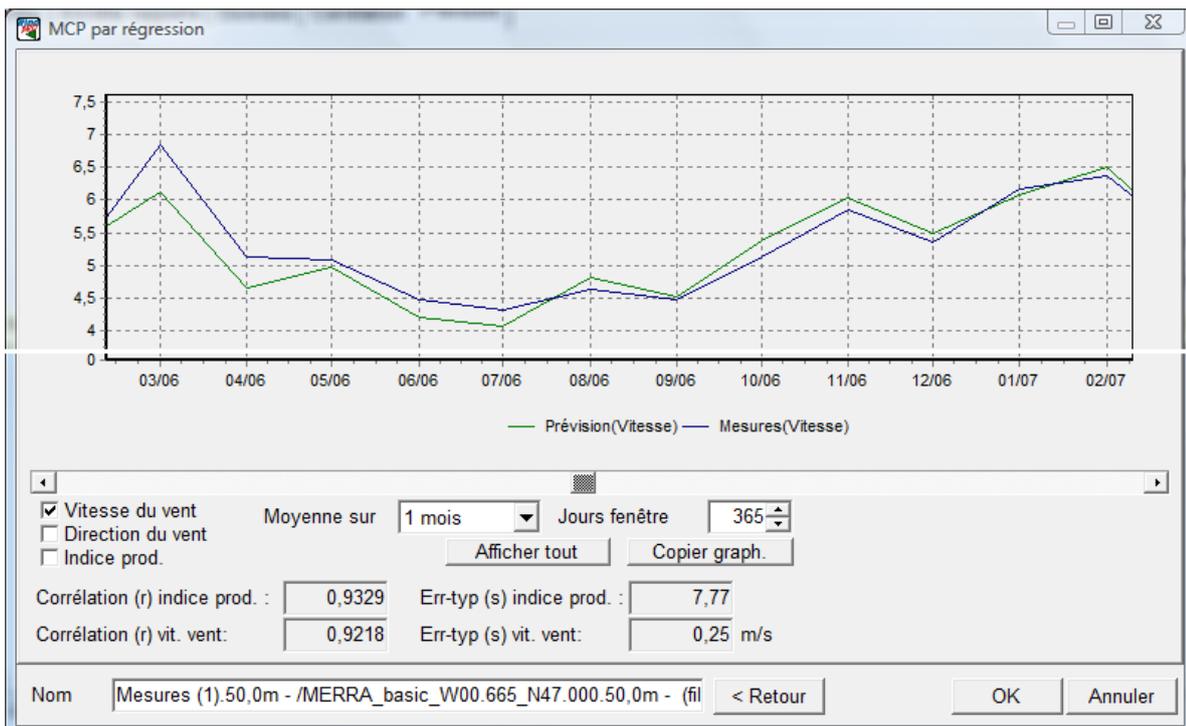
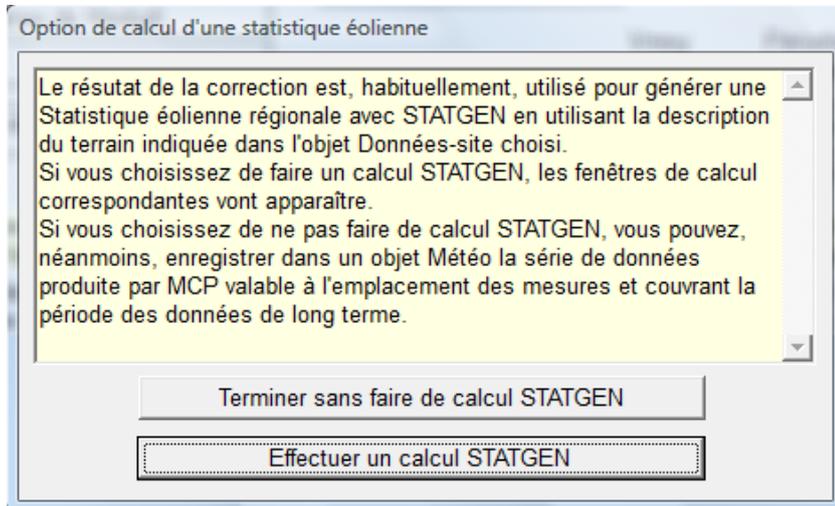


Figure 20

Cette fenêtre est similaire à celle de l'onglet *Corrélation*, voir Figure 10, et les explications données à son propos s'appliquent entièrement à cette fenêtre.

Un coefficient de *Corrélation (r) de l'indice de production* élevé, basé sur une moyenne mensuelle, est un préalable nécessaire à l'obtention de productibles de confiance.

Un clic le bouton *Terminer* ouvre la fenêtre de la Figure 21 qui donne l'option d'*Effectuer un calcul STATGEN* afin de générer, à partir du résultat produit par l'application de la *Fonction de transfert aux Données de long terme*, une *Statistique éolienne* régionale représentative du long terme.



Effectuer un calcul STATGEN requiert le programme WASP qui est utilisé une première fois pour calculer la *Statistique éolienne* et une deuxième fois pour calculer à partir de cette *Statistique éolienne* la *Vmoy à la hauteur témoin* présentée dans la ligne des résultats du calcul

Figure 21

Chaque calcul génère une ligne de résultats, voir Figure 15, donnant les informations suivantes :

- *Méthode*
- *Description*
- *Hauteur de mesure*
- *Vmoy hauteur de mesure* : vitesse corrigée représentative du long terme à l'emplacement et à la hauteur des Mesures.
- *Hauteur témoin* : cette hauteur se définit dans l'onglet *Config*.
- *Vmoy hauteur témoin* : vitesse calculée avec WASP à partir de la *Statistique éolienne* produite par *Effectuer un calcul STATGEN*.
- *Stat. éol. : énergie relative* : caractérise la statistique éolienne, voir section 3.
- *Stat. éol. : prod.relatif* : caractérise la statistique éolienne, voir section 3.
- *Stat. éol. enregistrée* : dans l'atlas de WindPRO et disponible pour les calculs de productible.
- *Vmoy très long terme [m/s]*: valeur de la vitesse entrée pour le *Très long terme* voir Figure 16.
- *Indice très long terme* : valeur de l'indice entré pour le *Très long terme* voir Figure 16.
- *r – Vit. Vent* : coefficient de corrélation entre les Mesures et les mesures « reconstituées » obtenues en appliquant la *fonction de transfert aux Données de long terme* (non moyennées) de la *Période commune*.
- *s– Vit. Vent* : écart-type des différences entre les Mesures et les mesures « reconstituées » obtenues en appliquant la *fonction de transfert aux Données de long terme* (non moyennées) de la *Période commune*.
- *r – Indice* : coefficient de corrélation entre les variations de l'*indice de production* des Mesures et les variations de l'*indice de production* des mesures « reconstituées » obtenues en appliquant la *fonction de transfert aux Données de long terme* de la *Période commune*. Dans ce cas on utilise les valeurs moyennes mensuelles.
- *s – Indice* : écart-type des différences entre les variations de l'*indice de production* des Mesures et les variations de l'*indice de production* des mesures « reconstituées » obtenues en appliquant la *fonction de transfert aux Données de long terme* de la *Période commune*. Dans ce cas on utilise les valeurs moyennes mensuelles.
- *Date du calcul*

Les témoins à gauche de chaque ligne résultat, voir Figure 15, peuvent prendre les couleurs suivantes :

- Vert : les calculs sont à jour et peuvent être enregistrés en utilisant les boutons *Enregistrer...*
- Rouge : indique que les données doivent être rechargées et les calculs recommencés : cela arrive après avoir quitté MCP car les résultats ne sont pas enregistrés.
- Jaune : indique que les données brutes doivent être rechargées

En sélectionnant la ligne des résultats produite, puis en cliquant sur le bouton *Rapports* on ouvre la fenêtre de la Figure 22 qui permet de sélectionner les rapports pour les visualiser et/ou les imprimer. Ces rapports sont compréhensibles sans explications particulières.

