



Index de vent & de production basés sur les données réanalysées ERA5, MERRA-2 & CFS

Des index mensuels de vent et de production basés sur les données réanalysées ERA5 de ECMWF ou MERRA-2 de la NASA peuvent être fournis sur demande à tout exploitant de centrale éolienne ; ces index sont disponibles en fin de mois suivant le mois considéré.

Des index similaires basés sur les données réanalysées CFS de NCEP peuvent aussi être fournis, disponibles en début de mois suivant le mois considéré; ces index sont toutefois moins précis que les index ERA5 ou MERRA-2.

Des fichiers ASCII explicitant les vitesses et puissances **horaires** de ces index de vitesse et production peuvent être fournis en complément; **ils peuvent permettre notamment d'estimer les pertes de production de la centrale sur une période donnée.**

D'autres variables (pression au niveau de la mer, température, humidité au sol) peuvent être fournis également en données horaires, en fin ou début de mois suivant le mois considéré selon les données réanalysées choisies.

1. LES DONNEES REANALYSEES

Les données réanalysées sont des données météorologiques issues des modèles d'assimilation des météorologues, et qui ont été retravaillées de manière à assurer sur le long terme une stabilité et une cohérence nécessaire aux climatologues; de nombreuses réanalyses sont maintenant disponibles, ainsi que le montre le site suivant : <http://reanalyses.org/atmosphere/comparison-table>.

Ces données présentent de nombreux avantages par rapport aux données de vent de stations météorologiques au sol :

- Elles sont disponibles sur des grilles régulières, dont la résolution spatiale peut être très fine ($\sim 0.25^\circ$ pour les ERA5, soit ~ 30 km).

- Un historique suffisamment long de ces données est disponible (1940-présent pour les ERA5, 1980-présent pour les MERRA-2, 1979-présent pour les CFSR/CFS).

2. INTERET DES NOUVELLES DONNEES REANALYSEES

Depuis 2011, de nouvelles données réanalysées de qualité sont disponibles, fournies soit par NCEP (données CFSR, puis CFS depuis 2011), soit par la NASA (données MERRA, puis MERRA-2 depuis 2016), soit par ECMWF (données ERA-Interim, puis ERA5 depuis 2018); par rapport aux réanalyses précédentes, ces données sont des données horaires, fournies sur des grilles beaucoup plus fines que précédemment (grille de $(0.25^\circ \times 0.25^\circ)$ pour les ERA5, de $(0.5^\circ \text{ lat} \times 0.625^\circ \text{ lon})$ pour les MERRA-2, de $(0.5^\circ \times 0.5^\circ)$ pour les CFS), et de qualité supérieure, les modèles d'assimilation utilisés ayant été grandement améliorés (cf. <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview>) pour les ERA5, <https://gmao.gsfc.nasa.gov/gmao-products/merra-2/> pour les MERRA-2, <http://cfs.ncep.noaa.gov/> pour les CFSR et CFSv2).

Les vitesses de vent ERA5 et MERRA-2 sont fournies en chaque point de grille au niveau 100m pour les ERA5, et 50m pour les MERRA-2 ; ces données ne sont toutefois disponibles qu'environ 3 semaines après la fin du mois considéré.

Les vitesses de vent des CFSR/CFS sont, elles, fournies au niveau 10m ; les CFS étant opérationnelles depuis le 30 mars 2011, ces données présentent l'intérêt d'être disponibles quasiment en temps réel; il y a toutefois, (cela uniquement pour les données de surface), un léger biais entre les CFSR et les CFS, si bien qu'une utilisation commune des CFS et des CFSR est problématique. Il serait possible de corriger ce biais en faisant appel à une autre référence long terme (telles les données ERA5), mais cette correction entraîne une imprécision supplémentaire.

3. INDEX DE VENT ET INDEX DE PRODUCTION ERA5 & MERRA-2

On considère ci-dessous une centrale éolienne située dans la Marne (51), dont nous avons assuré le suivi ; elle est composée de 6 éoliennes de puissance 1.5MW.

3.1 Index mensuel de vent

L'index de vent est obtenu en faisant le rapport de la vitesse moyenne du mois considéré à la moyenne sur 2005-2024 des vitesses du même mois, sur le point de grille ERA5 ou MERRA-2 le plus proche de votre centrale.

