

Analyse graphique des données du site eCO2mix (RTE) pour la région Bretagne

Décembre 2014

**H. Flocard & J.-P. Le Gorgeu
Association « Sauvons le Climat »**

Ces figures sont libres d'usage à condition d'en citer l'origine comme suit :

données « eCO2mix/RTE », analyse « Sauvons le Climat » .

**Ce fichier ainsi que l'ensemble des données eCO2mix sauvegardées et rassemblées par trimestre
sera mis à disposition à l'adresse suivante :**

<http://www.sauvonsleclimat.org/donneestechriqueshtml/analyse-graphique-des-donnees-du-site-eco2mix-rte-sur-la-production-francaise-deelectricite/35-fparticules/1177-analyse-graphique-des-donnees-du-site-eco2mix-rte-sur-la-production-francaise-deelectricite.html>

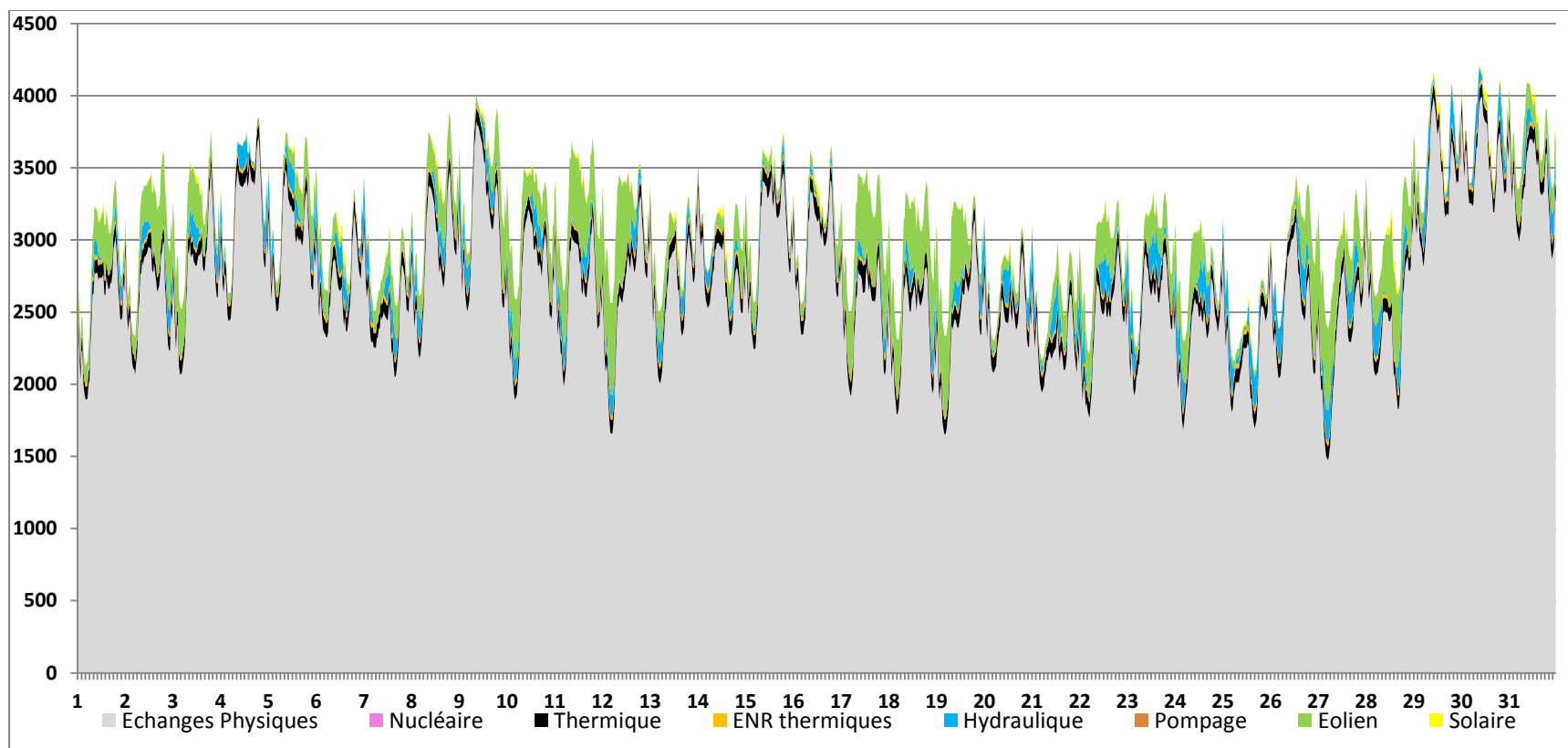


Fig.1 Consommation – production Bretagne Décembre 2014 (MW). En moyenne sur le mois, la puissance consommée a été de 3,10 GW (année 2013, 3,18 GW) entre un maximum de 4,21 GW (année 2013, 4,2 GW) le 30 du mois à 9h (un mardi) et un minimum de 2,1 GW (année 2013, 2,18 GW) le 25 du mois à 16h00 (jour de Noël). La consommation est couverte à 86,8 % (année 2013, 87,22 %) par des importations. Le complément de production est fourni par l'hydraulique au rythme des marées, par le solaire pour les milieux de journées et par l'éolien essentiellement en quatre épisodes de un à deux jours. Les importations oscillent entre 1,47 et 3,99 GW. En Basse Normandie, la centrale de Flamanville a fonctionné à pleine puissance (2,63 GW) tout le mois à l'exception de la période du 4 au 7 (incluant un weekend) où sa puissance avait été baissée à 1,2 GW. Le 8 Décembre elle remontait à 1,85 GW pour revenir graduellement à sa puissance maximale sur la journée du 9. La capacité d'exportation de cette région voisine, a oscillé entre 1 et 1,6 GW sauf sur la période de réduction de puissance où elle s'inversait d'abord à - 0,9 GW pour revenir à zéro dès le samedi 6. La région Pays-de-Loire qui a fait fonctionner la centrale à combustibles fossiles de Cordemais jusqu'au 20 Décembre avec des pointes diurnes jusqu'à 1,7 GW et des creux nocturnes entre 0,6 et 0,8 GW a importé du courant tout au long du mois. Les données eCO2mix ne fournissant que le bilan des échanges global sur l'ensemble des frontières régionales ne permettent pas de déterminer précisément l'énergie électrique produite par les centrales nucléaires en amont sur la Loire, voire des centrales plus éloignées françaises ou étrangères, qui a traversé ces deux régions frontalières pour aider à couvrir la consommation bretonne. Cependant le niveau d'importation de la région Bretagne montre qu'il y a bien eu de tels flux entrants d'origine lointaine tous les jours du mois.

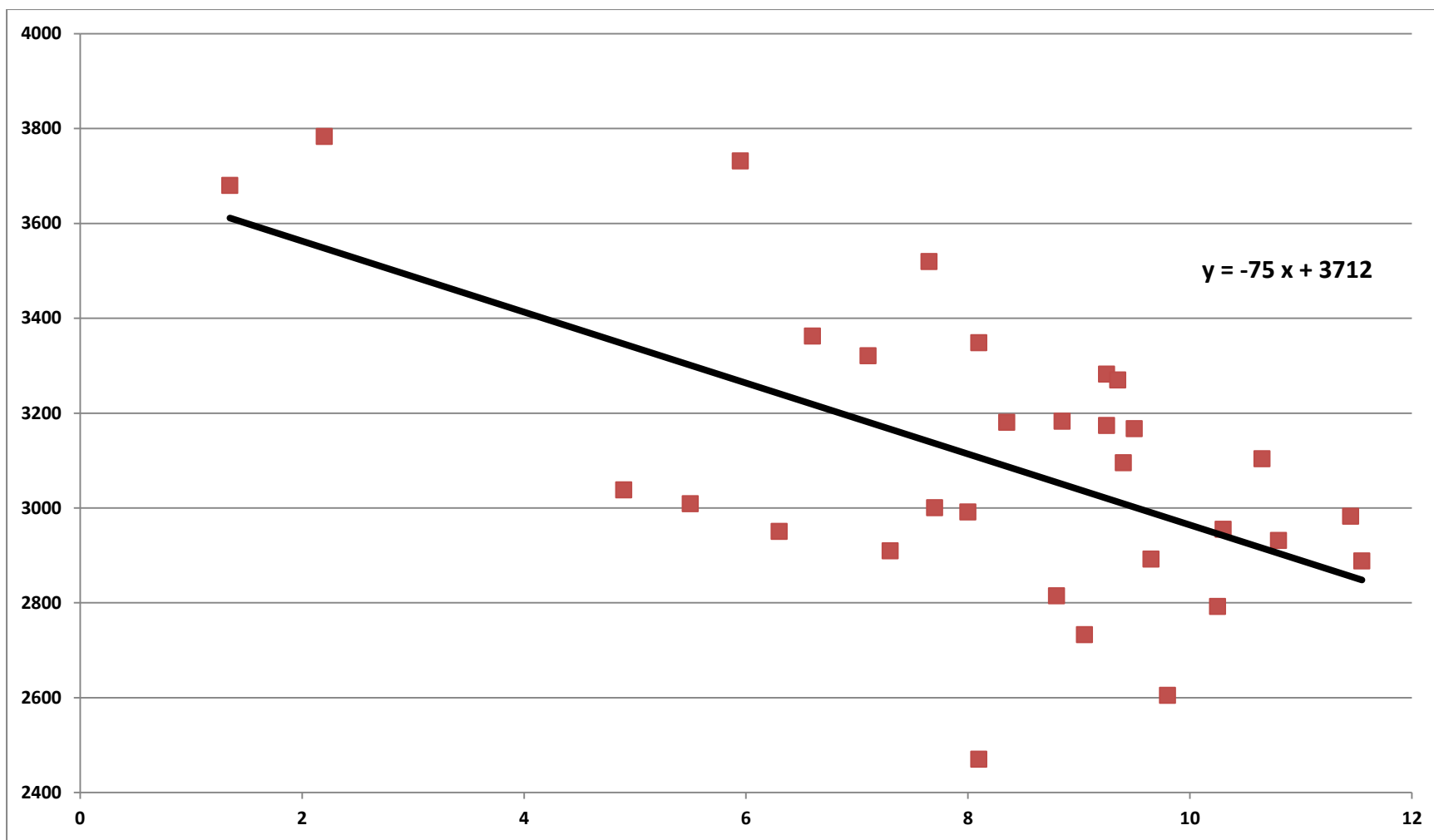


Fig.2 Thermo-sensibilité de la consommation électrique bretonne Décembre 2014. Ce type de diagramme est souvent discuté par RTE qui lui associe la notion de thermo-sensibilité. Il fournit des indications sur les moyens de production supplémentaires à mobiliser à l'occasion d'une vague de froid. Chaque point du diagramme correspond à un jour du mois. L'ordonnée (en MW) donne la puissance moyenne journalière appelée et l'abscisse la température moyenne sur Brest (en °C). La température moyenne est définie comme la demie-somme des températures minimale et maximale du jour telles que fournies par le site Météociel. La pente décroissante de la courbe de tendance indique que pour ce mois de Décembre (puissance de consommation mensuelle moyenne : 3100 MW) assez doux (la température n'est passée sous zéro que trois nuits dans le mois) il a fallu mobiliser en moyenne 75 MW supplémentaires par degré de température en moins.