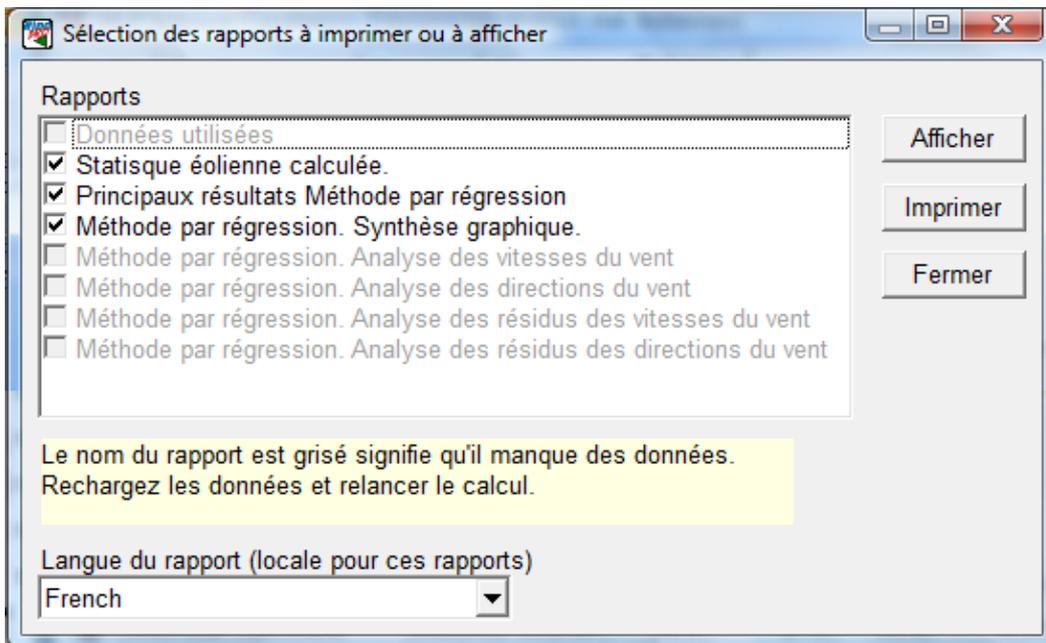


Figure 22

11.3.2.2 MCP matricielle

Le point de départ de cette méthode est une matrice qui à chaque couple (vitesse, direction) des *Données de long terme* associe l'ensemble des couples (vitesse, direction) correspondants des *Mesures* (en fait ce sont les écarts qui sont considérées). La matrice se construit en explorant les directions et les vitesses des *Données de long terme* tous les 1 degré et tous les 1 m/s.

Pour lancer la *MCP matricielle*, allez à l'onglet *Prévision* cliquez sur le bouton *Ajouter MCP matricielle*. La fenêtre de paramétrage de la Figure 23 s'ouvre, les paramètres sont expliqués à la suite.

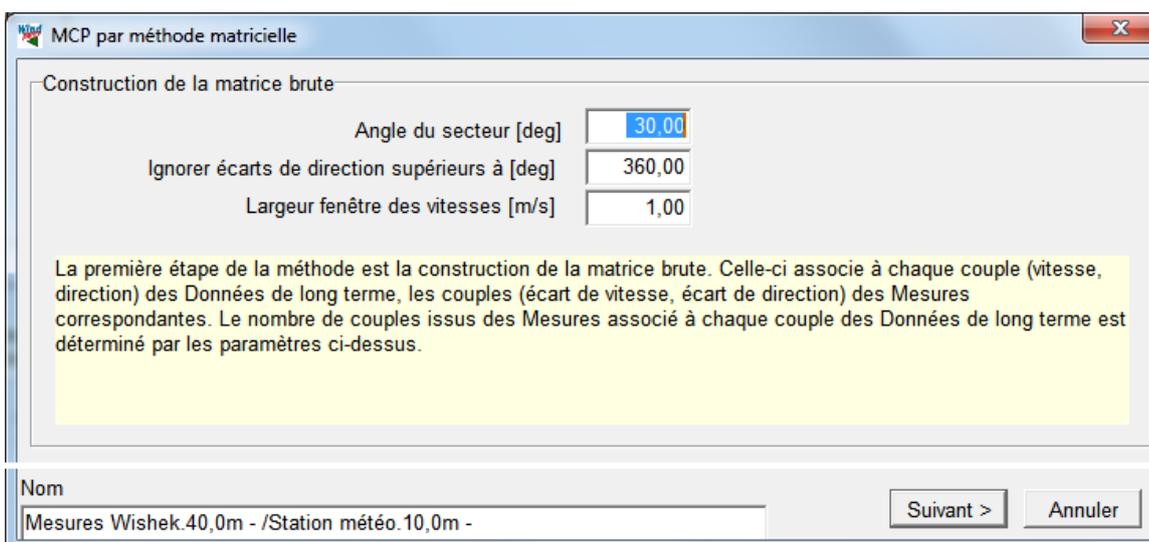


Figure 23

Angle du secteur

Pour construire la matrice on explore un secteur centré sur chaque direction des *Données de long terme* dont l'angle est celui indiqué dans le champ *Angle du secteur*, qui par défaut est fixé à 30°.

Ignorer écarts de direction supérieurs à

Aux faibles vitesses du vent on constate en général d'importantes variations de l'écart entre la direction du vent des *Données de long terme* et celle des *Mesures* concomitantes. Il en résulte un « bruit », qui vient brouiller l'information ; on peut réduire ce « bruit » en ignorant les écarts supérieurs à la valeur définie dans le champ *Ignorer écarts de direction supérieurs à*. Cette opération conduit à ignorer des données qui peuvent être importantes. Par défaut toutes les données sont utilisées.

Largeur fenêtre des vitesses

Comme pour l'*Angle du secteur*, on peut explorer les vitesses autour d'une vitesse centrale sur un intervalle dont la largeur est indiquée dans le champ *Largeur fenêtre des vitesses*, par défaut sa valeur est égale à 1 m/s.

Pour accroître le nombre de couples des *Mesures* associé à chaque couple des *Données de long terme* on peut être amené à augmenter la *Largeur de la fenêtre des vitesses*.