Nous avons ainsi, pour l'année 2012, les index mensuels et annuel de vent ERA5 suivants pour cette centrale dans la Marne :

Mois	Vitesses ERA5 long terme 2005-2024 (m/s)	Vitesses ERA5, année 2012 (m/s)	Vitesses ERA5, année 2012 extrapolées sur site, à h.m. (m/s)	Index de vent, année 2012
Janvier	6.79	6.92	7.25	101.9%
Février	6.84	5.40	5.65	78.9%
Mars	6.53	5.24	5.48	80.1%
Avril	5.57	6.66	6.97	119.6%
Mai	5.46	5.38	5.63	98.6%
Juin	4.96	5.17	5.41	104.1%
Juillet	4.98	5.23	5.47	105.0%
Août	4.83	4.97	5.20	102.8%
Septembre	5.17	5.20	5.45	100.6%
Octobre	6.00	6.66	6.98	111.1%
Novembre	6.50	5.86	6.14	90.2%
Décembre	7.01	8.05	8.43	114.9%
année	5.882 m/s	5.899 m/s	6.18 m/s	100.3%

Tableau 1 : Index de vent ERA5 sur la centrale, année 2012

Pour cette année 2012 sur cette centrale, avril et décembre ont été très bien ventés, février et mars beaucoup moins.

Il n'est pas immédiat de passer d'un index de vent à un index de production, car d'une part la vitesse moyenne mensuelle du vent ne suffit pas à décrire le potentiel éolien du mois considéré, d'autre part une variation de cette vitesse moyenne mensuelle par rapport à la normale influe d'autant plus sur la production que la vitesse moyenne mensuelle est basse : ainsi, un index de vent de 95% pourra entraîner une baisse de 8% environ de la production pour une vitesse moyenne de 8m/s à hauteur de moyeu, et de 15% environ pour une vitesse moyenne de 5m/s à hauteur de moyeu.

3.2 Index mensuel de production

Un index mensuel de production pour une centrale donnée vous est aussi proposé à partir de ces données réanalysées; le fait de disposer de données de vent **horaires** permet en effet de calculer avec une bonne précision la production d'une éolienne, dont le point de grille des données réanalysées le plus proche de la centrale devrait être représentatif du régime de vent.

Les paramètres nécessaires au calcul de cet index sont les coordonnées de la centrale (latitude ; longitude ; altitude moyenne), la hauteur de moyeu, le type d'éolienne de la centrale, et la vitesse moyenne long terme sur la centrale à hauteur de moyeu (à défaut, une vitesse moyenne long terme issue d'un atlas de vent pourra être utilisée).

Cet index est obtenu en faisant le rapport de la production de l'éolienne considérée pendant le mois considéré à la production moyenne sur 2005-2024 des mêmes mois, en se basant sur le point de grille ERA5 ou MERRA-2 le plus proche de votre centrale ; les données de vent ERA5 (MERRA-2) sont extrapolées à hauteur de moyeu en se basant sur la vitesse moyenne long terme de la centrale à hauteur de moyeu et sur les données de vent ERA5 (MERRA-2) long terme (années 2005-2024). Cet index peut prendre en compte ou non une correction de densité de l'air, les données réanalysées comportant aussi des données de température et pression ; cette correction de densité de l'air a toutefois très peu d'incidence sur le calcul même de cet index de production (sauf si la température moyenne du mois considéré est très différente de la température normale de ce mois).

Pour être utilisable par l'exploitant, cet index mensuel de production est ensuite transformé en tenant compte de la répartition mensuelle moyenne de la production, de manière à donner une part mensuelle de productible qui pourra être comparée à la production réelle obtenue ; cette répartition mensuelle moyenne de la production est calculée à partir des productions mensuelles moyennes long terme de l'éolienne considérée en se basant sur les données réanalysés extrapolées à hauteur de moyeu ; il est préférable pour cette répartition de se baser sur les données ERA5 (MERRA-2), en tenant compte cette fois des corrections de densité de l'air.