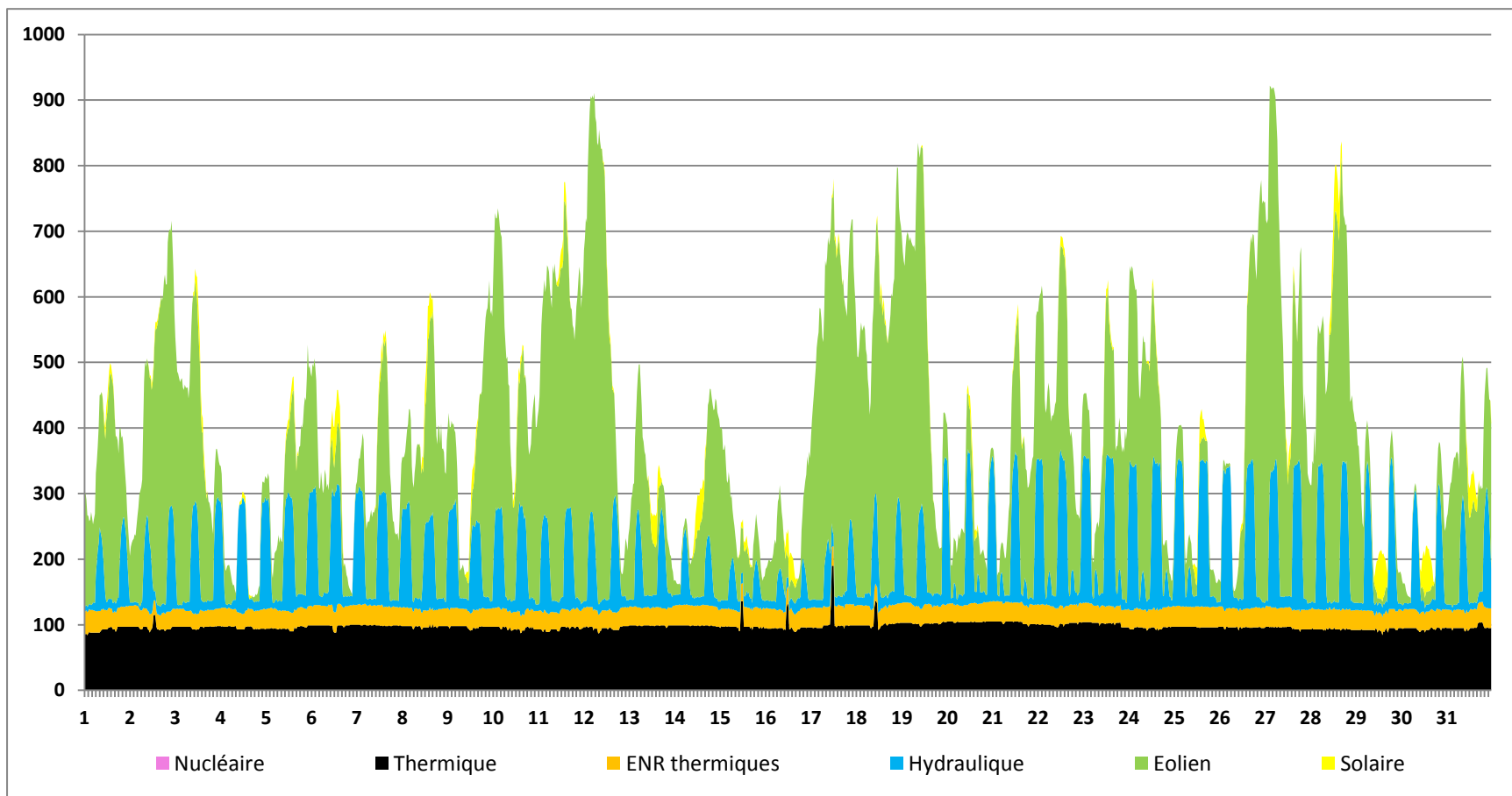


Fig.3 Production électrique de la Bretagne Décembre 2014 (MW). Ce mois-ci, l'ensemble de ces productions compte pour environ 13 % de la consommation locale (année 2013, 12,5 %). Le thermique brûlant des combustibles fossiles (zone noire) contribue à 3% de ces 13 %. En GWh la production totale a été de 151,4 (année 2013, 168,9) pour l'éolien, 54,1 (année 2013, 45,8) pour l'hydraulique, 21,3 (année 2013, 19,3) pour les ENR thermiques et de 4,3 (année 2013, 5,1) pour le solaire (consommation totale 2307 GWh – année 2013, 2317 GWh). A l'exception des ENR thermiques dont la production est quasi-constante et de la contribution thermique fossile (72,4 GWh – année 2013, 53 GWh), les autres énergies, toutes fatales, fluctuent sans corrélation avec les besoins en électricité de la région. L'attrait financier de subventions spécifiques accordées à la cogénération pendant la période hivernale (Décembre à Mars) explique l'essentiel de la production à base de combustibles fossiles qui est arrêté le reste de l'année. Tout comme l'ENR thermique (zone jaune) qui fonctionne en base elle se reste stable à son maximum et ne participe donc pas à la gestion de régulation du réseau.

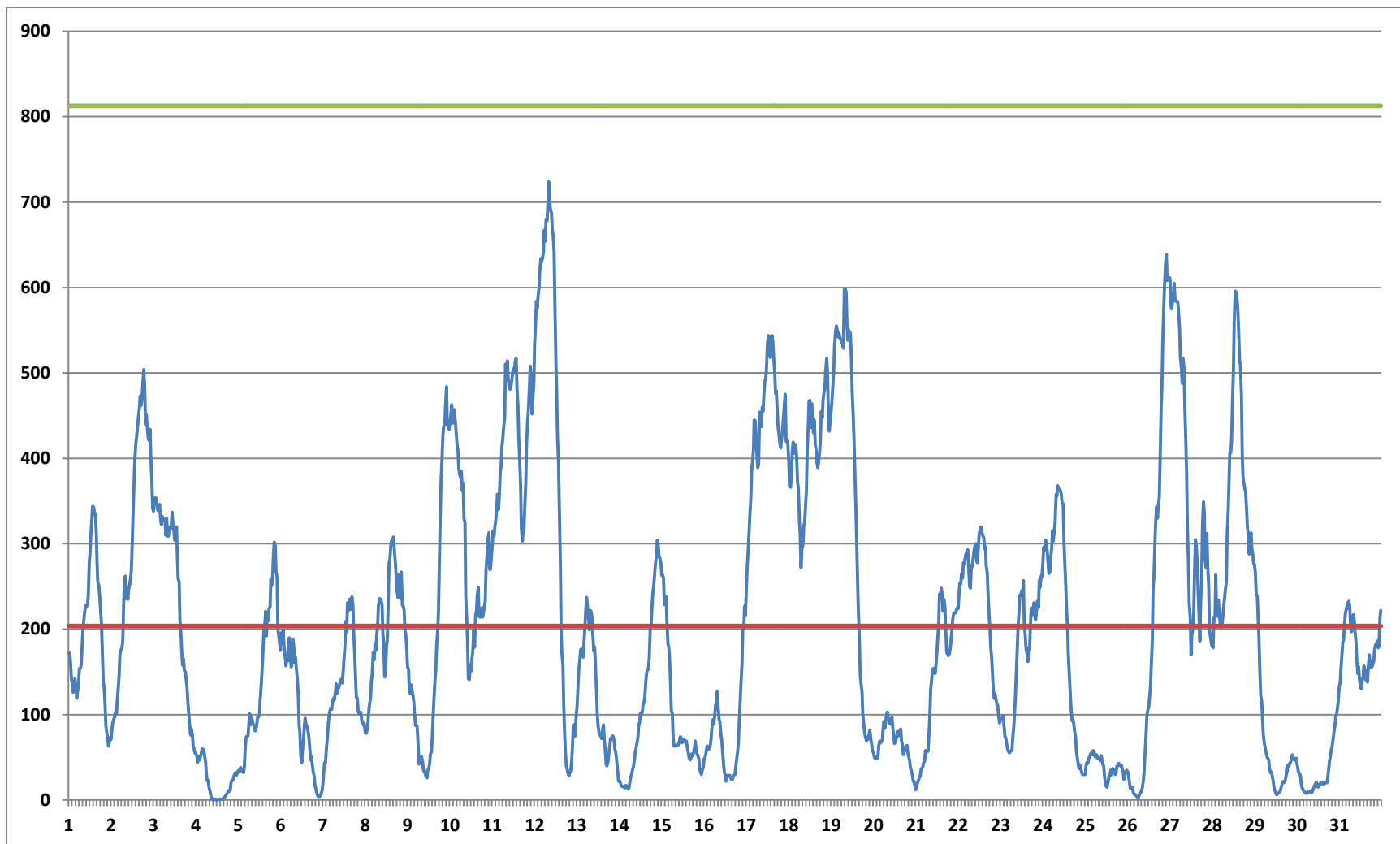


Fig.4 Production éolienne, Puissance (MW) Bretagne – Décembre 2014. En nous basant sur les données des 30/06/2014 et 30/09/2014 des deux derniers « Tableaux de bord éolien et photovoltaïque » publiés par le ministère nous avons estimé, par extrapolation linéaire, la puissance éolienne régionale installée à 812,7 MW (année 2013, 756 MW). La puissance moyenne livrée au réseau sur le mois a été de 204 MW (année 2013, 227 MW) soit une efficacité moyenne de 25,04 % (année 2013, 30 %). Le maximum de production a été de 724 MW (année 2013, 711 MW) pour une efficacité de 89,1 % (année 2013, 94,1 %) le 12 du mois à 8h00 (un vendredi). Plusieurs fois dans le mois, la production a été nulle ou presque nulle. Par exemple, elle a été nulle pour la première fois le 4 du mois à 9h30 (un jeudi).

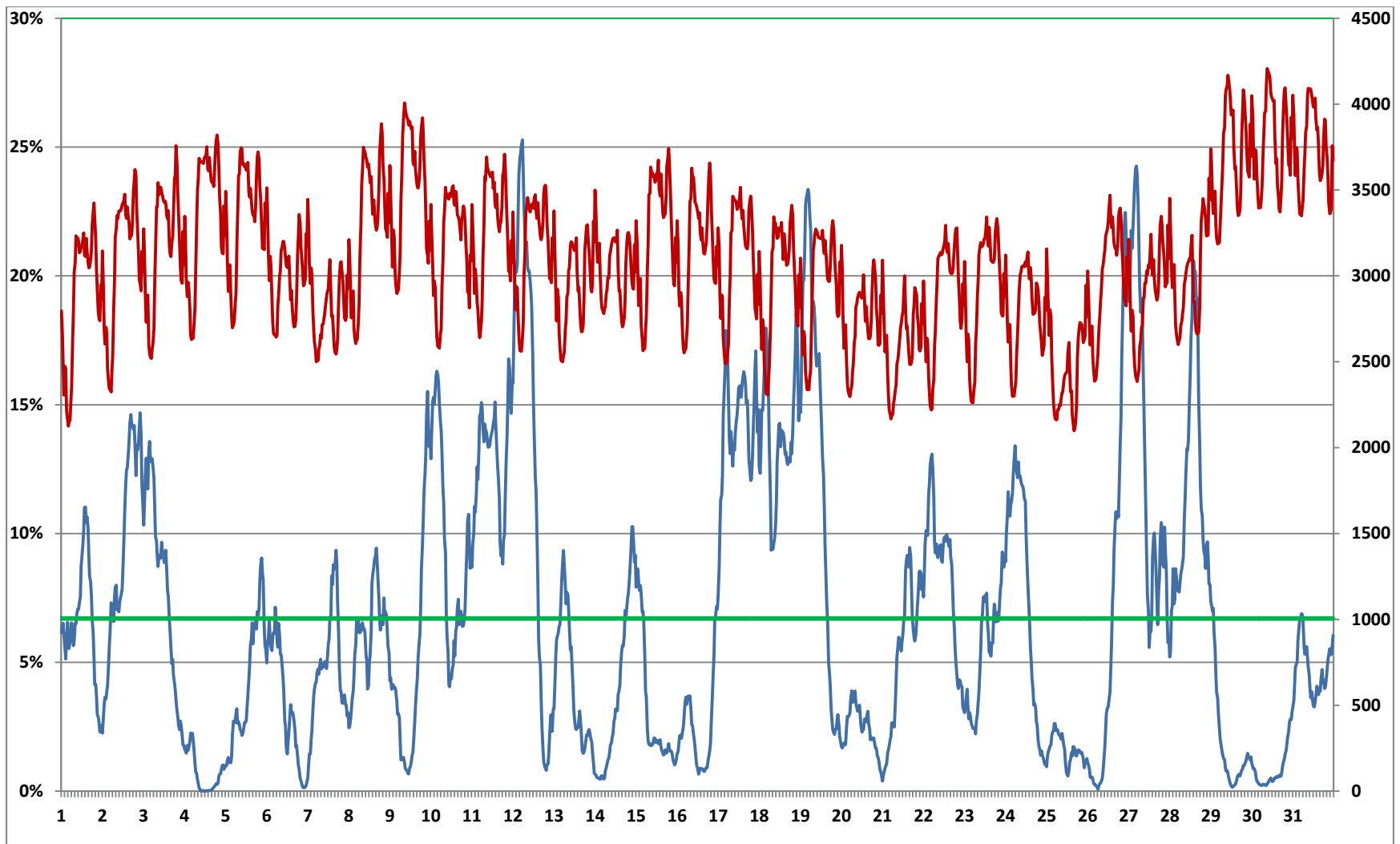


Fig.5 Production éolienne, Taux de couverture (%) Bretagne – Décembre 2014. La courbe rouge (échelle de droite en MW) montre l'évolution de la consommation. En moyenne, le taux de couverture (rapport de la puissance livrée à la puissance consommée au même instant) de l'éolien est de 6,7 % (année 2013, 7,6 %). Ce résultat en baisse est obtenu en dépit d'une puissance installée qui d'une année à la suivante est en hausse de plus de 7 % et d'une consommation qui est un peu inférieure à celle de l'an dernier. Le taux de couverture atteint son maximum de 25,3 % (année 2013, 24,4 %) le 12 du mois à 5h00 (la nuit du vendredi) à un moment qui combine une forte production éolienne et le second plus fort appel en électricité du mois. Les pics du taux de couverture reflètent donc autant la production éolienne que la faible consommation. Le minimum est nul ou quasi nul plusieurs fois dans le mois.

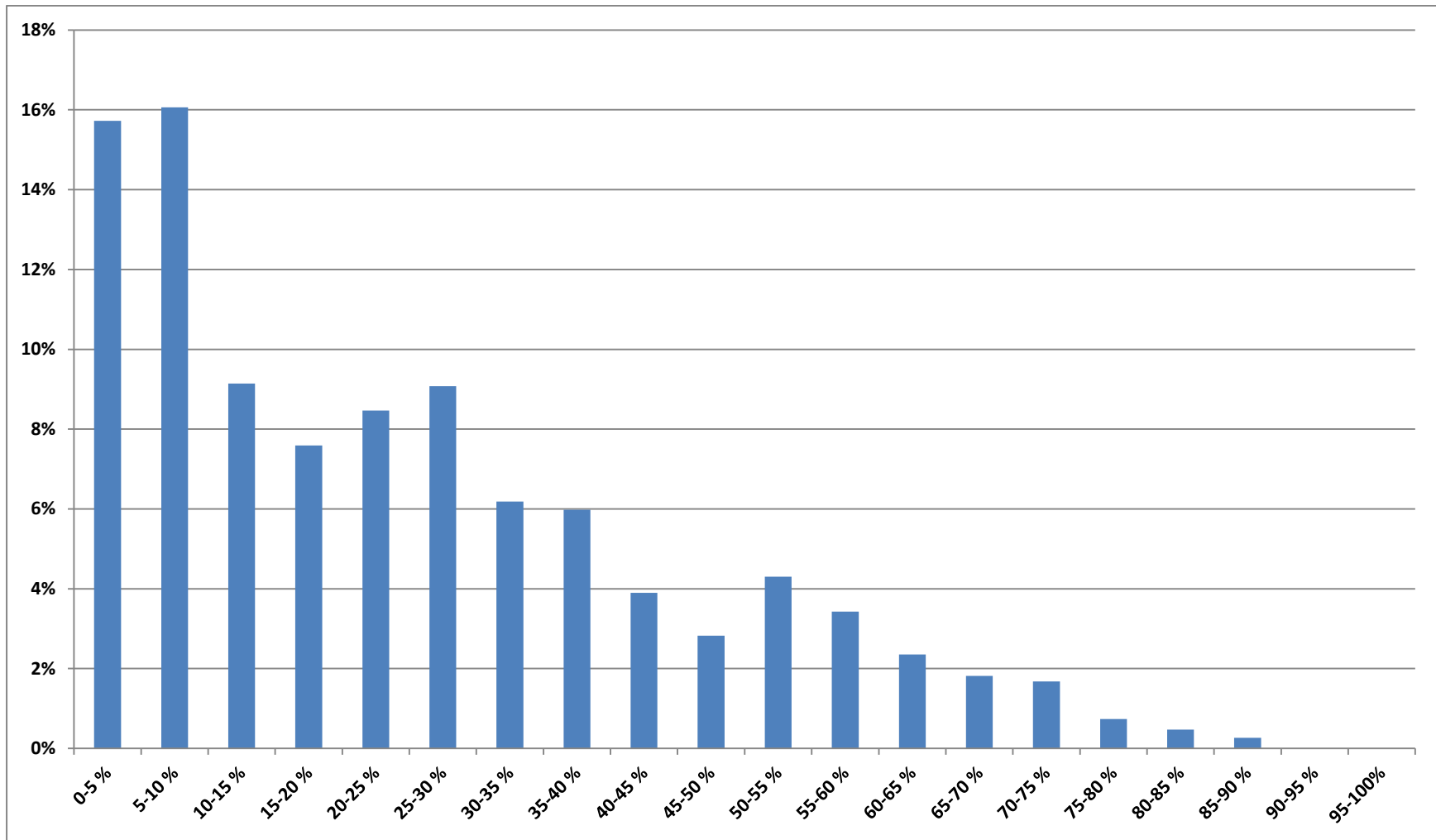


Fig.6 Bretagne Décembre 2014. Pourcentage du temps en fonction de la puissance éolienne livrée (abscisses : intervalles de puissance mesurés en pourcentage de la puissance installée : 810 MW). Cette distribution décroissante est caractéristique d'une zone géographique de petite dimension au regard des zones météo comme la Bretagne (pas ou peu de foisonnement). Le mois a été productif (efficacité moyenne 25,04 % - année 2013, 30 %) avec plusieurs épisodes de production non négligeables en particulier autour du 12 (quand l'efficacité a atteint 89,1 %). La puissance livrée a dépassé 50 % de la puissance moyenne installée pendant 15,1 % du temps (année 2013, 22,5 % du temps). Elle a été inférieure à 15 % de la puissance installée pendant 40,9 % (année 2013, 33,2 %) du temps.