Cliquez sur le bouton *Suivant >* pour lancer la construction de la matrice reliant les *Mesures* et les *Données de long terme* pour la *Période commune*.

La Figure 24 montre la matrice qui associe à chaque couple (direction, classe) des *Données de long terme* une cellule décrivant les caractéristiques de la distribution des *Mesures* correspondantes (moyenne et écart-type) en utilisant un code de couleurs.

En général, on remarque que pour les faibles vitesses du vent les écarts-types des écarts de direction sont élevés et qu'ils se réduisent à mesure que la vitesse augmente. Plus les valeurs des écarts-types sont faibles, meilleure sera la prévision.

Une des forces de cette méthode est qu'elle permet de traiter les données présentant une forte dispersion.

Le bouton *Données* permet de visualiser, en utilisant un code de couleurs, le nombre couples (vit., dir.) contenus dans les cellules de la matrice. Ces nombres sont beaucoup plus élevés que le simple nombre d'occurrences d'un couple donné (vit., dir.) des *Données de long terme* car les couples (vit.,dir.) des *Mesures* associés sont extraits d'un secteur et d'un intervalle de vitesses dont les tailles ont été définies dans les champs *Angle du secteur* et *Largeur fenêtre des vitesses* de la fenêtre présentée à la Figure 23. Ainsi pour le paramétrage par défaut 30° et 1 m/s un même couple des *Mesures* est utilisé 30 fois.

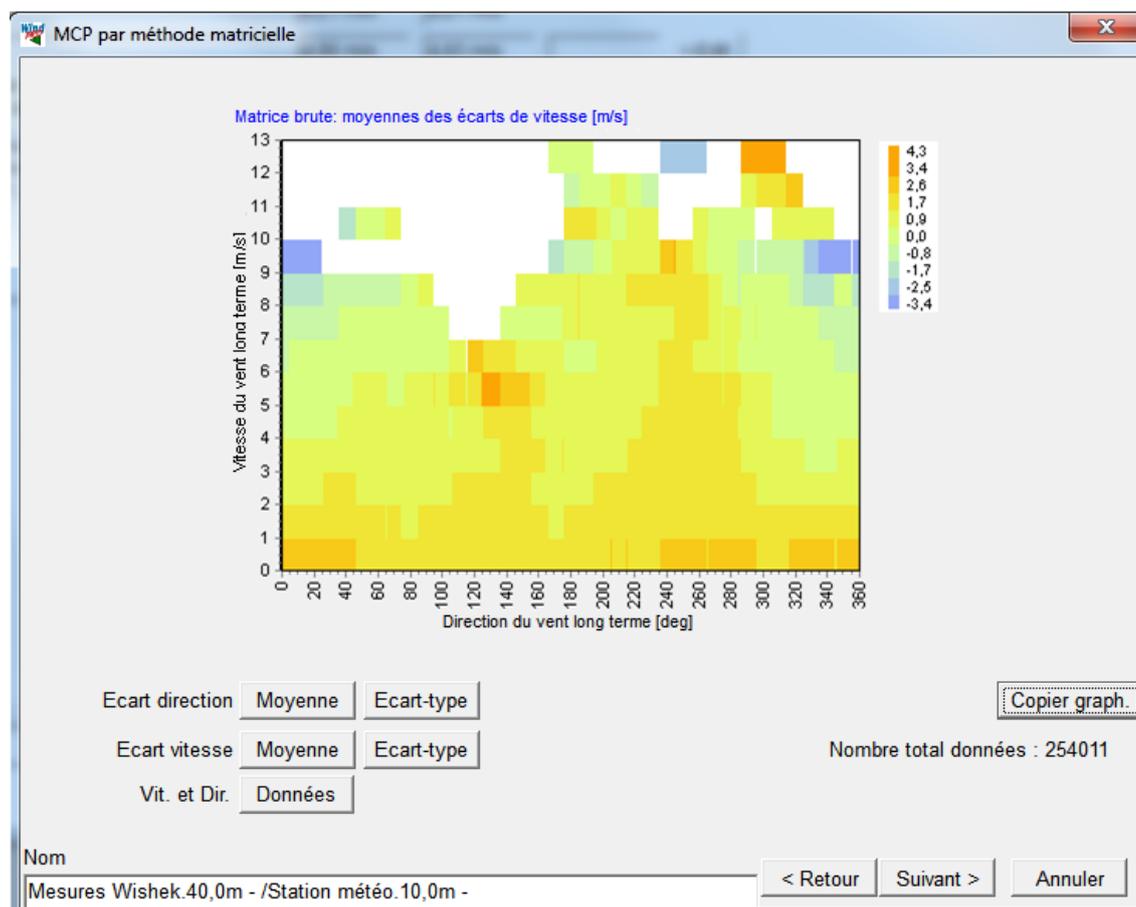


Figure 24

Comme le montre la Figure 24, certains couples (vit., dir.) des *Données de long terme* ne sont pas représentés dans la *Période commune*. Pour combler les cellules vides de la matrice on va procéder à une combinaison de lissage et d'extrapolation dont le paramétrage se fait dans la fenêtre de la Figure 25.

Cliquez sur le bouton *Suivant >* qui ouvre la fenêtre de la Figure 25, où se fait le réglage des opérations de lissage et d'extrapolation. Les paramètres sont expliqués à la suite.

Cellules prises en cpte pour le lissage si leur population est >=

Ce filtrage permet d'éliminer des cellules peu représentatives car contenant trop peu de données qui pourraient distordre le « modelage » de la matrice.

Largeur fenêtre direction utilisée pour le lissage

L'opération de lissage s'effectue en utilisant une fenêtre glissante dont la largeur est définie dans ce champ.

Ecarts dir. et Ecarts vitesse

La *Moyenne* et l'*Ecart-type* de la population de chaque cellule de la matrice est calculée. Leur moyenne et leurs valeurs extrêmes sont présentés dans les champs *Moy.*, *Min.* et *Max.* Des valeurs extrêmes conduiront à une *Fonction de transfert* dont les résultats seront affectés d'une incertitude importante. Ces valeurs sont déterminées par les paramètres présentés antérieurement.

Ordre du polynôme

Le lissage indiqué antérieurement est réalisé à partir d'une régression (ajustement) polynomiale dont l'ordre peut être choisi indépendamment pour chacune des grandeurs.

Par défaut, une régression d'ordre 1 est utilisée pour lisser les *Moyennes des Ecarts de vitesse* afin de réduire l'influence des écarts extrêmes et une régression d'ordre 0 est utilisée pour lisser les *Moyennes des Ecarts de direction* (vitesse et direction étant indépendantes). En ce qui concerne le lissage des *Ecarts-types*, l'utilisation d'une régression d'ordre 1 est recommandée pour les *Ecarts de direction* et l'utilisation d'une régression d'ordre 2 est recommandée pour les *Ecarts de vitesse*.

