

Graphes Météo Masurelle

décembre 2015 - Janvier 2019

Ce document présente les visualisations graphiques des données locales d'une station météo, accessibles sur <http://ertia2.free.fr>.

Les mesures sont issues d'une station Netatmo en bordure d'Aix en Provence (altitude 190m, POS à 2500m2), avec un thermomètre non calibré, un pluviomètre et un anémomètre à ultra-son avec un espace dégagé limité dans certaines directions. Les mesures sont donc relatives. On évitera de les utiliser en corrélations avec les mesures absolues données par exemple par la station de la météo-nationale située à 1900 mètres à vol d'oiseau et dont les mesures de base sont scandaleusement [inaccessibles](#) au simple citoyen.

Les mesures de pression, d'humidité et de CO2 ne sont pas prises en compte ici, par manque de moyens.

La station NetAtmo fournit des mesures à la demi-heure, soit 48 mesures par jour (elle fournit aussi des mesures toutes les 5 min. environ). Ces mesures sont plus complètes que les relevés tri-horaires habituelles (cadence héritée des relevés manuels des anciennes stations).

Certains pensent que la terre entre dans l'ère de «l'anthropocène», pour dire que la vie sur terre va dépendre principalement de l'homme, cause et victime du changement climatique.

Suivre le temps qu'il fait, statistiquement (évolutions diurnes, saisonnières et annuelles sur le long terme, dans les moyennes et dans les extrema) et dans le détail des événements climatiques exceptionnels (natures, soudainetés, durées et intensités), nécessite de produire des indicateurs "parlants", qui rendent compte d'un seul coup d'oeil d'éléments fondamentaux. Le présent document propose, différents indicateurs locaux construits à partir des données semi-horaires de température, de vent et de pluie, sous diverses formes graphiques.

Dans ce document, une distribution représente le nombre de fois où une variable (température, vent,...) est comprise entre deux bornes. Par exemple le nombre de fois où, pendant un mois, la température horaire est comprise entre -5° et 0°, entre 0° et 5°, entre 5° et 10°,... permet de construire un diagramme donnant la distribution des températures horaires sur un mois.

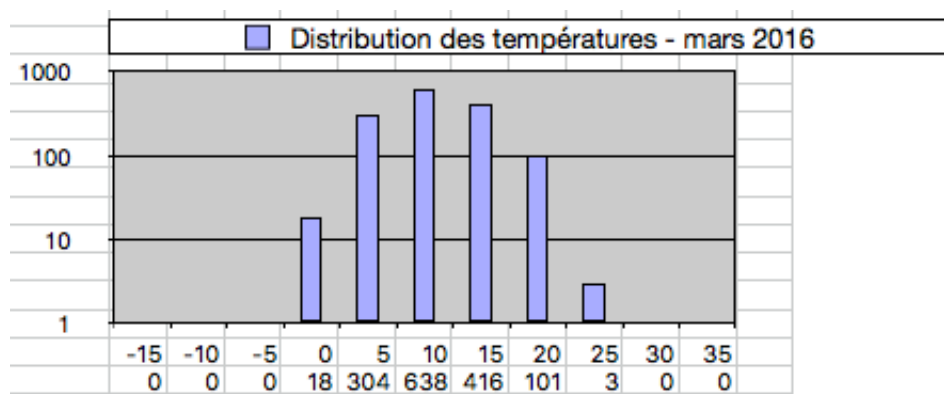
Dans ce document, un gradient est simplement la différence entre 2 mesures successives. Des gradients plus complexes pourraient être envisagés (droites de régression,...).

Généralement, les diagrammes des distributions simples ne font pas ressortir les mesures extrêmes, en faible nombre par rapport aux températures habituelles. Il apparaît souvent efficace de normer les distributions par soustraction des mesures normales saisonnières ou d'utiliser une échelle logarithmique.

Les diagrammes sont produits à l'aide d'un tableur, jugé (malgré ses limites conceptuelles) moins sujet à erreur de programmation que Matlab et autres bases de données... Que les scientifiques me pardonnent !