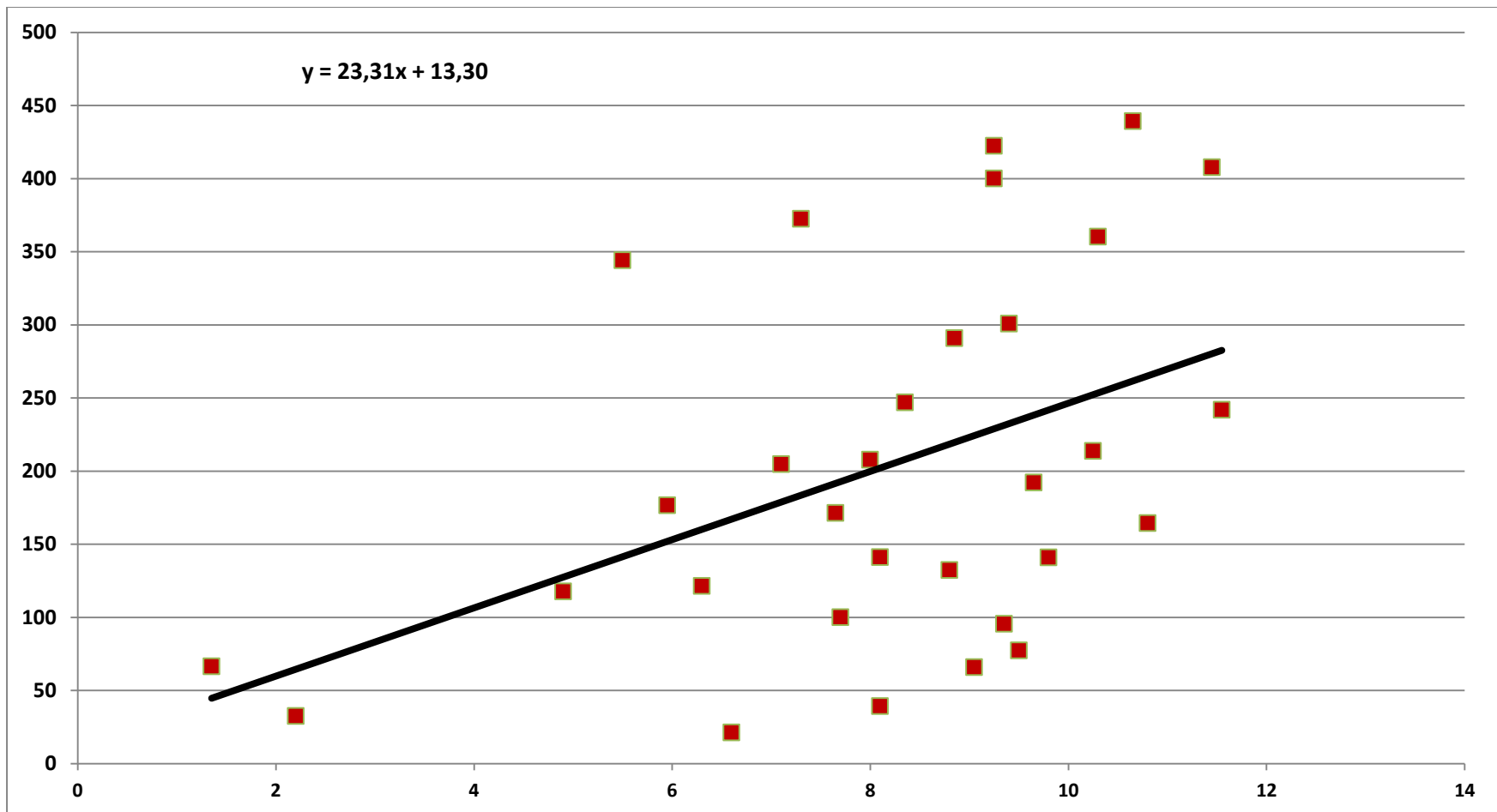


Fig.7 Thermo-sensibilité de la production éolienne bretonne Décembre 2014. Ce type de diagramme qu'on pourra comparer à celui de la figure 2 n'est jamais discuté par RTE. Il fournit pourtant aussi des indications sur les moyens de production contrôlables supplémentaires à mobiliser à l'occasion d'une vague de froid pour une région qui aurait choisi de dépendre fortement de l'éolien pour la couverture de sa consommation électrique. Chaque point du diagramme correspond à un jour du mois. L'ordonnée (en MW) donne la puissance moyenne éolienne livrée ce jour et l'abscisse la température moyenne sur Brest (en °C). La température moyenne est définie comme la demie-somme des températures minimale et maximale du jour telles que fournies par le site Météociel. La pente croissante de la courbe de tendance indique que, pour ce mois de Décembre assez doux, la moyenne journalière de la puissance éolienne a en tendance diminué de 23 MW pour chaque degré de température en moins. Au regard de la puissance éolienne moyenne sur le mois – 204 MW – (pour un taux de couverture de la consommation de 6,7 % et une puissance installée de 812 MW), cette thermo-sensibilité de 23 MW/°C est donc plus importante en valeur relative que celle de la consommation (- 75 MW/°C pour une puissance mensuelle moyenne consommée de 3100MW).

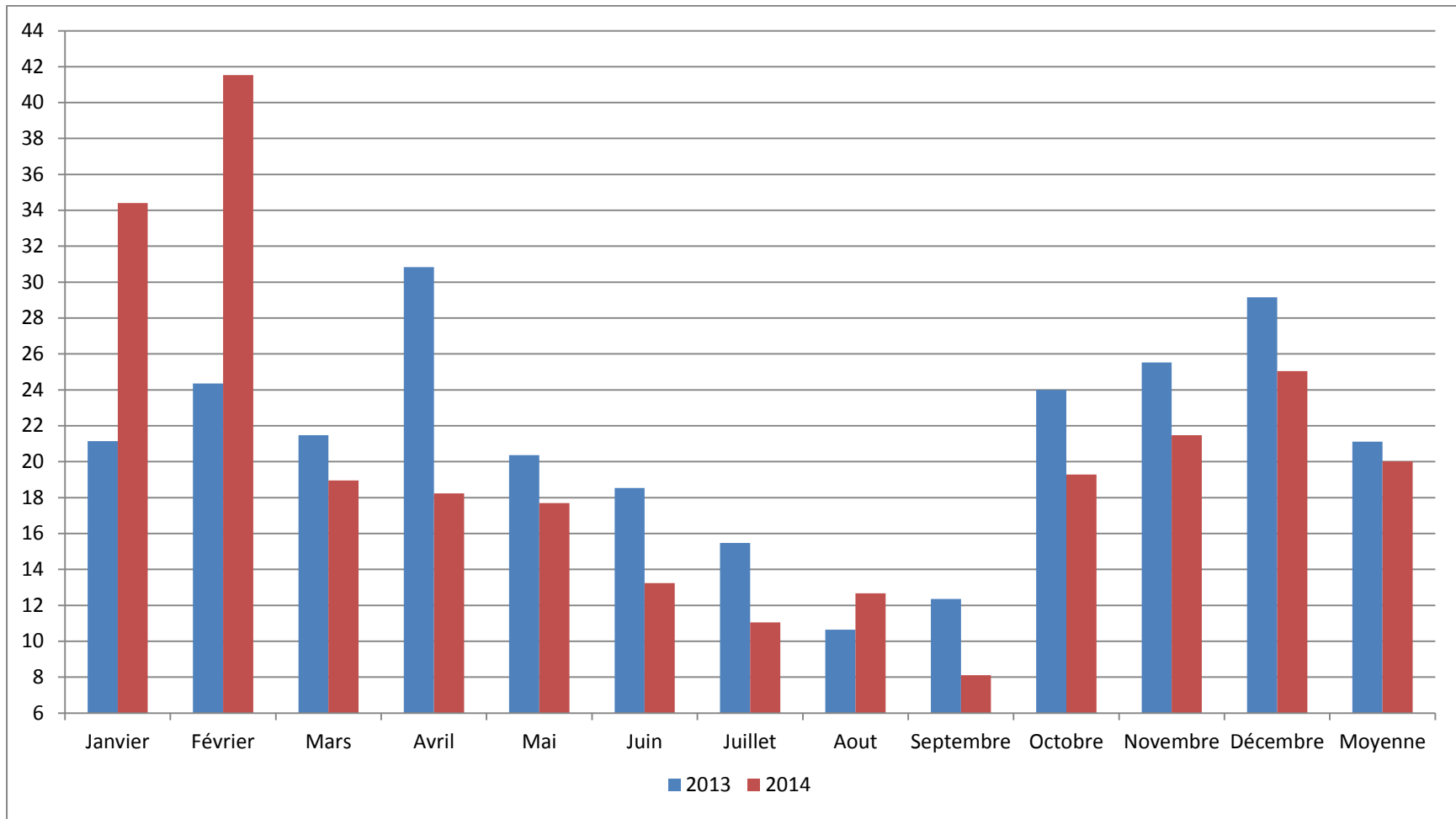


Fig.8 Bretagne Décembre 2014. Comparaison des efficacités éoliennes moyennes mensuelles des années 2013 et 2014. Pour le calcul de ces efficacités moyennes, on utilise des puissances installées extraites des « Tableaux de bord éolien et photovoltaïque » publiés chaque trimestre par le ministère (dernière parution 30/09/2014). Les valeurs mensuelles sont obtenues par interpolation pour la période du 31/12/2012 au 30/9/2014, et, faute de données fournies par le ministère, par extrapolation linéaire pour les mois d'Octobre à Décembre 2014. Les deux dernières barres montrent que l'augmentation remarquable de productivité d'une année sur l'autre pour les deux premiers mois de 2014 (deux mois marqués par de violentes et multiples tempêtes) se trouve compensée par la productivité réduite de 9 des 10 mois suivants, de sorte que la moyenne de productivité de l'année 2014 (20,02 %) est inférieure d'un point à celle de l'année 2013 (21,12 %).