Construction de la matrice lissée

Cellules prises en cpte pour le lissage si leur population est >=

Largeur fenêtre direction utilisée pour le lissage [deg]

La deuxième étape de la méthode est le calcul de la matrice lissée qui est obtenue en faisant les opérations suivantes: tout d'abord les moyennes et les écarts-types des écarts de vitesse et des écarts de direction contenues dans chaque cellule de la matrice brute sont calculés, les cellules contenant trop peu de couples (écart de vitesse, écart de direction) ne sont pas prises en compte, leur nombre minimal est défini dans le champ "Cellules prises en cpte pour le lissage si leur population est >="; ensuite le lissage polynomial est effectué en utilisant une fenêtre glissante dont la largeur est définie dans le champ "Largeur de la fenêtre direction utilisée pour le lissage [deg]". De manière imagée le résultat du lissage est similaire au "drapé" d'une surface irrégulière.

	Moy.	Min.	Max.	Ordre du polynôme
Ecarts dir. [deg]				
Moyennes	22,16	-23,11	86,82	<input type="text" value="0"/>
Ecarts-types	29,35	1,06	98,20	<input type="text" value="1"/>
Ecarts vitesse				
Moyennes	3,26	0,62	7,37	<input type="text" value="1"/>
Ecarts-types	2,07	0,34	4,77	<input type="text" value="2"/>

Vous pouvez choisir l'ordre du lissage polynomial qui sera utilisé; normalement les valeurs par défaut ne devraient pas être modifiées. Les statistiques présentées sont issues de la matrice brute; si vous trouvez ces valeurs "inacceptables", vous pouvez revenir en arrière et modifier le paramétrage.

Nom
Mesures Wishek.40,0m - /Station météo.10,0m -

< Retour Suivant > Annuler

Figure 25

Cliquez le bouton *Suivant >* pour afficher la représentation la matrice lissée, voir Figure 26.

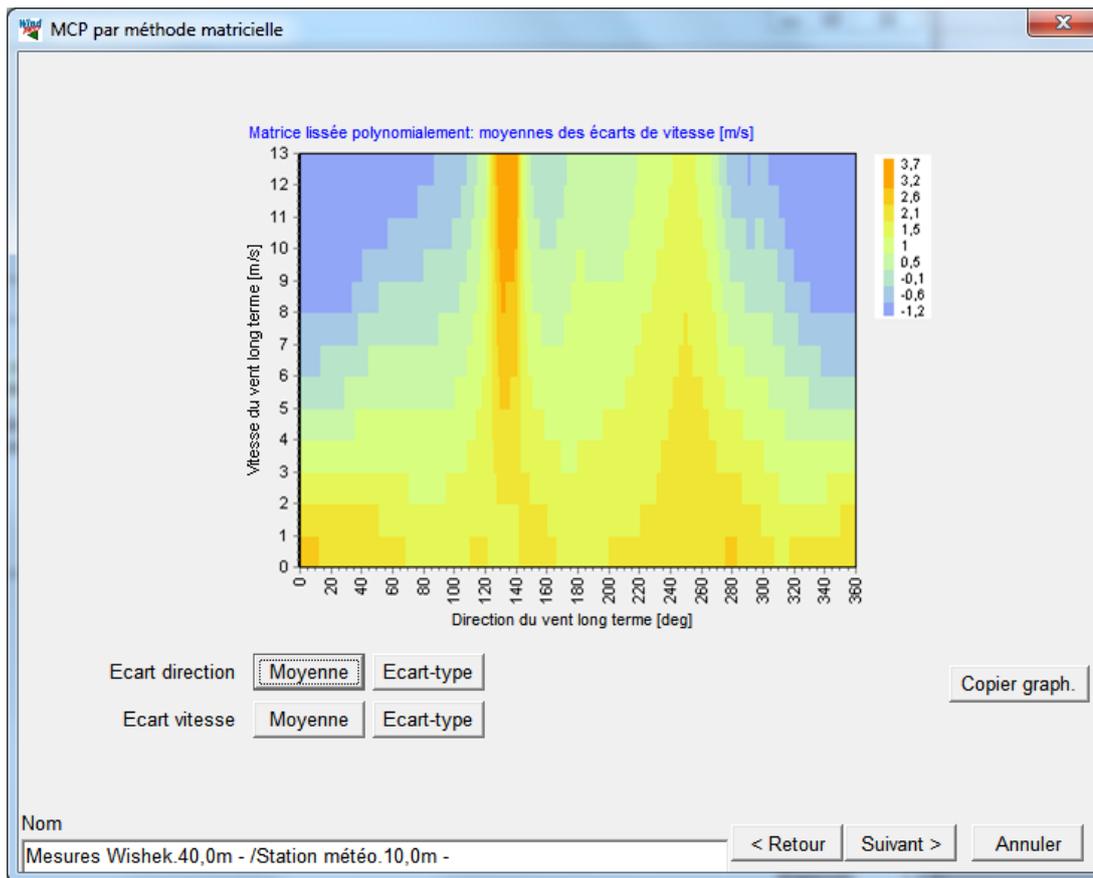


Figure 26

Cliquez le bouton *Suivant >* pour afficher la fenêtre de la Figure 27 où se fait le choix de la *matrice brute* ou de *matrice lissée* pour la construction de la *fonction de transfert*.

Utiliser la matrice lissée

En cochant cette option la *fonction de transfert* est construite à partir de la *matrice lissée* et elle sera appliquée à la série des *Données de long terme* pour obtenir l'équivalent de mesures de long terme sur le site étudié.

Utiliser la matrice brute

En cochant cette option la *fonction de transfert* est construite à partir de la *matrice brute*. Dans ce cas, la *fonction de transfert* génère l'équivalent de mesures de long terme sur le site étudié en associant à chaque couple de la série des *Données de long terme* un couple tiré aléatoirement parmi ceux contenus dans la cellule correspondante de la matrice brute. Le champ *avec les cellules dont la population est >=* permet d'utiliser uniquement les cellules contenant un nombre minimal de données.

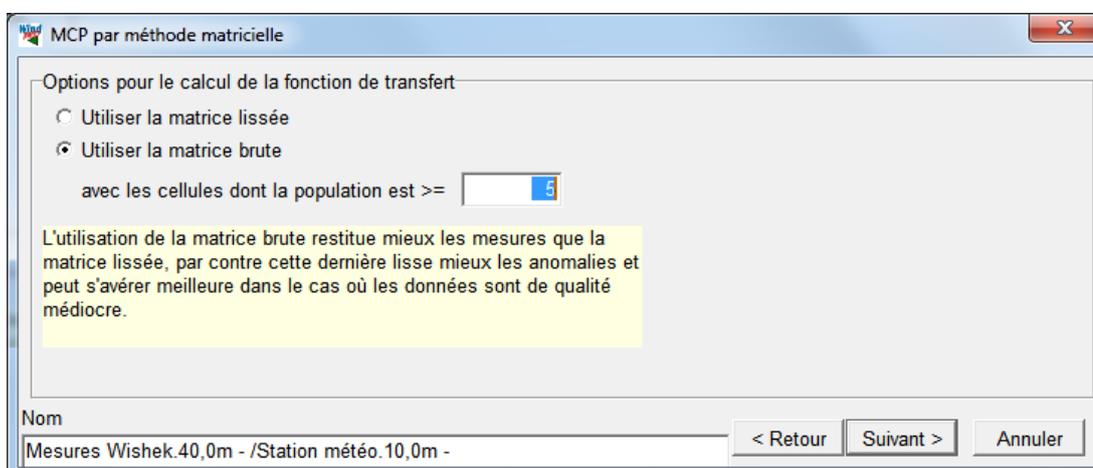


Figure 27

Remarque : l'application de la fonction de transfert aux *Données de long terme* requiert que celles-ci soient entièrement sous forme de séries temporelles. Si la partie des *Données de long terme* hors *Période commune* se présente sous forme de distributions de Weibull ou d'histogrammes des fréquences des vitesses, il n'y a pas de « matière » pour l'application de la *fonction de transfert*.