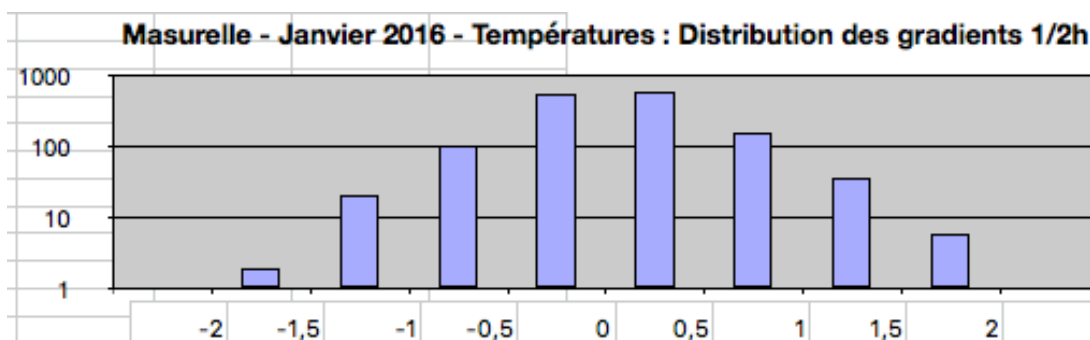
Températures

La signature thermique mensuelle est donnée par la distribution des températures semi-horaires (combien de fois la mesure est comprise entre deux bornes de température).



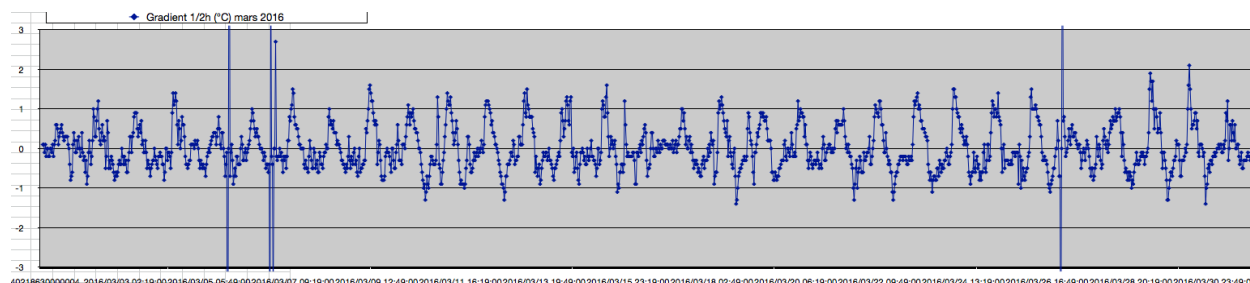
L'échelle est logarithmique pour accentuer les extrêmes. La superposition des graphes des mêmes mois sur plusieurs années devrait renseigner sur les évolutions du moyen terme.

Une autre signature est la distribution des gradients de température qui permet d'évaluer d'une année sur l'autre le nombre de perturbations caloriques brutales. Le gradient élémentaire est l'écart entre 2 mesures semi-horaires successives.



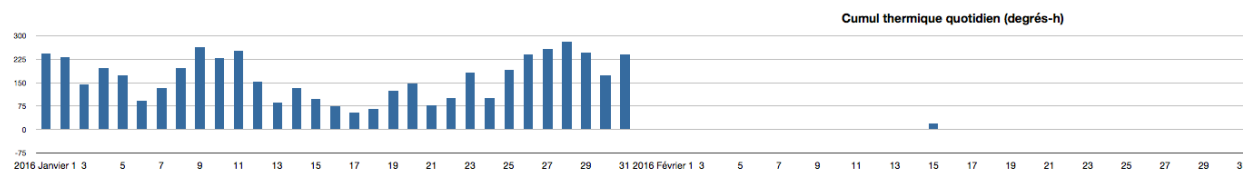
Ce graphe est cependant insuffisant pour caractériser des événements de grande ampleur, la statistique des vitesses à laquelle la température monte ou descend pourrait être un symptôme du changement climatique.