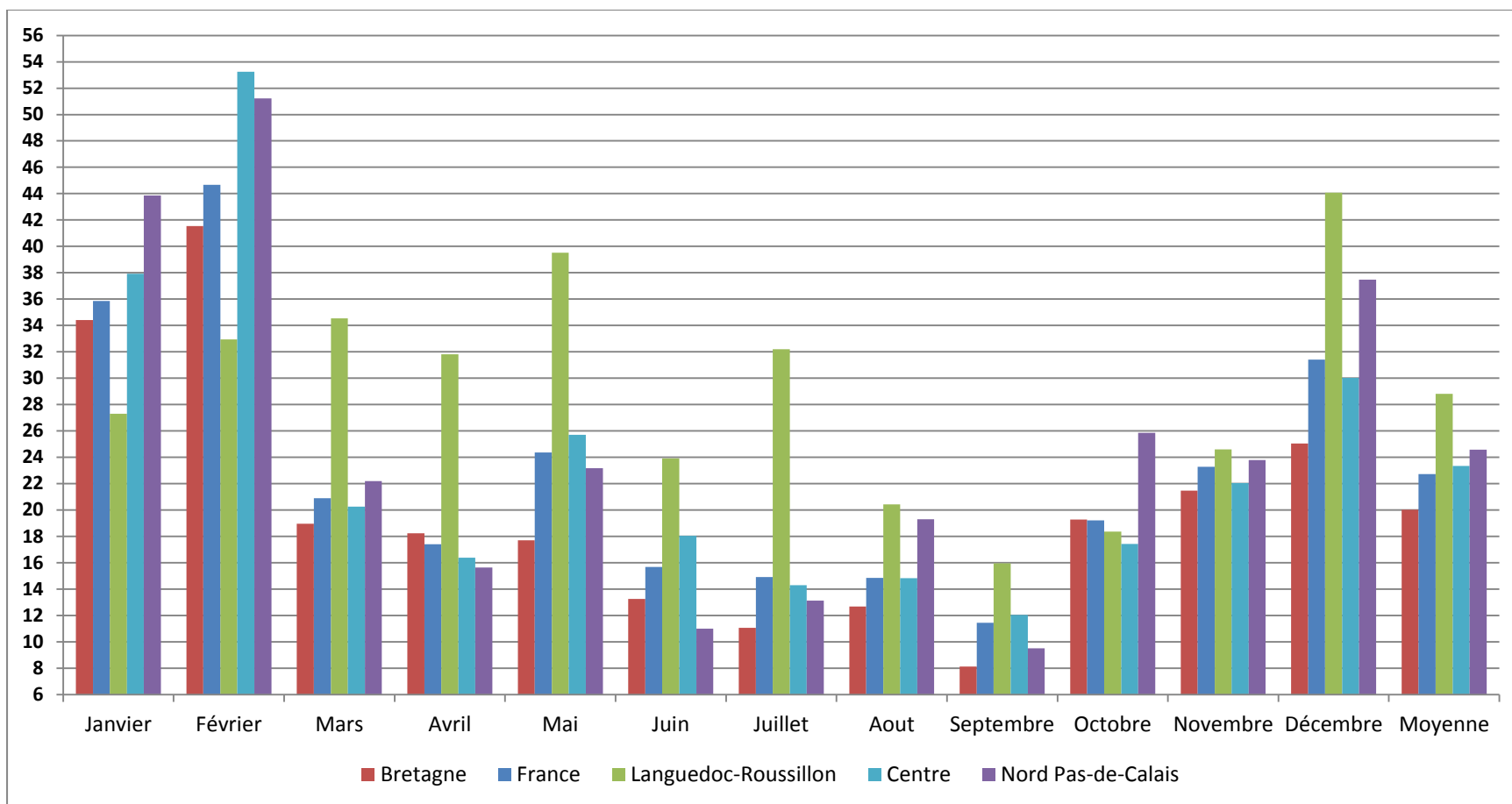


Fig.9 Bretagne Décembre 2014. Comparaison des efficacités éoliennes moyennes mensuelles de la Bretagne, de la France continentale et de trois régions françaises pour l'année 2014. Pour le calcul de ces efficacités moyennes, on utilise des puissances installées extraites des « Tableaux de bord éolien et photovoltaïque » publiés chaque trimestre par le ministère (dernière parution 30/09/2014). Les valeurs mensuelles sont obtenues par interpolation pour la période du 31/12/2013 au 30/9/2014, et par extrapolation linéaire pour les mois d'Octobre à Décembre 2014. De façon un peu surprenante, compte tenu des fortes ambitions éoliennes affichées par la région Bretagne, pour dix des douze mois de 2014, la Bretagne a été moins efficace pour produire de l'énergie électrique éolienne que la France dans son ensemble. Le dernier ensemble de barres montre qu'un MW éolien implanté en Bretagne a été moins productif (moyenne de 20 % pour douze mois) qu'un MW de l'ensemble du parc de la France continentale (moyenne de 22,7 % pour douze mois). Notons que les données 2013 montraient déjà un déficit d'efficacité éolienne de la Bretagne par rapport à la France dans son ensemble. Du point de vue éolien, sur l'année 2014, les trois autres régions étagées du Sud au Nord, choisies pour comparaison, ont aussi des performances moyennes supérieures (Languedoc-Roussillon 28,8 %, Centre 23,4 %, Nord Pas-de-Calais 24,6 %) qui contribuent à augmenter la moyenne française.

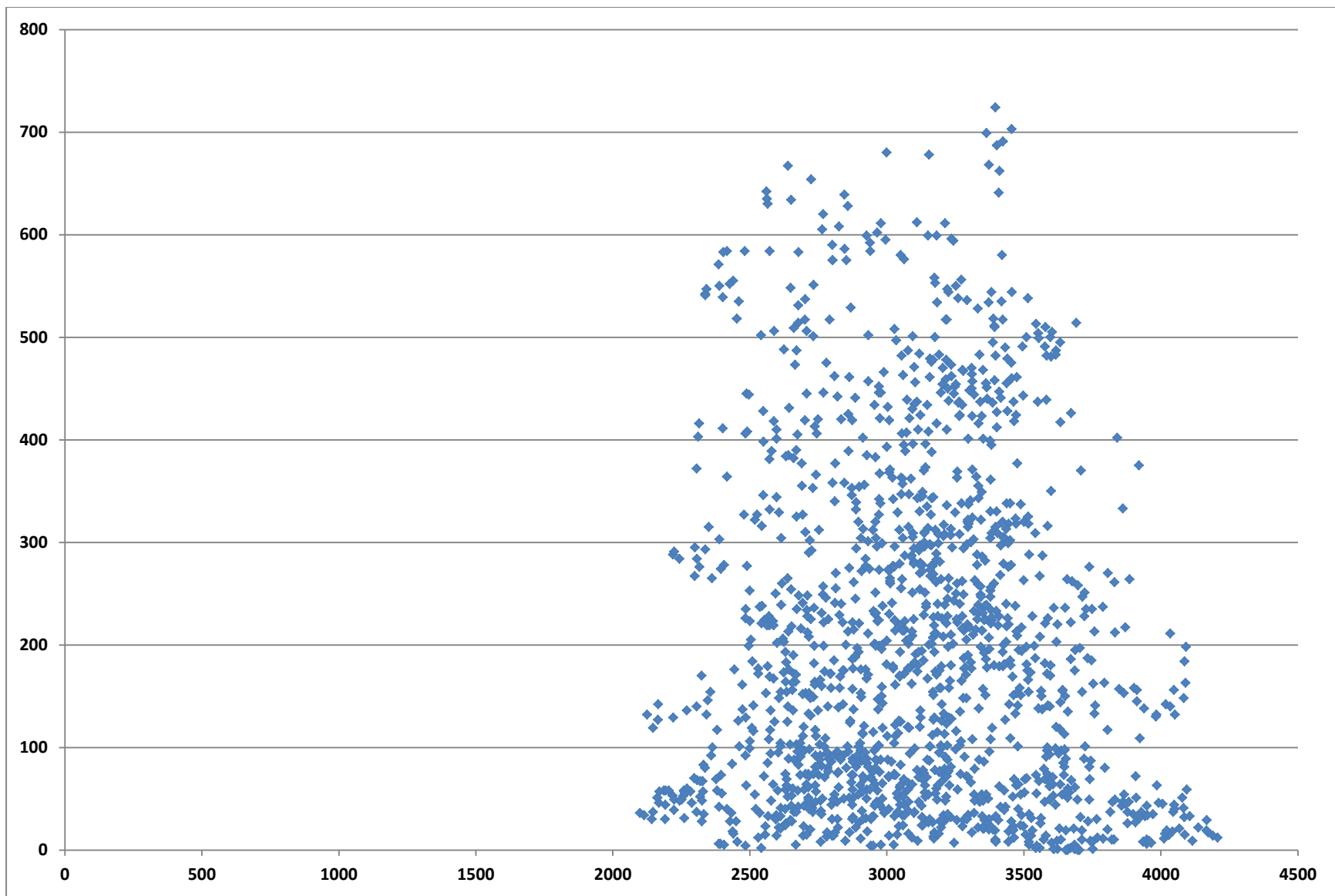


Fig.10 Bretagne Décembre 2014. Diagramme de corrélation entre la puissance éolienne livrée (axe vertical unité MW) et la consommation au même instant (axe horizontal MW). On n'observe aucune corrélation, comme on pouvait s'y attendre pour une énergie fatale.

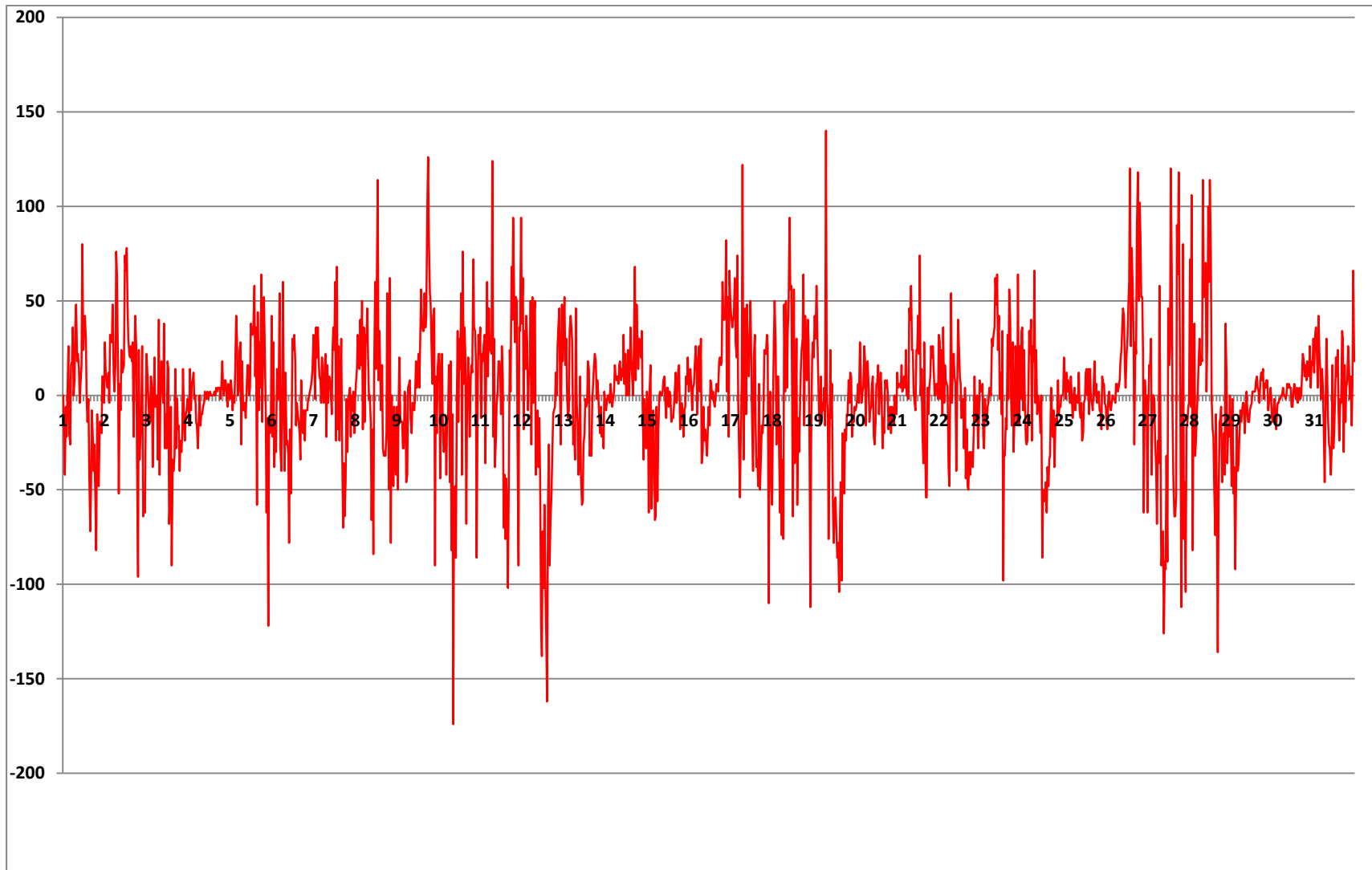


Fig.11 Gradient de puissance éolienne (MW/h) Bretagne – Décembre 2014. En ce mois venté, où la puissance éolienne livrée a plusieurs fois dépassé 500 MW, le réseau (en fait l'importation de puissance) a dû néanmoins gérer des gradients de puissance dépassant 100 MW/h et parfois 150 MW/h aussi bien en positif qu'en négatif.

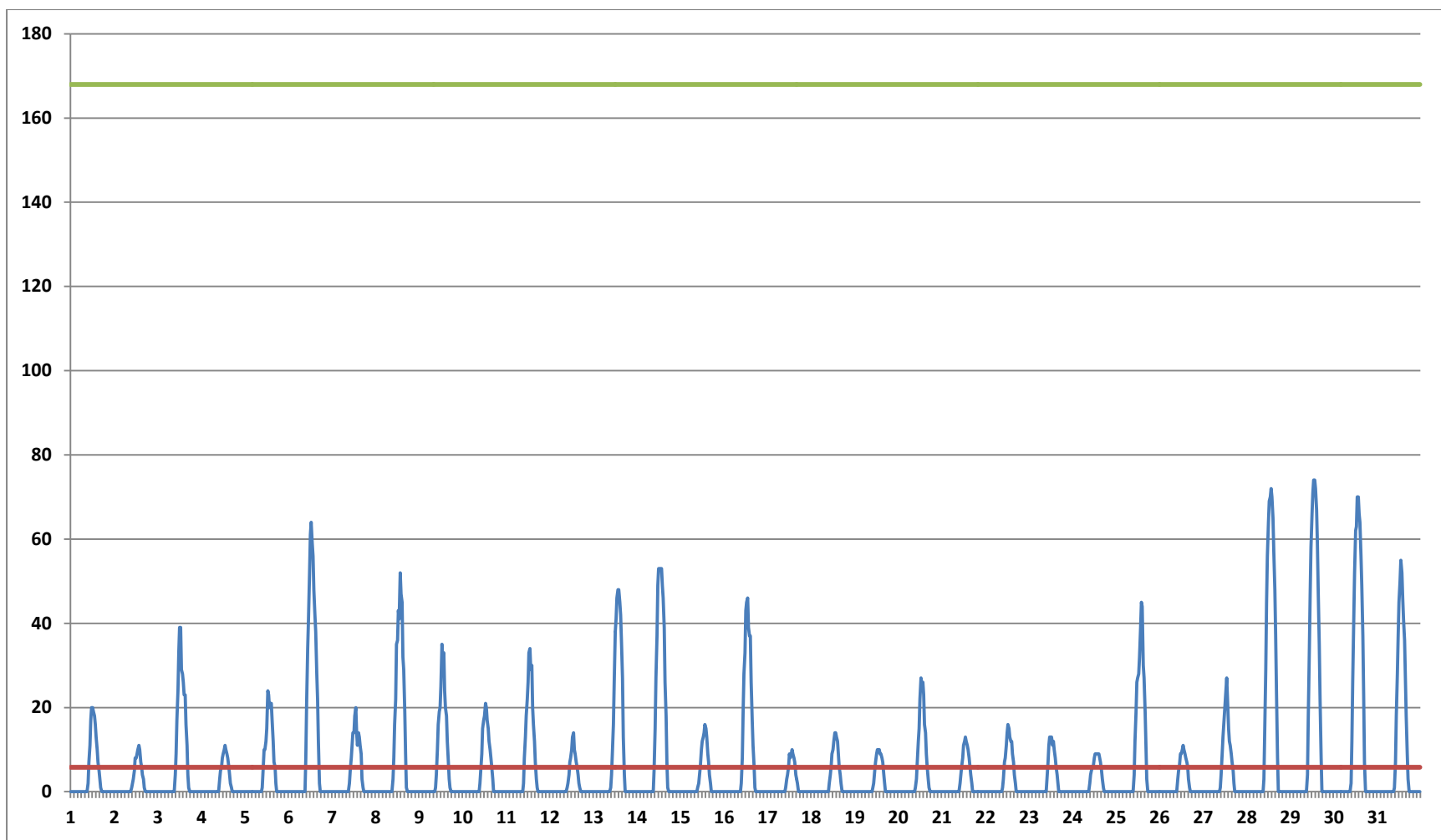


Fig.12 Production photovoltaïque, Puissance (MW) Bretagne – Décembre 2014. En nous basant sur les données des 30/06/2013 et 31/09/2014 des deux derniers « Tableaux de bord éolien et photovoltaïque » du ministère nous avons estimé la puissance solaire régionale installée à 168 MW (année 2013, 148,5 MW). La puissance moyenne livrée au réseau sur le mois a été de 5,8 MW (année 2013, 6,8 MW) soit une efficacité moyenne de 3,5 % (année 2013, 4,6 %). Le maximum de production a été de 74 MW (année 2013, 68 MW) pour une efficacité de 44,05 % (année 2013, 45,8 %) le 29 du mois à 13h00 (un lundi). Les hauteurs des maxima, qui parfois ont varié d'un facteur quatre d'un jour à l'autre reflètent la faible nébulosité surimposée à l'évolution astronomique de la hauteur solaire à son zénith. Cette dernière affecte aussi la largeur des pics de production à leur base (maximale au solstice d'été, minimale à celui d'hiver).