Cliquez sur le bouton *Suivant* > pour ouvrir la fenêtre de la Figure 28 dans laquelle on peut juger l'efficacité de la *fonction de transfert*, voir 11.3.2.1. méthode *MCP par régression*.

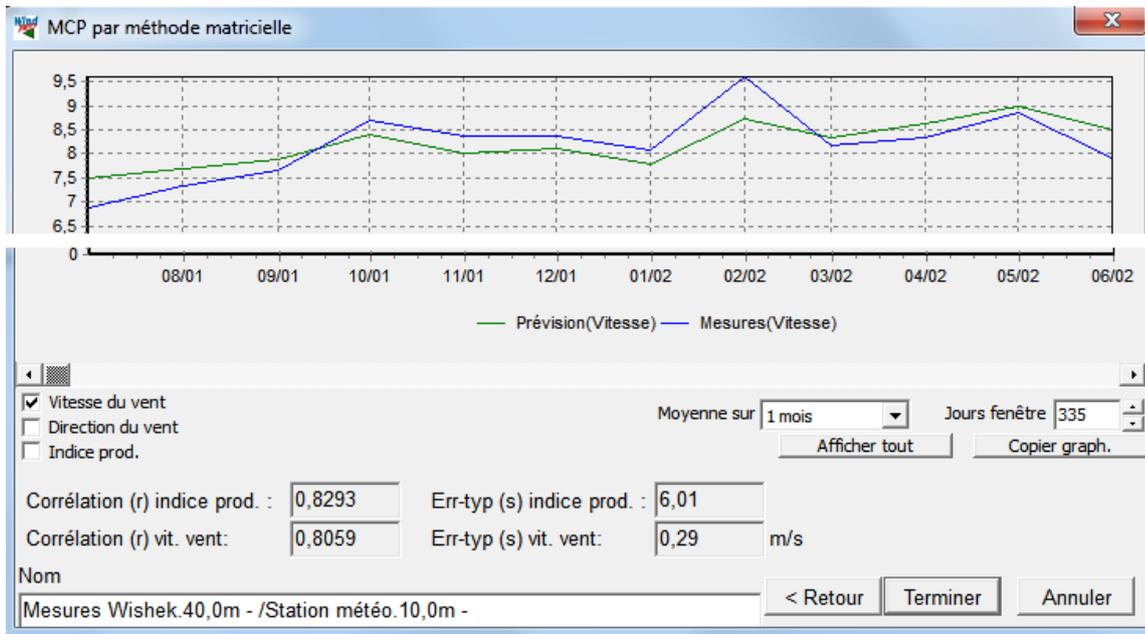


Figure 28

Cliquez sur le bouton *Terminer*, la suite est identique à celle de la méthode par *MCP par régression*, voir 11.3.2.1.

En sélectionnant la ligne des résultats produite, puis en cliquant sur le bouton *Rapports* on ouvre la fenêtre de la Figure 22 qui permet de sélectionner les rapports pour les visualiser et/ou les imprimer.

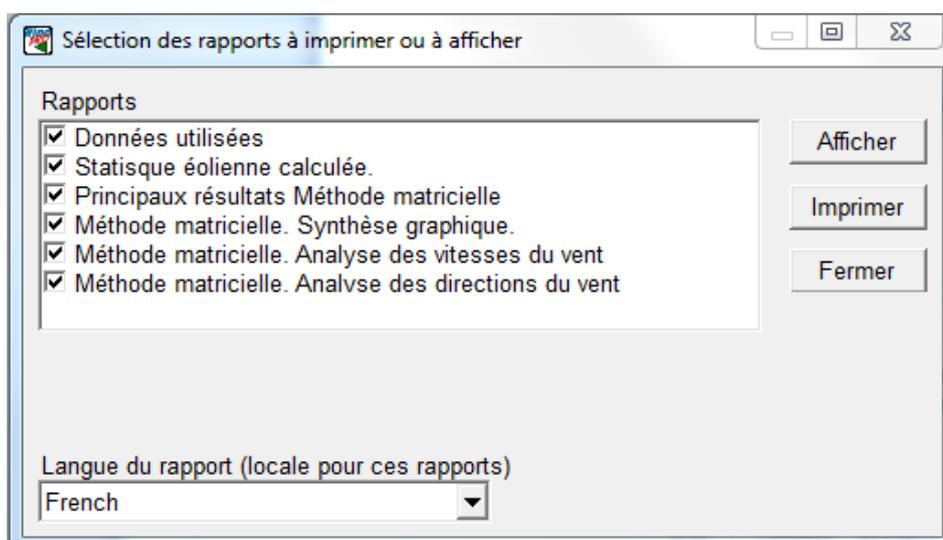


Figure 29

Ces rapports sont compréhensibles sans explications, des extraits sont présentés à la Figure 30.

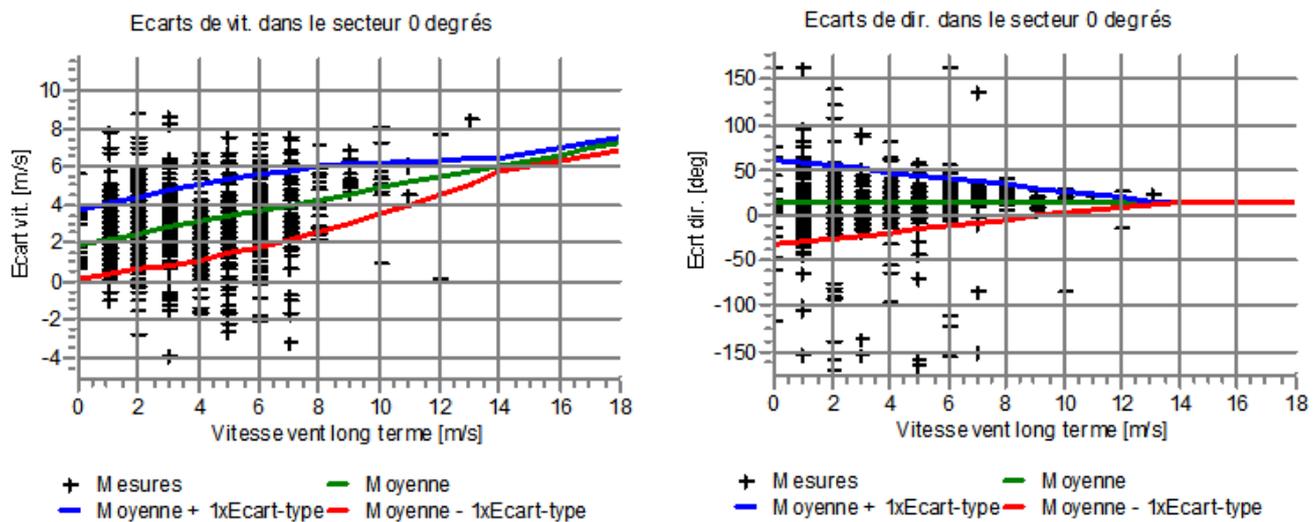


Figure 30

11.3.2.3 MCP par ajustement des paramètres de Weibull

Pour lancer cette méthode, allez à l'onglet *Prévision* et cliquez sur le bouton *Ajouter MCP par ajustement des paramètres de Weibull*.