Voici un exemple des de la succession des gradients semi-horaires sur un mois:



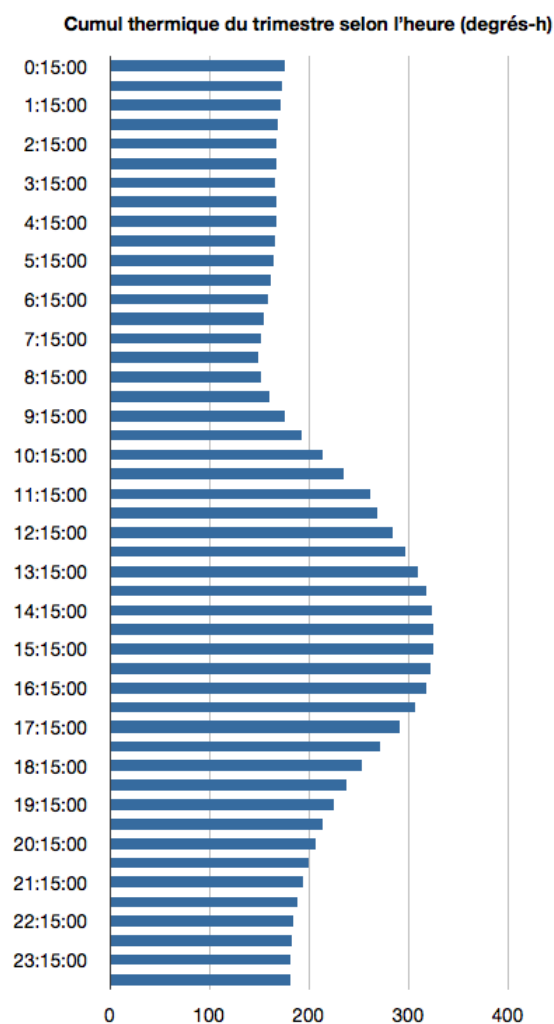
Cumul thermique

La température permet de construire le graphe des [cumuls thermiques](#) permettant des calculs thermiques, par exemple pour déterminer la quantité de chaleur nécessaire aux plantes pour commencer leur développement en fin d'hiver, ou pour suivre d'une année sur l'autre l'évolution des calories qui "passent" dans le jardin, ou pour relever les périodes de forte chaleur, corrélées avec le cumul venteux pour prévoir les sécheresses et, à l'inverse, pour relever les périodes de fort gel avec vent pour prévoir les mauvaises floraisons (ou les infestations d'insectes dont les larves n'auraient pas été détruites faute de gel suffisant)...



Cumul thermique selon l'heure de la journée

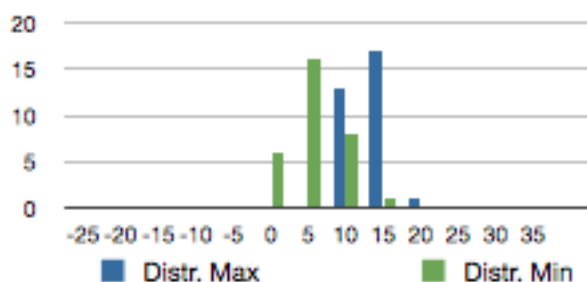
Il peut être intéressant de suivre par saison la répartition des cumuls thermiques selon l'heure de la journée.



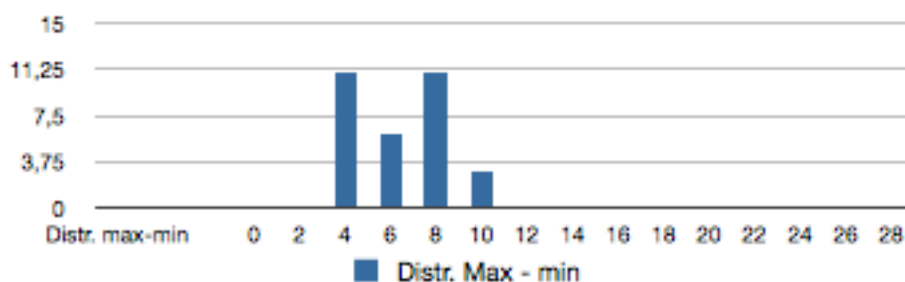
Extrema de température

Si les extrema de température sont intéressants à noter chaque saison, il faut aussi noter l'écart entre la température la plus basse et la température la plus haute d'une même journée. Pour être plus complet, on peut envisager d'établir :

- la distribution des maxima et minima semi-horaires du mois et de l'année permet de connaître le nombre d'heures de gel ($<0^{\circ}$) et de canicule ($>20^{\circ}$ la nuit et $>35^{\circ}$ le jour).