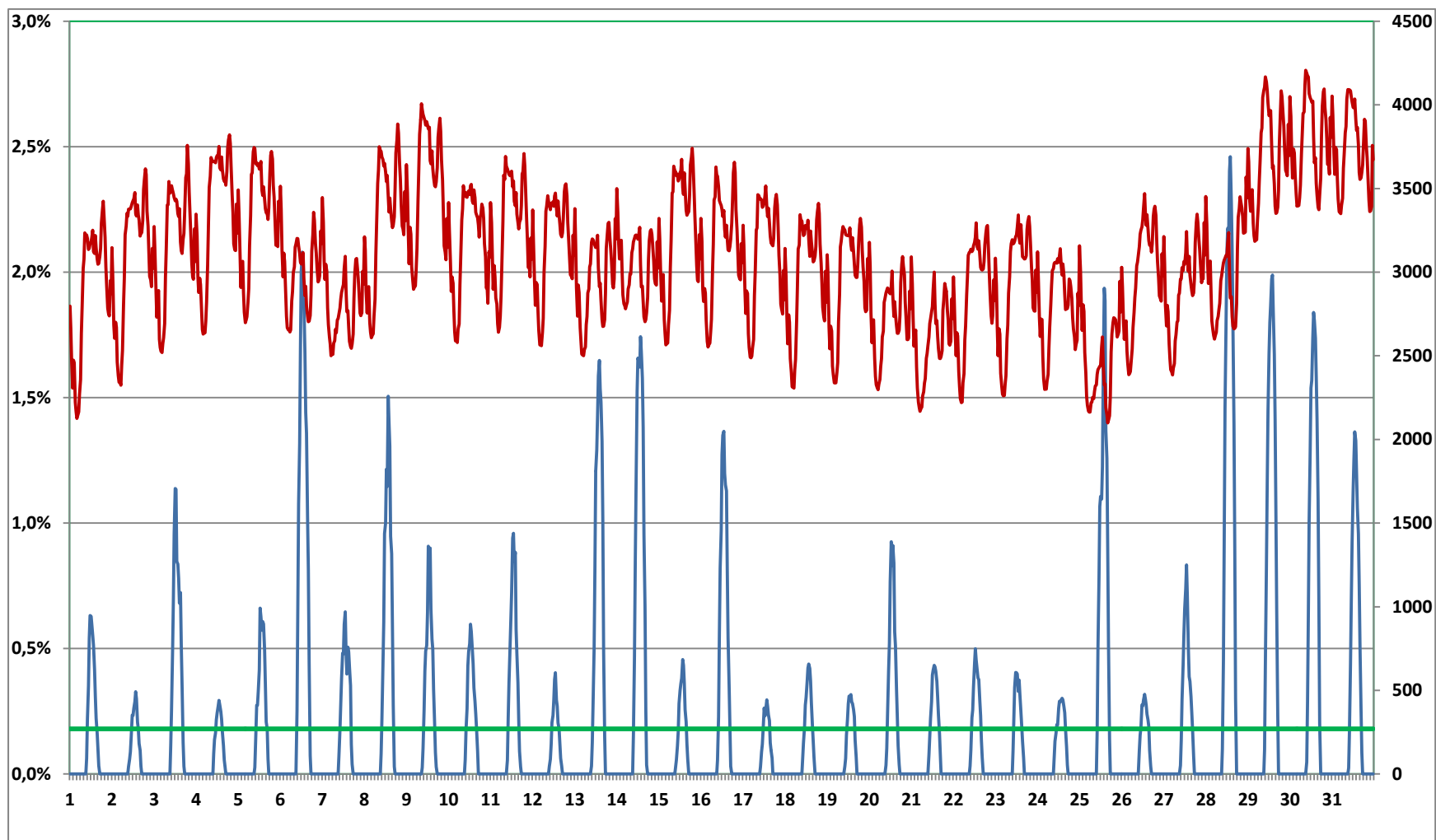


Fig.13 Production photovoltaïque, Taux de couverture (%) Bretagne – Décembre 2014. La courbe rouge (échelle de droite en MW) montre l'évolution de la consommation. En moyenne, le taux de couverture (rapport de la puissance livrée à la puissance consommée au même instant) du photovoltaïque est de 0,18 % (année 2013, 0,21 %). Ce résultat est obtenu pour un parc dont la puissance a crû d'une année sur l'autre de plus de 10 % alors que la consommation électrique bretonne était un peu inférieure à celle de l'an passé. Le taux de couverture atteint son maximum de 2,5 % (année 2013, 2,4 %) le 28 du mois à 14h (un dimanche) quand le soleil est encore haut et que la consommation est basse. De façon générale, les meilleurs taux de couverture sont atteints les weekends à des moments où une bonne production photovoltaïque se combine à un faible besoin en électricité. Les pics du taux de couverture reflètent donc autant la production solaire que la faible consommation.

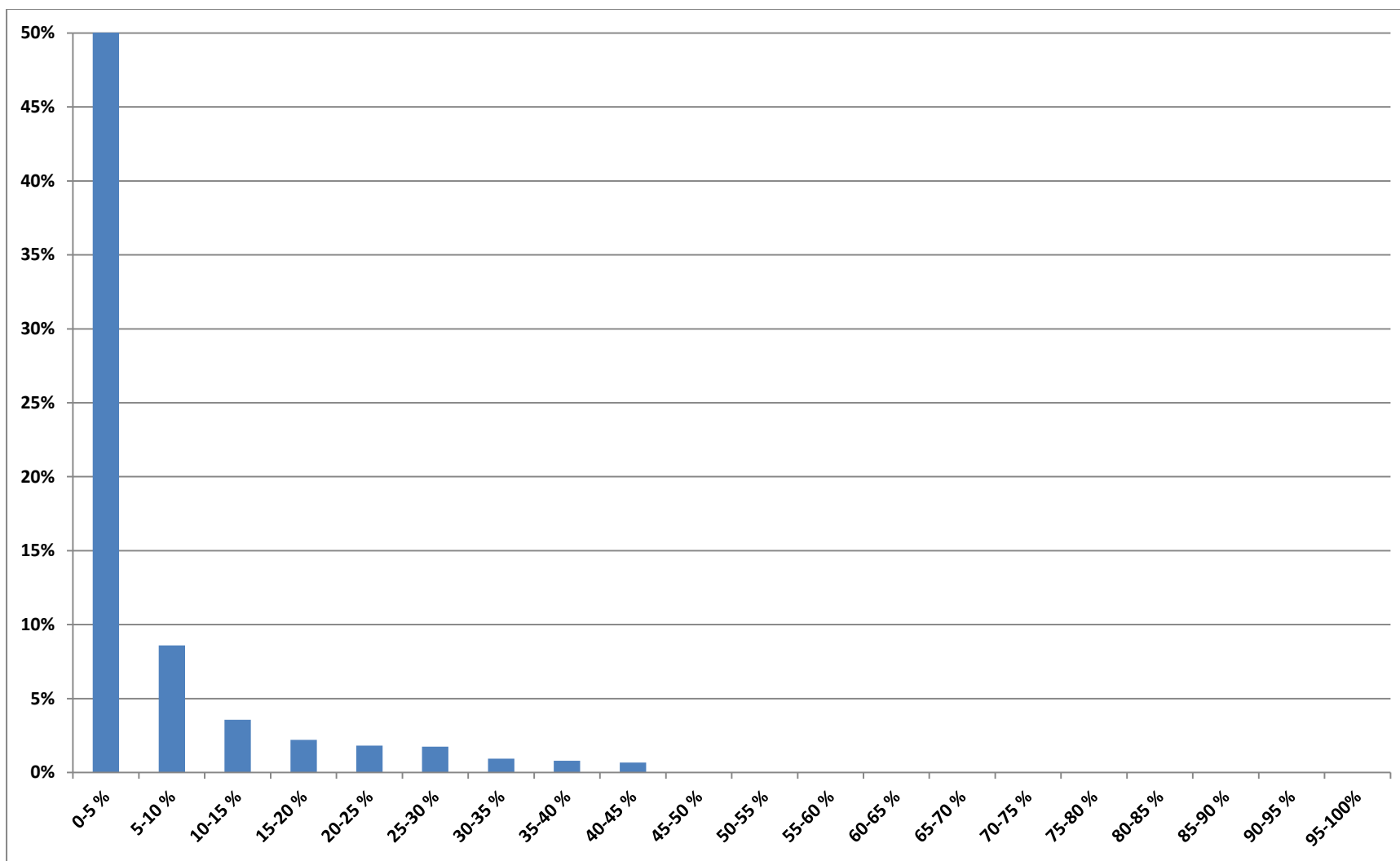


Fig.14 Bretagne Décembre 2014. Pourcentage du temps en fonction de la puissance solaire livrée (abscisses : intervalles de puissance mesurés en pourcentage de la puissance installée : 168 MW). Cette distribution présente la forme « conventionnelle » pour la production solaire d'une zone géographique de petite dimension au regard des zones météo (pas ou peu de foisonnement). L'échelle verticale a été tronquée à 50%. La première barre s'élève en fait à 79,6 %. L'efficacité moyenne est de 3,5 % (année 2013, 4,6 %) avec une production qui le 29 du mois à 13h a atteint son maximum mensuel d'efficacité 44,1 % (année 2013, 45,8 %). La puissance livrée n'a jamais dépassé 50 % de la puissance moyenne installée (année 2013, 0 % du temps). Elle a été inférieure à 15 % de la puissance installée pendant 91,8 % du temps (année 2013, 88 %).

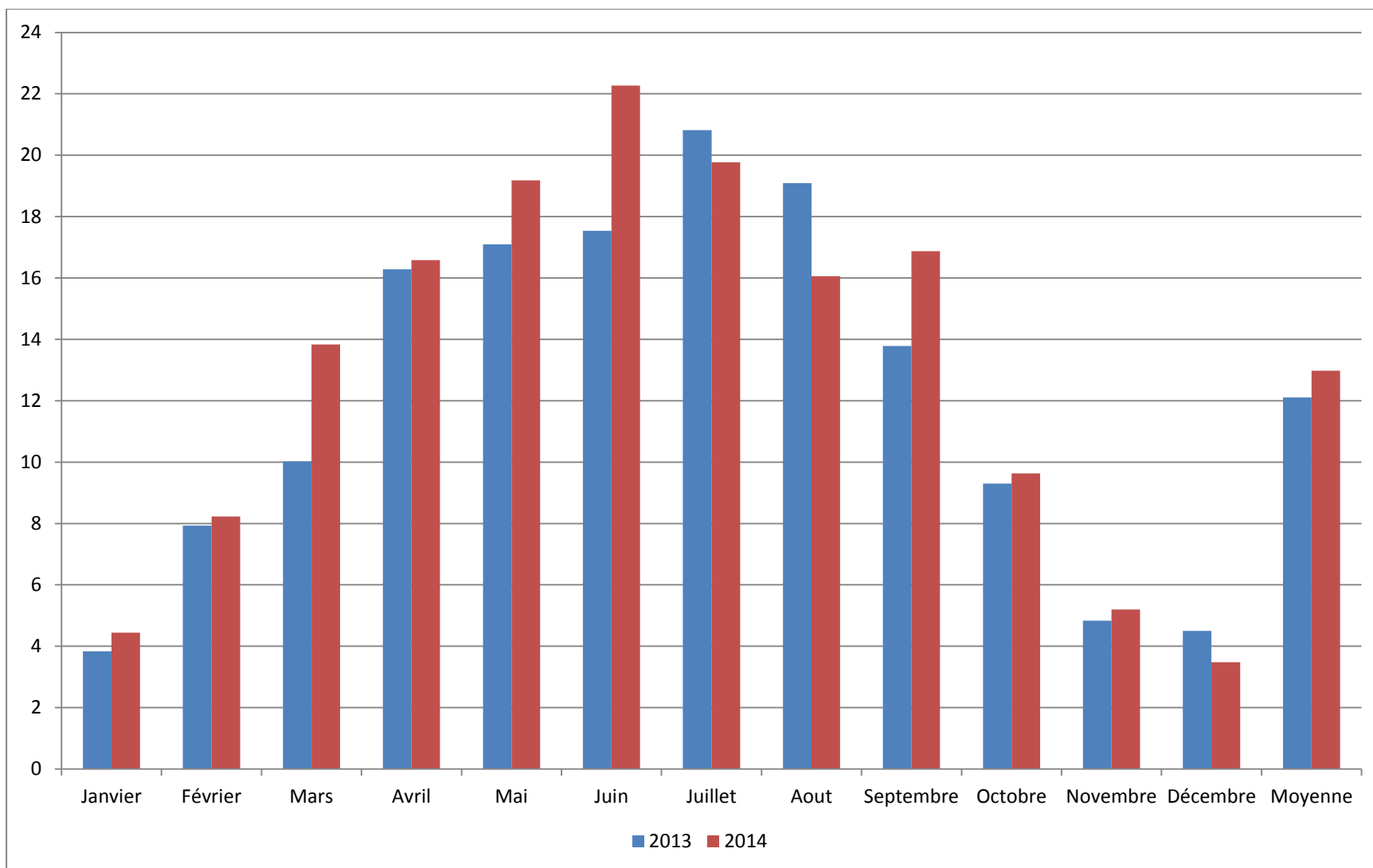


Fig.15 Bretagne Décembre 2014. Comparaison des efficacités solaires moyennes mensuelles des années 2013 et 2014. Pour le calcul de ces efficacités moyennes, on utilise des puissances installées extraites des « Tableaux de bord éolien et photovoltaïque » publiés chaque trimestre par le ministère (dernière parution 30/09/2014). Les valeurs mensuelles sont obtenues par interpolation pour la période du 31/12/2012 au 30/9/2014, et par extrapolation linéaire pour les mois d'Octobre à Décembre 2014. Les deux dernières barres montrent que l'efficacité solaire photovoltaïque moyenne de l'année 2014 (13 %) est supérieure à celle de l'année 2013 (12,1 %).