A la différence des autres méthodes aucun paramétrage n'est demandé.

Cette méthode calcule les rapports respectifs entre les paramètres A, les paramètres k et les fréquences des *Données de long terme* dans leur ensemble et des *Données de long terme* sur la *Période commune*.

Les résultats de ces rapports sont ensuite appliqués aux paramètres A, aux paramètres k et aux fréquences des *Mesures* sur leur *Période commune* pour obtenir les paramètres A, les paramètres k et les fréquences représentatifs du long terme à l'emplacement des mesures. Le résultat est montré à la Figure 31.

Cliquez sur le bouton *Terminer* pour calculer la *Statistique éolienne* ou simplement pour enregistrer le résultat dans un objet *Météo*.

Remarque : cette méthode ne génère pas de séries de données, par conséquent dans la ligne présentant les résultats les colonnes *r - Vit. vent*, *s - Vit. vent*, *r - Indice et s - Indice* sont vides.

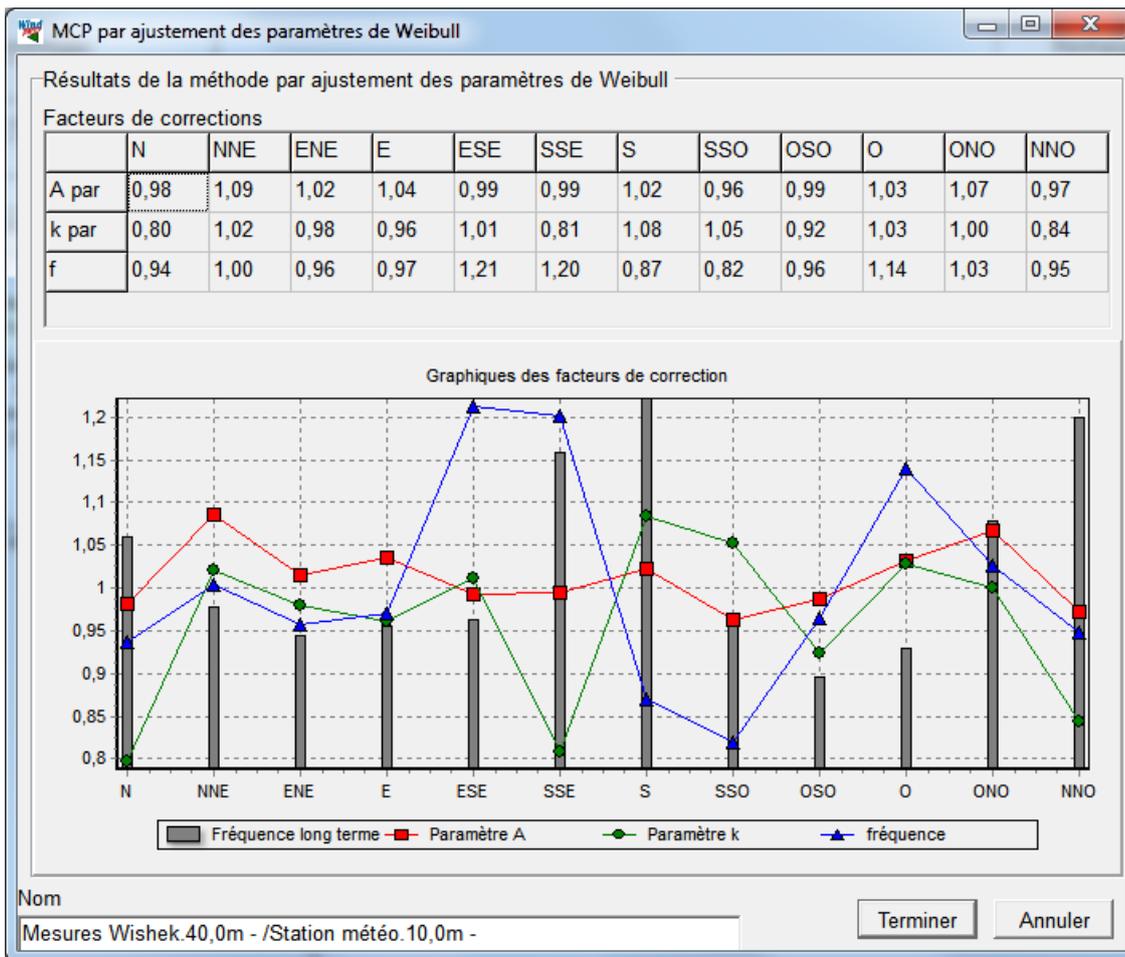


Figure 31

En sélectionnant la ligne des résultats produite, puis en cliquant sur le bouton *Rapports* on ouvre la fenêtre de la Figure 32 qui permet de sélectionner les rapports pour les visualiser et/ou les imprimer. La dernière page du rapport donne les paramètres de Weibull et les fréquences des *Données de long terme*, des *Données de long terme* sur la *Période commune* et des *Mesures* sur la *Période commune*. Cette page donne également les *facteurs de correction* et les valeurs des paramètres de Weibull et des fréquences des *Mesures* « corrigées ».

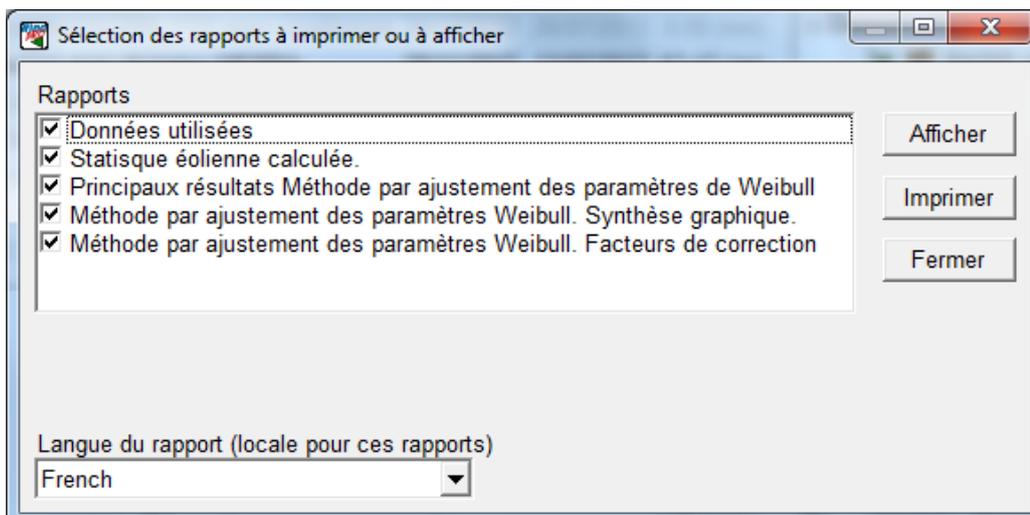


Figure 32

11.3.2.4 MCP indicielle

Pour lancer cette méthode, allez à l'onglet *Prévision*, cliquez sur le bouton *Ajouter MCP indicielle* qui ouvre la fenêtre de paramétrage de la Figure 33.