Nous avons ainsi, pour l'année 2012, les index mensuels et annuel de production ERA5 suivants, pour cette centrale dans la Marne :

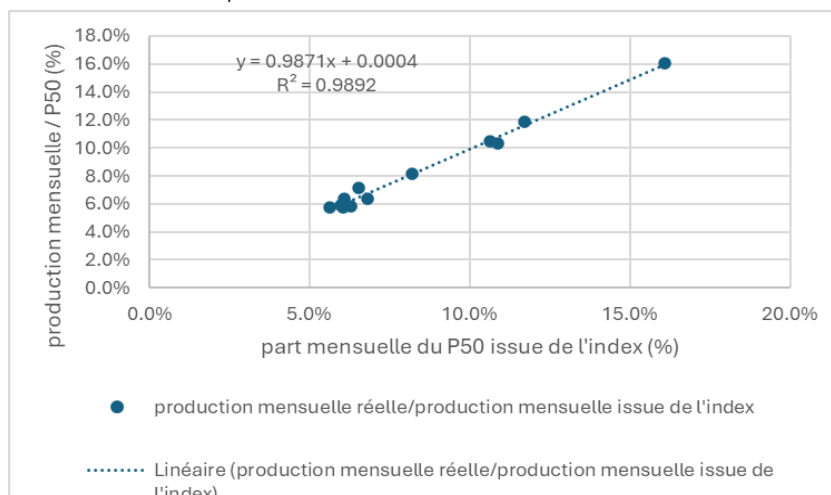
mois	Productions moyennes long terme 2005-2024 avec correction de densité de l'air (MWh)	Productions de l'année considérée (MWh)	Index de production, année 2012 (%)	Répartition mensuelle moyenne de la production (%)	Part mensuelle de productible estimée, année 2012 (%)
Janvier	419.0	435.7	104.0%	11.7%	12.1%
Février	384.3	245.2	63.8%	10.7%	6.8%
Mars	387.9	224.4	57.9%	10.8%	6.2%
Avril	259.2	396.5	153.0%	7.2%	11.0%
Mai	247.3	244.5	98.9%	6.9%	6.8%
Juin	184.1	225.0	122.2%	5.1%	6.3%
Juillet	191.5	216.6	113.1%	5.3%	6.0%
Août	177.2	199.6	112.6%	4.9%	5.5%
Septembre	213.9	215.0	100.5%	5.9%	6.0%
Octobre	316.5	386.0	121.9%	8.8%	10.7%
Novembre	370.0	301.3	81.4%	10.3%	8.4%
Décembre	445.8	593.3	133.1%	12.4%	16.5%
année	3596.9	3683.2	102.4%	100.0%	102.4%

Tableau 2 : Index mensuels de production et parts mensuelles du P50 sur la centrale, année 2012

3.3 Précision de ces index mensuels de production

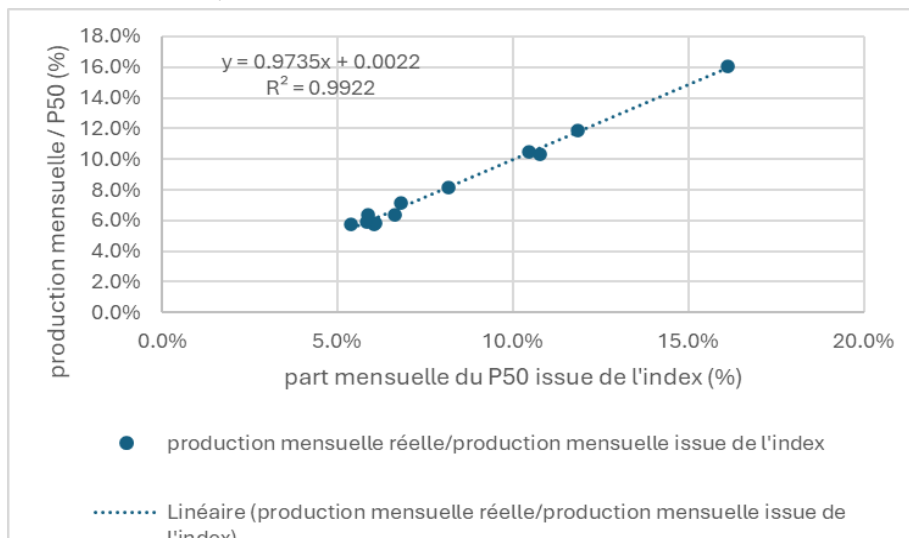
La précision de ces différents index de production varie selon les données réanalysées utilisées ; elle est illustrée par l'exemple ci-dessous, en considérant cette centrale éolienne située dans la Marne; on obtient sur l'année 2012 les corrélations suivantes entre productions mensuelles de la centrale (en pourcentage de productible et après correction des pertes dues aux indisponibilités éventuelles de la centrale) et part de productible obtenue à partir de l'index de production :