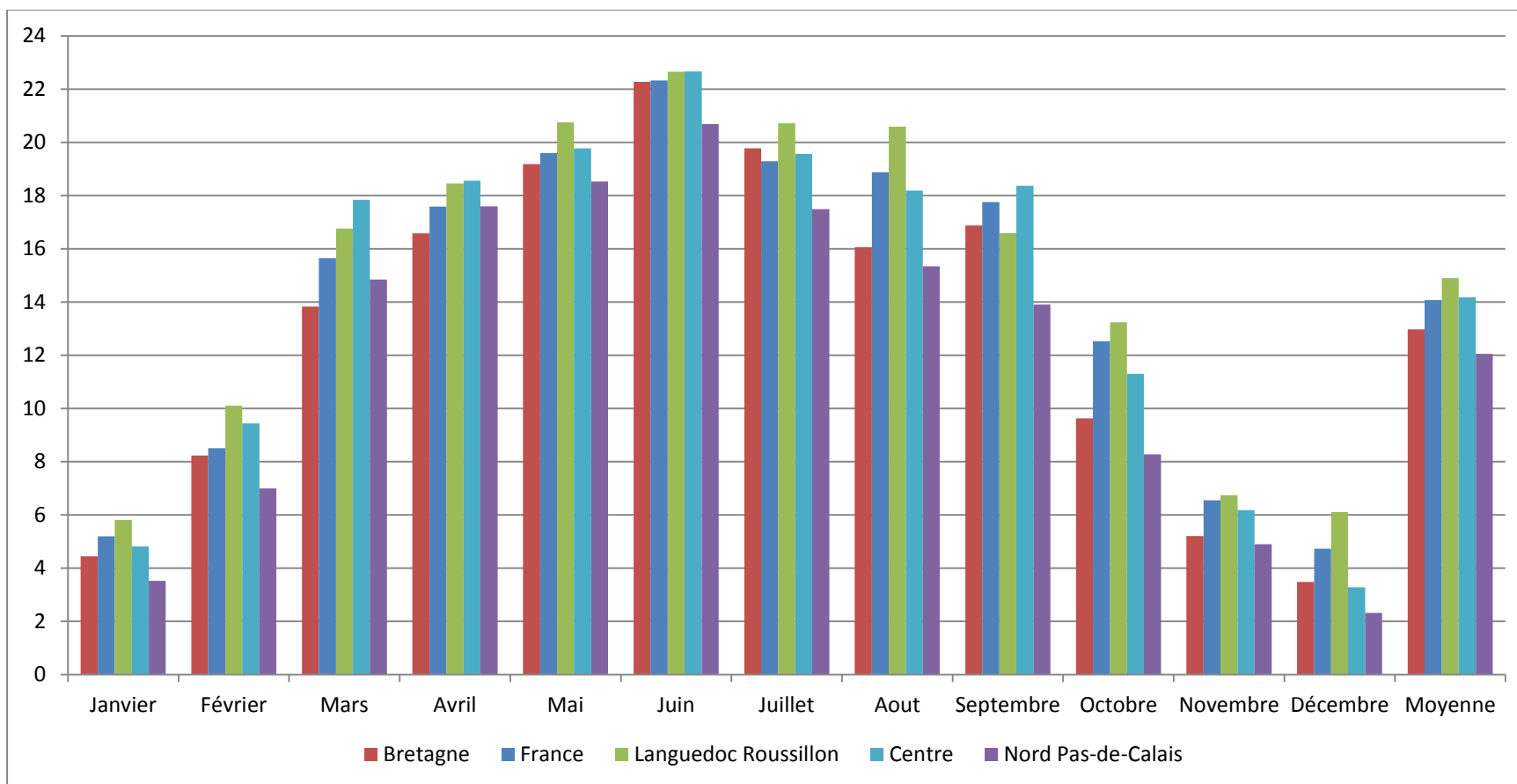


Fig.16 Bretagne Décembre 2014. Comparaison des efficacités solaires moyennes mensuelles de la Bretagne, de la France continentale et de trois régions françaises pour les douze premiers mois 2014. Pour le calcul de ces efficacités moyennes, on utilise des puissances installées extraites des « Tableaux de bord éolien et photovoltaïque » publiés chaque trimestre par le ministère (dernière parution 30/09/2014). Les valeurs mensuelles sont obtenues par interpolation pour la période du 31/12/2013 au 30/9/2014, et par extrapolation linéaire pour les mois d'Octobre à Décembre 2014. Assez naturellement, compte tenu de sa latitude intermédiaire, pour chacun des douze premiers mois de 2014, la Bretagne a été un peu moins efficace à produire de l'énergie solaire que la France dans son ensemble. Comme le montrent les barres de droite, un panneau photovoltaïque implanté en Bretagne est un peu moins productif (moyenne annuelle 13 %) que l'ensemble du parc de la France continentale (moyenne annuelle 14,1 %). Du point de vue solaire, sur l'année 2014, les performances des régions reflètent l'effet de la latitude : augmentation globale de l'ensoleillement au sud, légèrement compensée en été par l'accroissement de la longueur des jours lorsque la latitude croît. Sur l'année les performances moyennes des trois autres régions choisies pour la comparaison sont : Languedoc-Roussillon 14,9 %, Centre 14,2 %, Nord Pas-de-Calais 12,1 %.

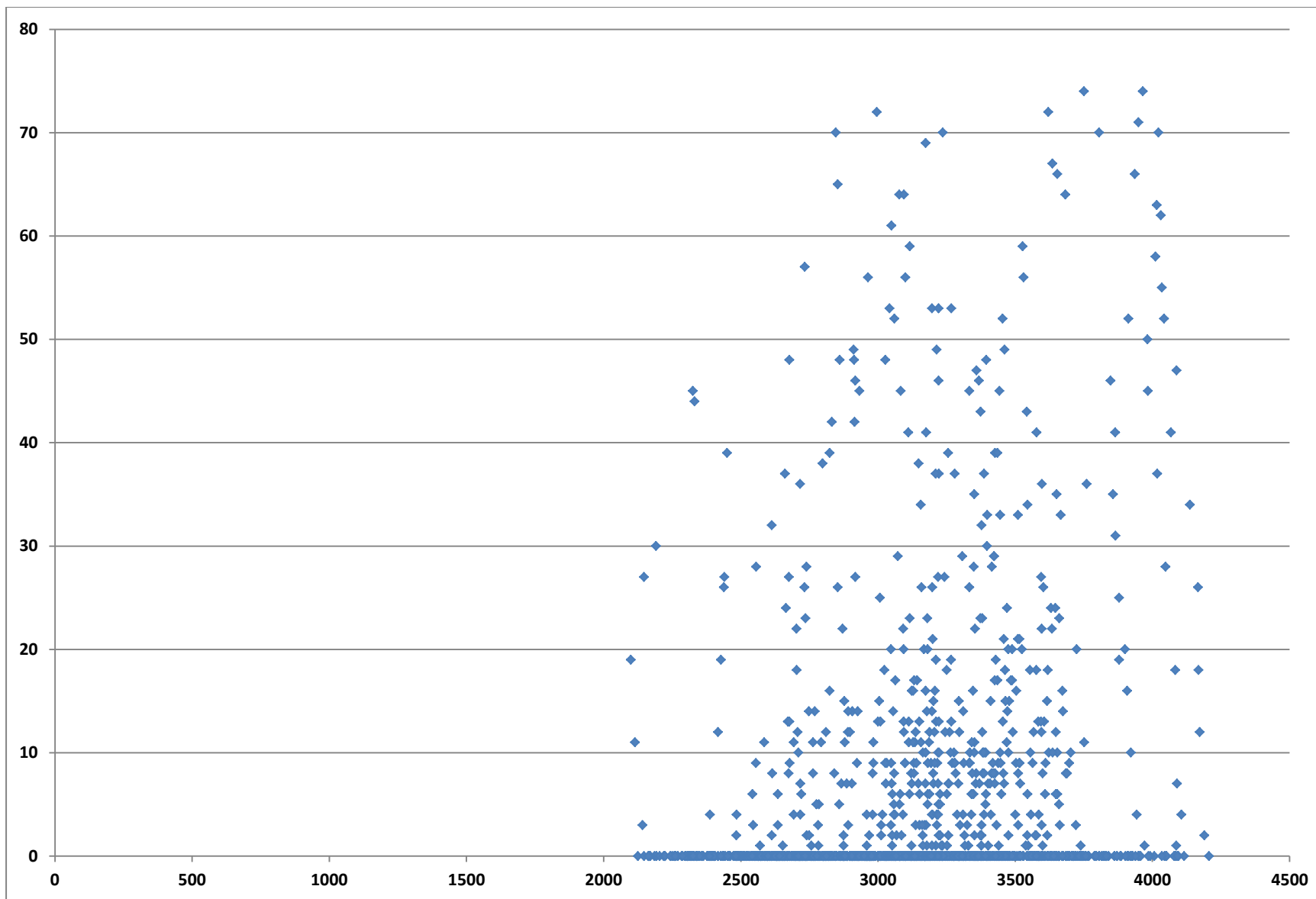


Fig.17 Bretagne Décembre 2014. Diagramme de corrélation entre la puissance photovoltaïque livrée (axe vertical unité MW) et la consommation au même instant (axe horizontal MW). On n’observe aucune corrélation comme on pouvait s’y attendre pour une énergie fatale.

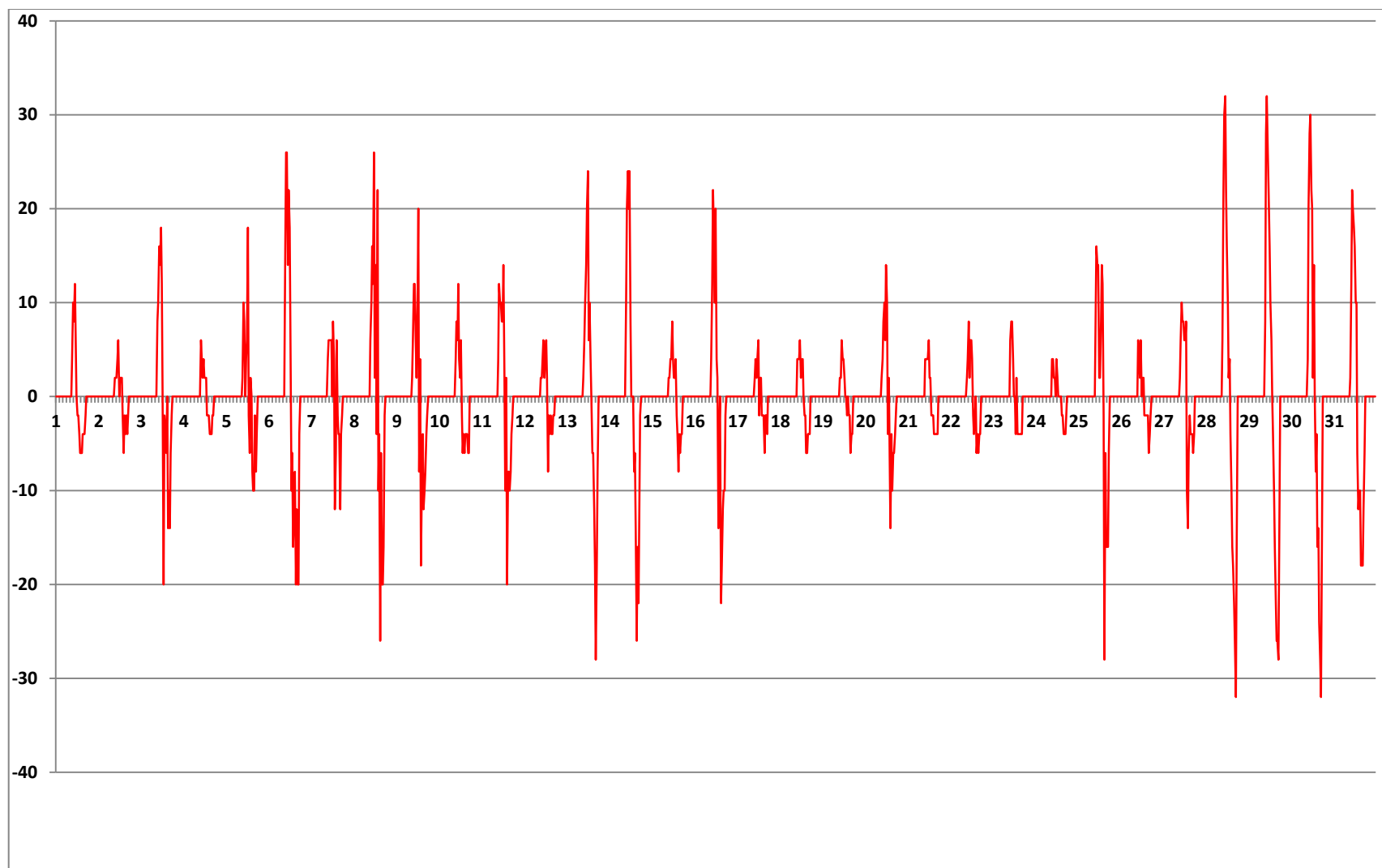


Fig.18 Gradient de puissance solaire (MW/h) Bretagne – Décembre 2014 Comme il se doit, les gradients sont en moyenne directement liés au pic de production solaire. Ils sont positifs le matin et négatifs l'après-midi. Leur amplitude est aussi en relation avec la hauteur du pic. Plus il y a de soleil, plus le parc photovoltaïque exerce de contrainte sur le réseau. Ainsi pour des pics atteignant 70 MW en milieu de journée les gradients peuvent atteindre +/- 30MW/h. Surimposé à cette tendance générale, on observe aussi des irrégularités à l'échelle de la demi-heure qui peuvent être attribuées à l'effet « un nuage passe ».