Cette méthode convertit les vitesses du vent des *Données de long terme* et des *Mesures* en productibles en utilisant une courbe de puissance, voir Figure 33. Ces productibles sont ensuite convertis en indices (%) pour leur utilisation ultérieure par cette méthode.

Figure 33

Les deux options suivantes sont proposées pour transformer les vitesses du vent en indices de production :

Utiliser la courbe de puissance d'une éolienne :

Cette option permet de choisir typiquement le modèle d'éolienne prévue pour le projet. L'accès à la *Bibliothèque d'éoliennes* et le choix du modèle se fait sans aucune particularité.

Utiliser une Courbe de puissance générique (parabole) :

Dans ce cas, la courbe de puissance est une parabole tronquée à la vitesse indiquée dans le champ *Tronquer la courbe générique à*. Cette option est utile quand le type d'éolienne du projet n'a pas encore été défini.

Le graphique montre les courbes de puissance. Le bouton *Copier graphique* permet de copier le graphique dans le presse-papiers.

N'utiliser que les périodes qu'avec X %, au moins, de données disponibles :

Cette option permet d'exclure les mois ayant trop peu de données de la comparaison des indices présentée à la Figure 34. Par contre, pour le calcul de la correction, toutes les données sont utilisées y compris celles des mois avec peu de données.

Vitesse moyenne du vent escomptée à hauteur de moyeu des éoliennes du parc :

Si la vitesse moyenne du vent des *Données de long terme* et celles des *Mesures* sont très différentes, les productibles sont calculés en utilisant des parties différentes de la courbe de puissance. Comme les courbes de puissance ne sont pas linéaires le calcul des indices sera impacté. Pour que cet effet soit marginal il faut que l'écart entre les vitesses moyennes soit de l'ordre de +/-0,5 m/s. A cet effet, on « extrapole » les vitesses pour qu'elles soient les plus approchantes possibles de la *Vitesse moyenne du vent escomptée* (à long terme) à hauteur de moyeu des éoliennes du parc. Etant donné que cette vitesse n'est pas connue, quelques itérations sont nécessaires pour la déterminer.

L'extrapolation revient à utiliser des vitesses qui auraient été mesurées au même endroit mais à une hauteur différente, donc on peut dire qu'il n'y a pas d'erreur de raisonnement en effectuant cette opération d'égalisation des vitesses moyennes.

Cliquez sur le bouton *Suivant >* pour ouvrir la même fenêtre Figure 34 dans laquelle on peut comparer les variations des indices. A la différence des méthodes par *MCP par régression* et *MCP matricielle*, il n'est pas possible de modifier la *Moyenne sur* et le test de corrélation ne peut se faire que sur des valeurs résultant de moyennes mensuelles.

Plus les courbes de variation des indices sont proches plus la correction sera pertinente.

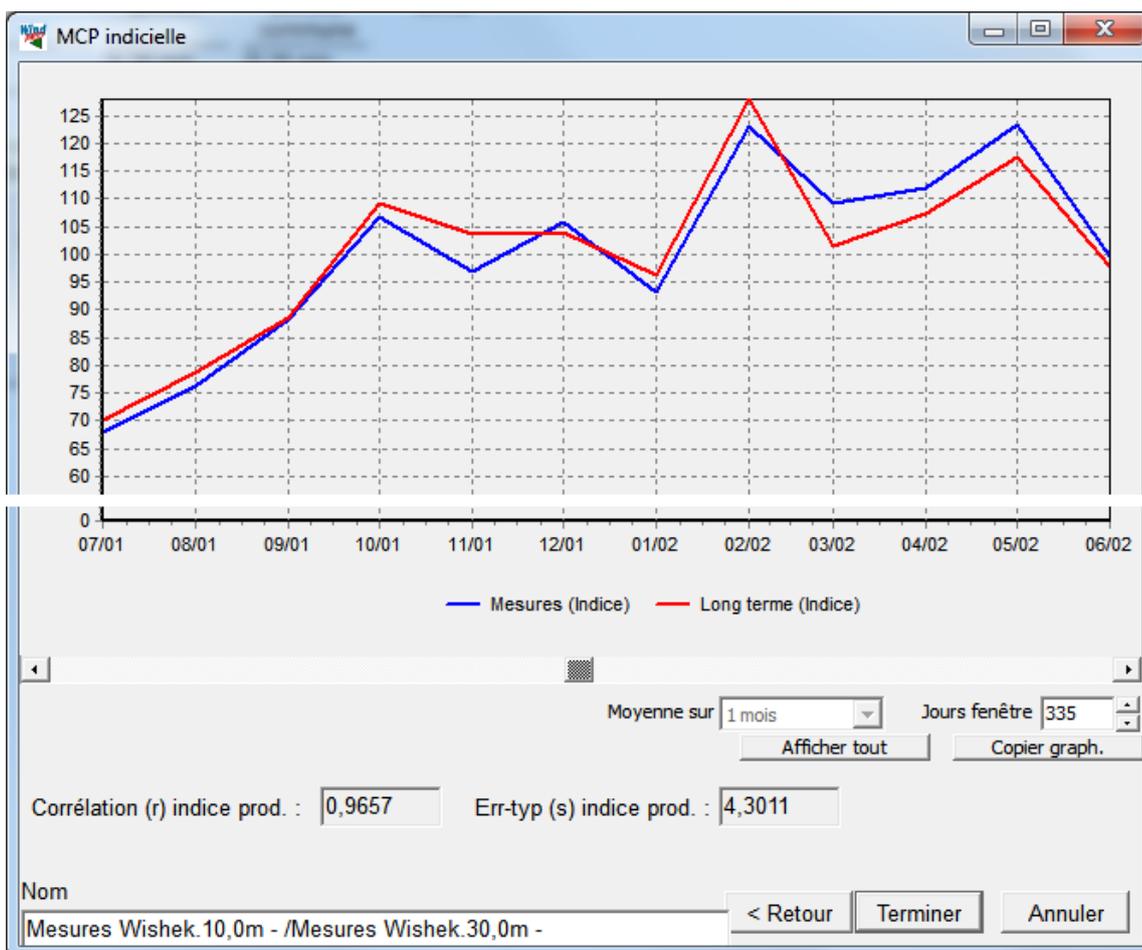


Figure 34

Cliquez sur le bouton *Terminer*, ici le calcul produit uniquement une *Statistique éolienne*, établie à partir des mesures, incluant un facteur de correction qui s'applique aux productibles calculés, avec cette statistique, afin de les rendre représentatifs du long terme.