- Données ERA5 utilisées, sans correction de densité :



graphique 1 : productions mensuelles de la centrale et productions issues de l'index, données ERA5, sans correction de densité

- Données ERA5 utilisées, avec correction de densité



graphique 2: productions mensuelles de la centrale et productions issues de l'index, données ERA5, avec correction de densité

Les données réanalysées ERA5 devraient donc fournir des index de production de bonne qualité; nous proposons 2 formules d'index de production, avec ou sans correction de densité.

Des fichiers ASCII explicitant les vitesses et puissances horaires de ces index de vitesse et production peuvent être fournis en complément; ils peuvent permettre d'estimer les pertes de production de la centrale sur une période donnée.

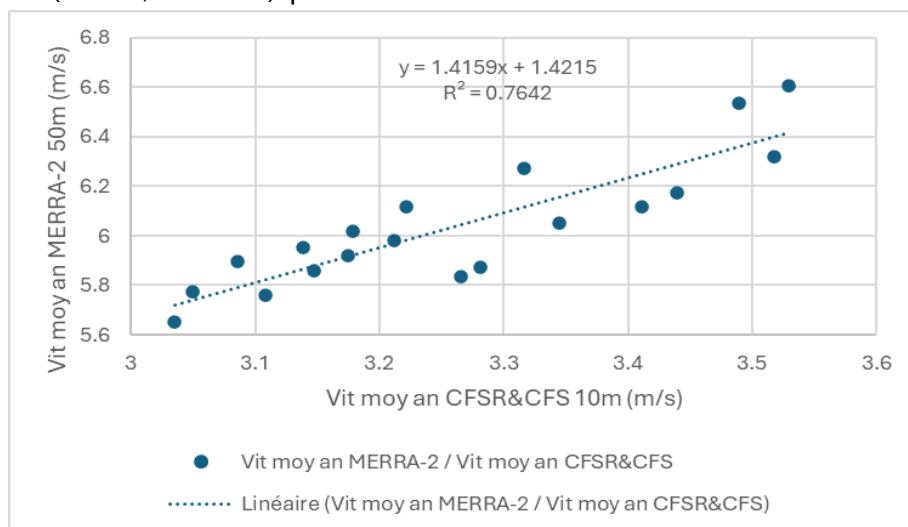
4. INDEX DE VENT ET INDEX DE PRODUCTION CFS

Des index de vent et de production basés sur les données CFS sont aussi proposés; on ne peut toutefois pour ces index utiliser les données CFSR antérieures aux CFS :

4.1 Comparaison des données CFSR et CFS avec les MERRA-2

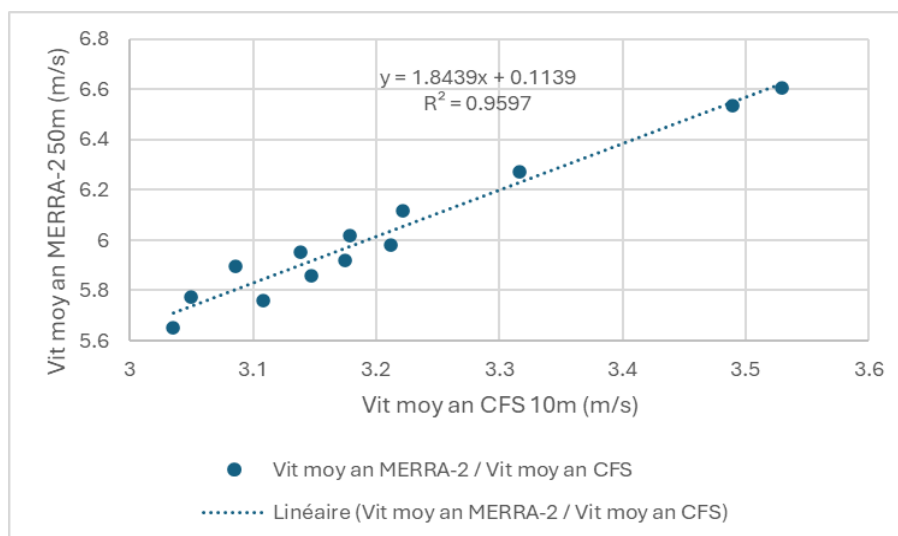
Le graphique ci-dessous représente la corrélation entre vitesses moyennes annuelles des données CFSR/CFS et des données MERRA-2 sur les années 2005-