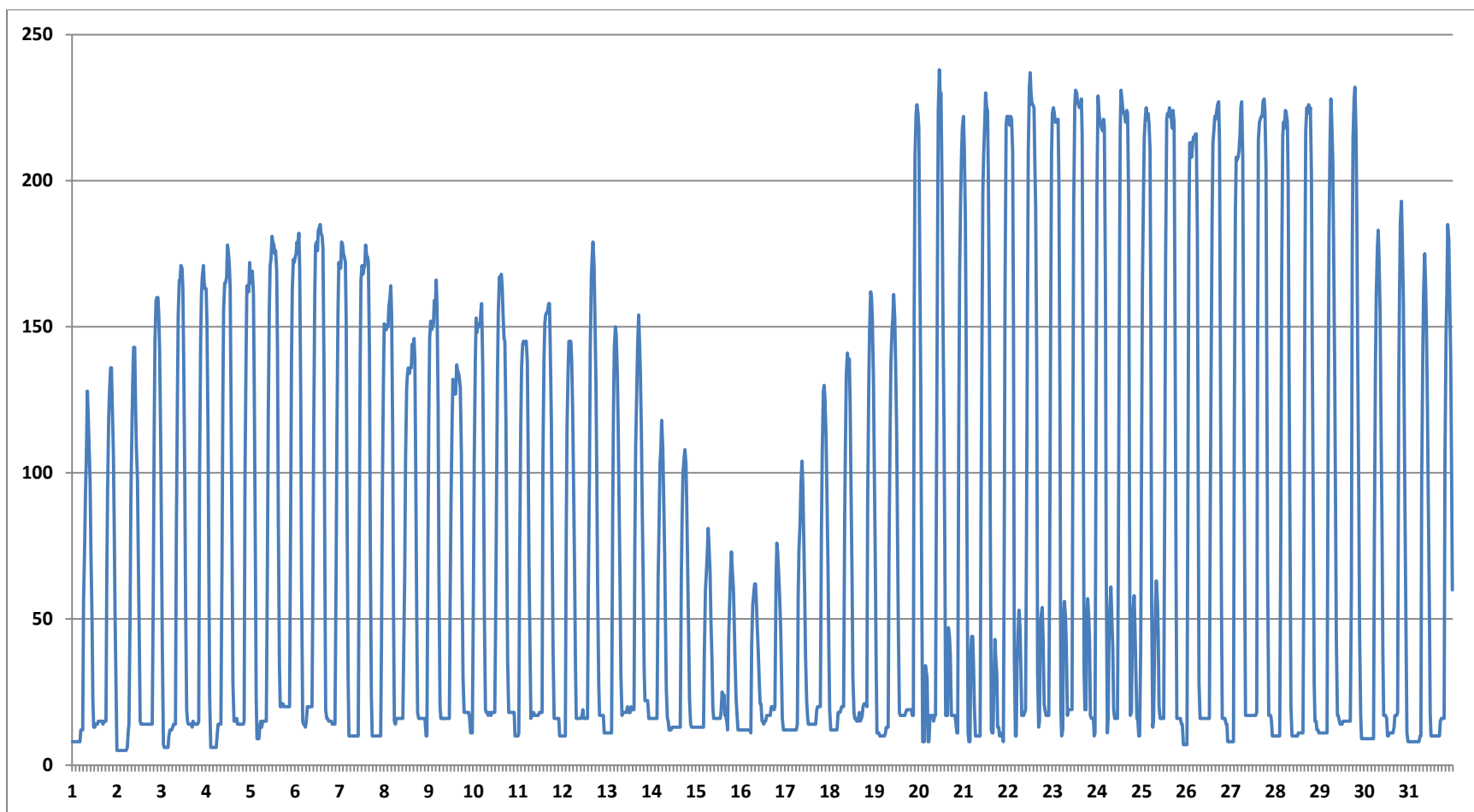


Fig.19 Production hydraulique, Puissance (MW) Bretagne – Décembre 2014. L'hydraulique breton dominé par le barrage de la Rance (puissance installée 238 MW) se distingue du reste de l'hydraulique français (de type « fil de l'eau » ou « éclusées »). C'est non seulement une énergie fatale (comme l'hydraulique de fil de l'eau) mais aussi une production au rythme alternatif. Elle ne participe que faiblement au réglage du réseau par le biais d'une fonction de pompage. L'énergie totale livrée au réseau sur le mois a été de 54,1 GWh (année 2013, 45,8 GWh), alors que le pompage (une consommation de courant restituée pour partie ultérieurement et comptabilisée dans le total « hydraulique ») n'a concerné que 4,6 GWh. Difficilement visible sur cette figure, on peut vérifier un décalage horaire progressif des pics reflétant celui des marées (idem pour les pics de pompage non illustrés dans ce document). « Sous » les oscillations de production du barrage de la Rance, on observe un fond de production hydraulique de l'ordre de 10-15 MW. Il est associé à une puissance hydraulique (hors Rance) égale à 38 MW (données ERdF) qui recommence à produire en ce milieu d'automne. Pour ce mois, le facteur de charge global de l'hydraulique breton est donc d'environ 26 %.

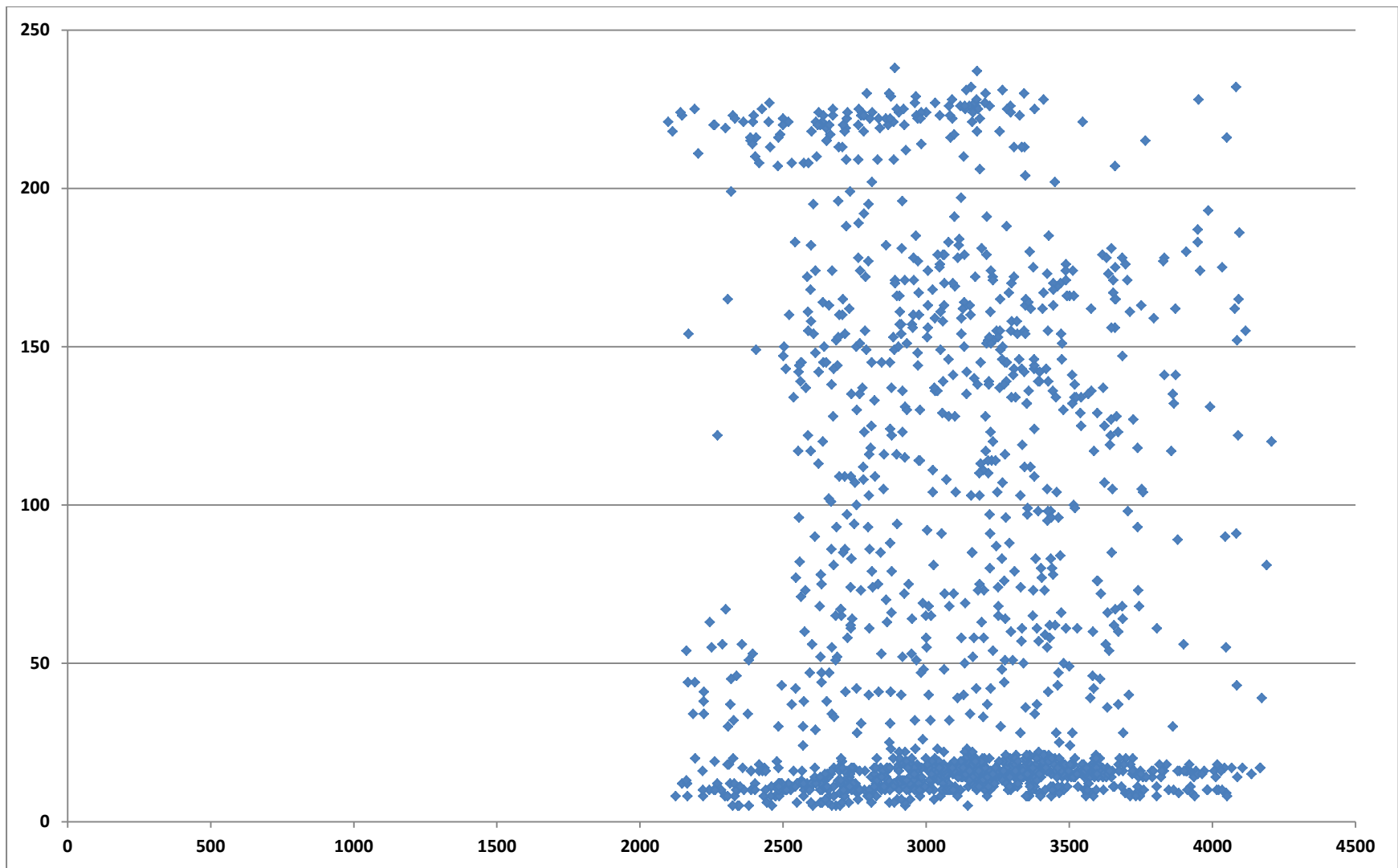


Fig.20 Bretagne Décembre 2014. Diagramme de corrélation entre la puissance hydraulique livrée (axe vertical unité MW) et la consommation au même instant (axe horizontal MW). Compte tenu de ce que sur une période de l'ordre du mois, il ne peut pas y avoir de corrélation entre les marées et les besoins électriques de la société on n'observe aucune corrélation. L'hydraulique des marées est bien une énergie fatale. L'hydraulique de barrage régional qui correspond à l'ensemble dense de points bleus en bas de la figure fonctionne lui aussi selon sa logique propre sans participer à l'équilibrage du réseau.

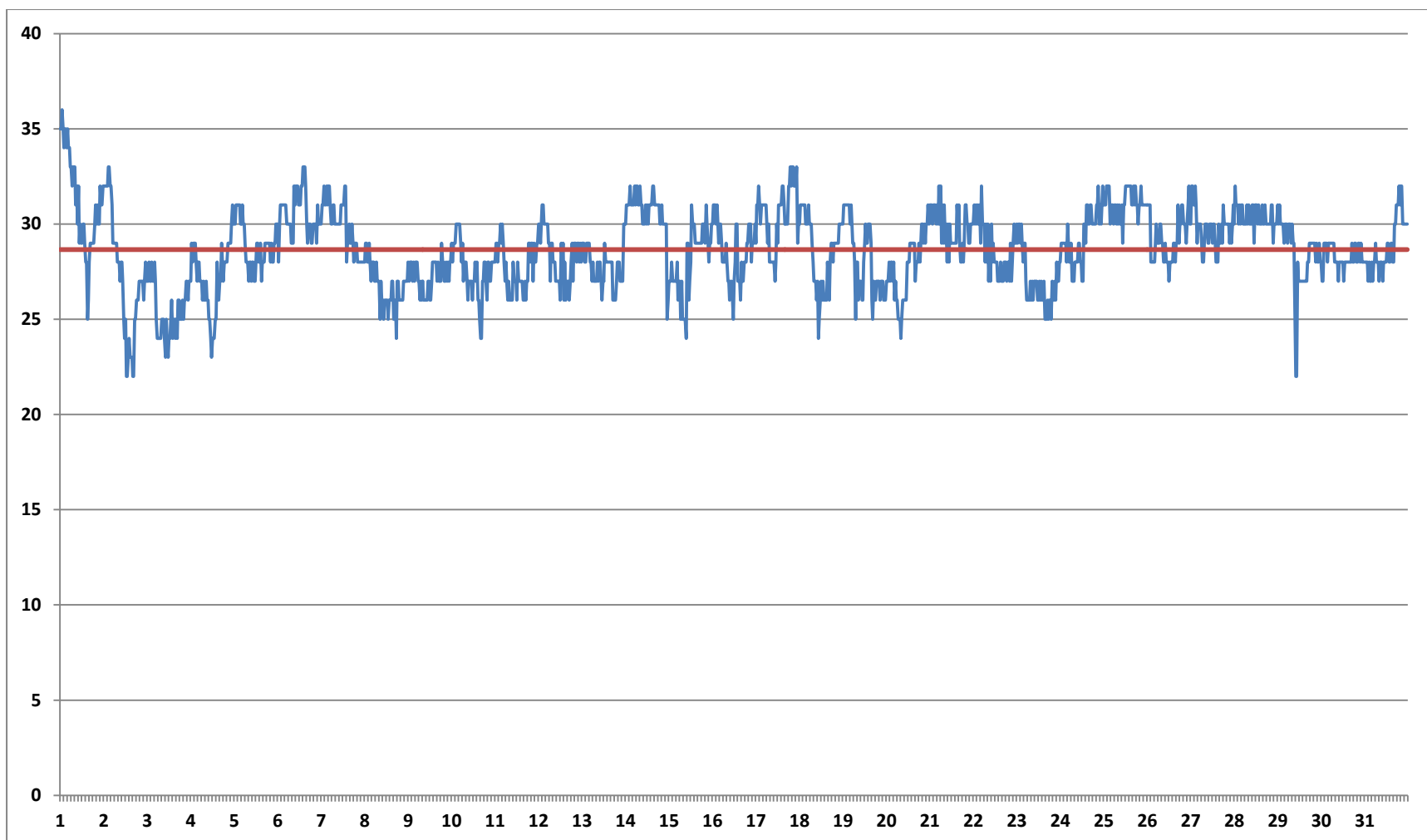


Fig.21 Production ENR thermique, Puissance (MW) Bretagne – Décembre 2014. Cette production ayant pour origine la combustion de la biomasse et de déchets (puissance installée 51,2 MW, données ERdF) seule ou en cogénération fonctionne comme une énergie de base quasi-constante autour de sa valeur moyenne 28,7 MW (année 2013 26 MW). Sur ce mois, le taux de couverture moyen correspondant est de 0,95 % (année 2013, 0,9 %) (variant de 0,5 % à 1,7 %). Une contribution aussi faible ne peut bien sûr pas être utilisée pour la stabilisation du réseau.