La ligne des résultats présente la vitesse moyenne du vent à long terme à la *Hauteur témoin* calculée (avec WASP) à partir de la *Statistique éolienne* produite. Les valeurs de *r* et *s* ne sont données que pour les indices car la méthode ne travaille que sur les productibles.

En sélectionnant la ligne de résultats produite, puis en cliquant sur le bouton *Rapports* on ouvre la fenêtre de la Figure 35 qui permet de sélectionner les rapports pour les visualiser et/ou les imprimer.

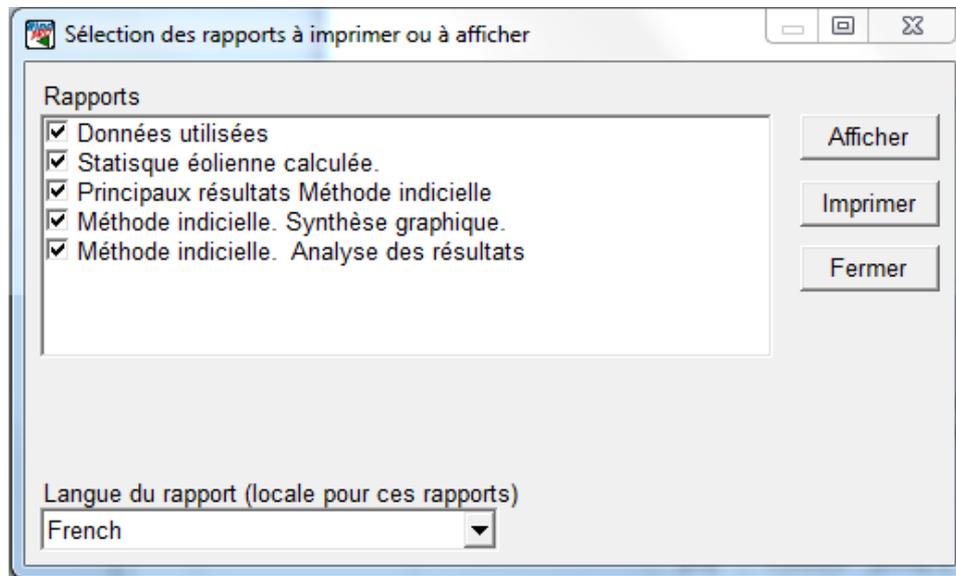
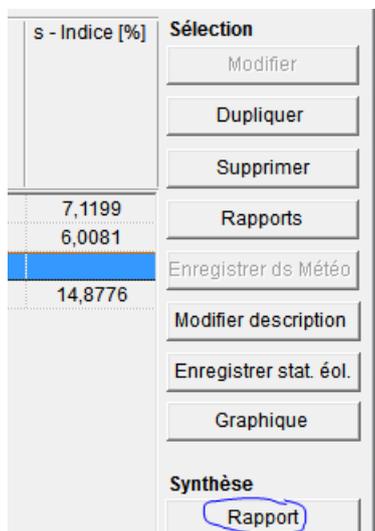


Figure 35

11.3.2.5 Bouton Rapport Synthèse



Dans l'onglet *Prévision*, le bouton *Rapport* situé sous *Synthèse*, voir Figure 36, génère un rapport résumant les résultats des différents calculs listés dans le tableau.

C'est ce rapport qui apparaît dans la liste des rapports de la fenêtre *Calculs et rapports*.

Figure 36

11.3.3 Onglet Configuration

Si plusieurs objets Données-site ont été créés dans le projet, l'Objet *Données-site* pour la *génération des Statistiques éoliennes* avec MCP se choisi dans le cadre *Données-site*, voir Figure 37.

De même la *Hauteur témoin* figurant dans les lignes résultats de l'onglet *Prévision* se choisi ici.

Le bouton *Modifier paramétrage de la méthode MCP indicielle* ouvre la fenêtre *Paramétrage MCP indicielle* dont la description a été donnée au 11.3.2.4

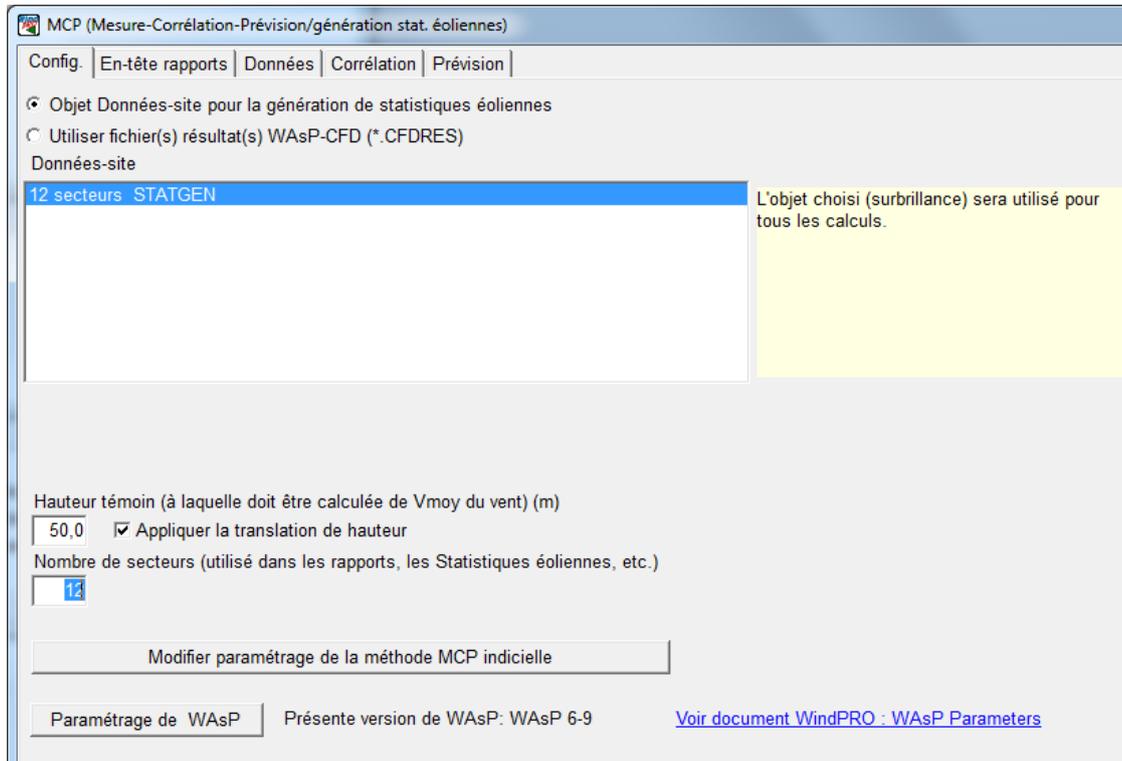


Figure 37

11.3.4 Onglet En-tête rapports

Les champs de cet onglet permettent d'entrer le nom du rapport et le texte de *Description* qui s'affiche dans l'en-tête des pages du rapport.