2024, les points de grille correspondants étant les points (49°N ; 4.5°E) pour les CFSR/CFS et (49°N ; 4.375°E) pour les MERRA-2 :



graphique 3 : corrélation entre les CFSR/CFS et les MERRA-2, 2005-2024, Marne

La corrélation entre vitesses moyennes annuelles est moyenne, mais s'améliore notablement si on considère séparément les données CFSR et les données CFS ; on a ainsi les corrélations suivantes entre données CFS sur 2012-2024 et MERRA-2:



graphique 4 : corrélation entre les CFS et les MERRA-2, 2012-2024, Marne

Le changement des CFSR aux CFS, du 30 mars 2011, a donc bien introduit un biais sur ces données de surface.

Il serait possible de corriger les vitesses de vent des données CFSR en se basant sur les rapports des vitesses moyennes des CFSR et des MERRA-2 (ou ERA5) sur les années

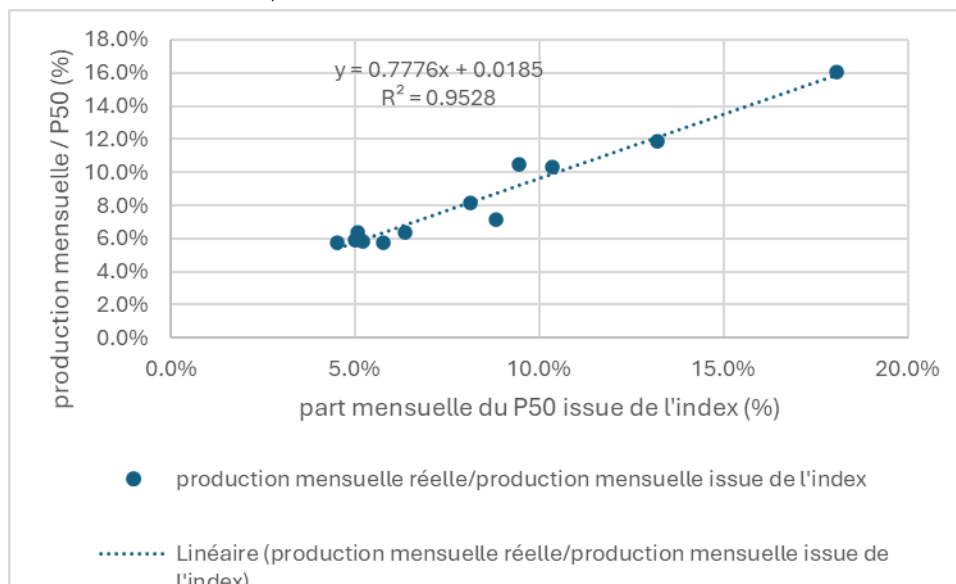
2004-2010 et des vitesses moyennes des CFS et des MERRA-2 (ou ERA5) sur les années 2012-2024 ; **nous préférons toutefois là limiter la période long terme de référence aux 13 années 2012-2024.**

4.2 Index de vent et index de production CFS

Il est donc possible d'obtenir des index de vent et de production de manière analogue à ce qui est fait avec les données ERA5, la période long terme considérée étant plus courte (2012-2024); l'intérêt principal de pouvoir utiliser les données CFS est que les données CFS sont quasiment disponibles en temps réel.

Les index obtenus sont toutefois moins précis que ceux obtenus avec les données ERA5, les données CFS étant des données au niveau 10m avec une résolution spatiale plus grossière que celle des ERA5. On a ainsi, avec les mêmes données de production de l'année 2012 de la centrale située dans la Marne :

- Données CFS utilisées, avec correction de densité



graphique 5 : productions mensuelles de la centrale et productions issues de l'index, données CFS avec correction de densité

La corrélation obtenue est nettement inférieure à celle du graphique 2.