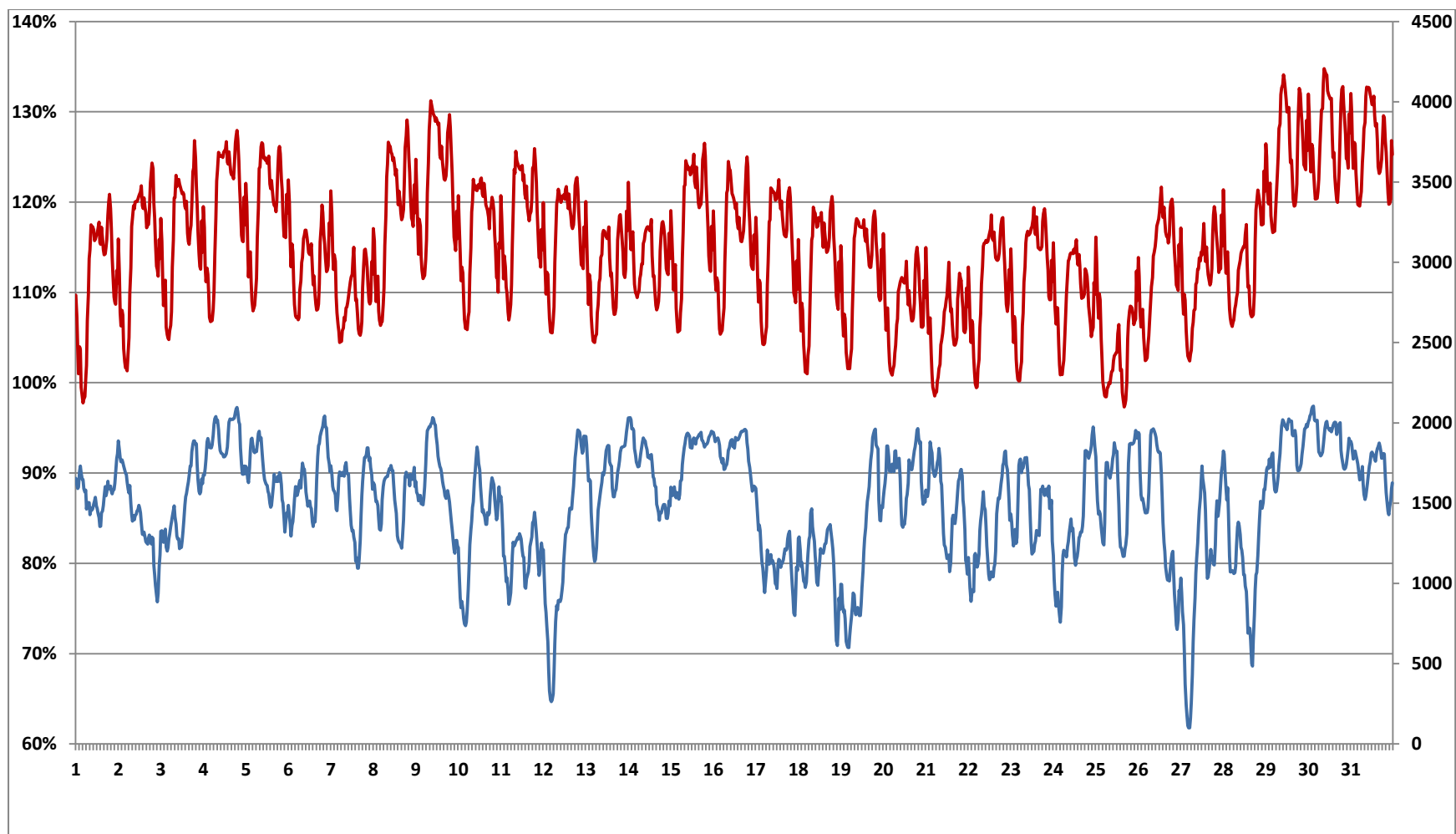


Fig.22 Importation électrique, Taux de couverture (%) Bretagne – Décembre 2014. La courbe rouge (échelle de droite en MW) montre l'évolution de la consommation. En moyenne sur le mois, le taux de couverture (rapport de cette puissance importée à la puissance consommée par la région au même instant) est de 86,8 % (année 2013, 87,2 %). En dépit d'une légère baisse de la consommation et d'une croissance de la puissance installée du parc renouvelable de l'ordre de 8 %, la région reste aussi dépendante de l'extérieur qu'en 2013. A son maximum, le taux de couverture atteint 97,4 % (année 2013, 98,4 %) le 30 du mois à 3h00 (contribution au pompage dans le barrage de la Rance pour fabriquer ultérieurement de l'énergie « verte »). Au minimum, le taux de couverture d'importation est de 61,8 % (année 2013, 64,8 %). Il est atteint le 27 du mois à 5h00 en ce matin de vendredi à samedi quand le taux de couverture éolien avoisine les 25 %.

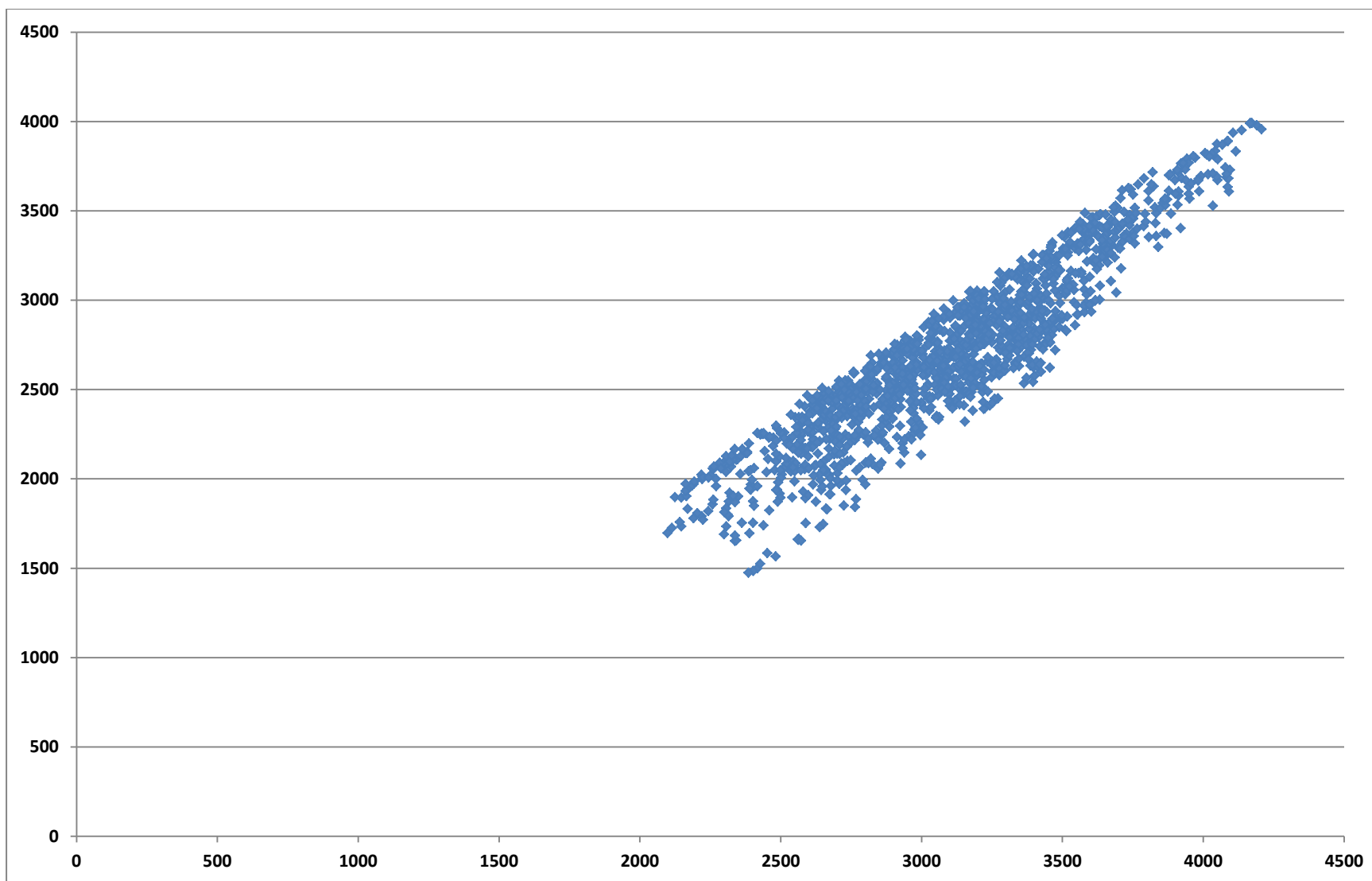


Fig.23 Bretagne Décembre 2014. Diagramme de corrélation entre la puissance importée (axe vertical unité MW) et la consommation au même instant (axe horizontal MW). Comme la dépendance de la région des productions importées des régions limitrophes ou lointaines avoisine les 90 %, la corrélation est quasi-parfaite, ainsi qu'on pouvait s'y attendre.

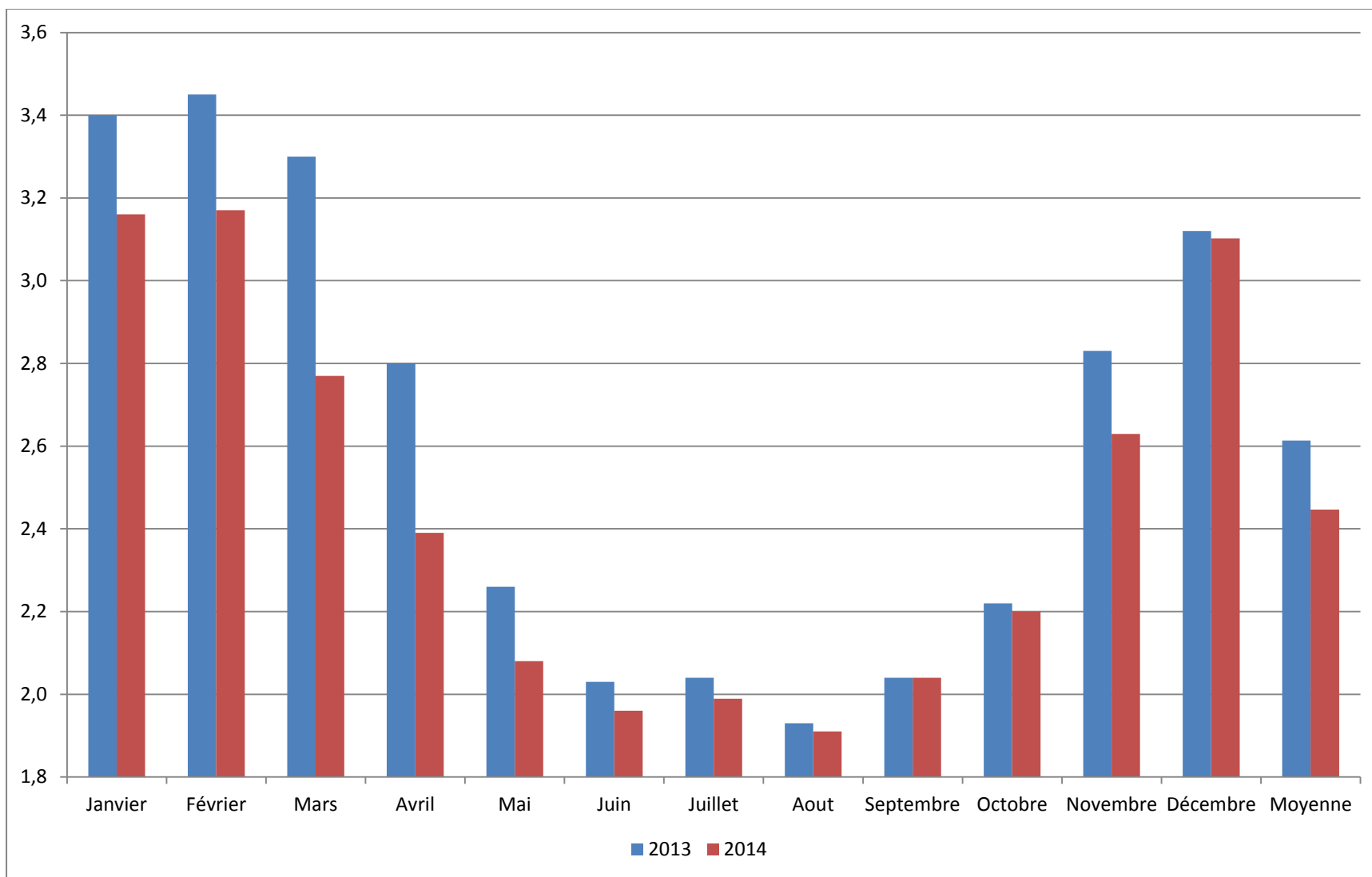


Fig.24 Bretagne Décembre 2014. Comparaison des puissances (GW) moyennes mensuelles consommées des années pour les années 2013 et 2014. En cette année 2014 qui, selon les statistiques météorologiques, a été exceptionnellement chaude, chaque mois, la consommation bretonne 2014 a été inférieure à celle de 2013 (égale en Septembre seulement). Les deux barres à droite montrent que sur l'année 2013, la région a consommé une moyenne de puissance de 2,61 GW. La valeur correspondante pour 2014 est de 160 MW inférieure (2,45 GW).