- la distribution des écarts maxima-minima semi-horaires de chaque mois et de l'année. Ce suivi permet de voir l'évolution des désordres météorologiques.

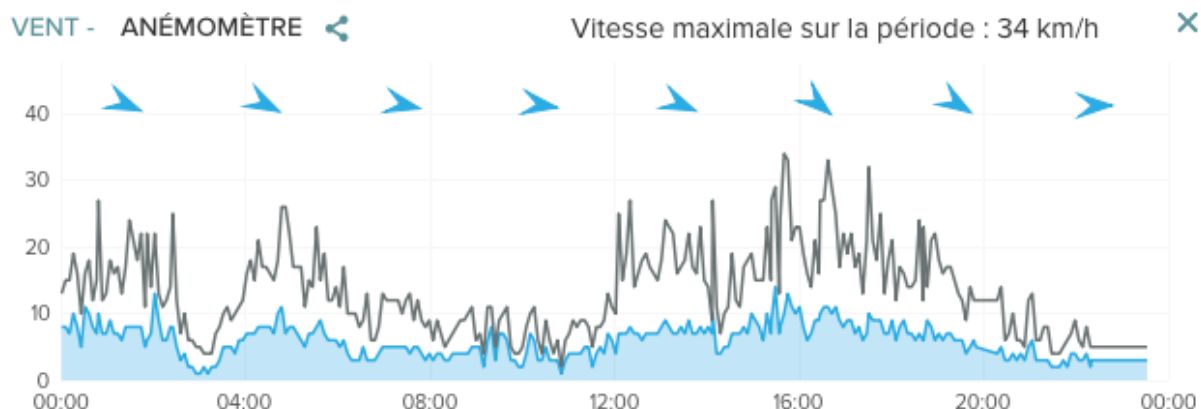


- la distribution des écarts par rapport aux normales saisonnières

Accessoirement, il est possible de déterminer l'écart entre la moyenne des températures bi-horaires d'une journée et la moyenne entre les températures maximale et minimale de la même journée : suffit-il des 2 extrema ou faut-il 48 mesures bi-horaires pour définir la température moyenne d'une journée ? (quitte à faire bondir le GIEC :-)

Vent

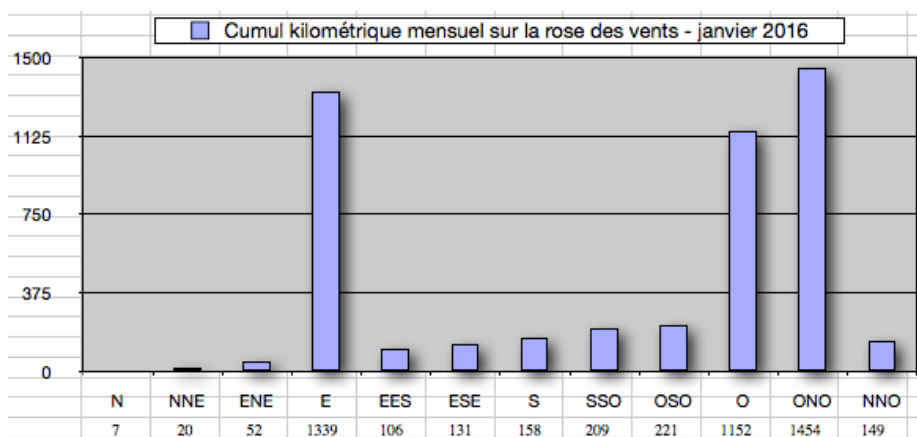
Les graphes relatifs à la force et à la direction du vent permettent de connaître la fréquence des fortes rafales, la distribution des vents selon leur direction et selon leurs force, par exemple pour déterminer les vents dominants ou d'où viennent les rafales les plus fortes, pour simuler la production d'une éolienne ou pour assurer un suivi annuel.



Ce diagramme, issu du tableau de bord NetAtmo de la station, montre une certaine corrélation entre la valeur des rafales et le vent moyen : plus le vent moyen est fort, plus les rafales sont fortes. Ceci permet d'imaginer plusieurs indicateurs définissant le rapport entre le vent moyen et les rafales. On peut s'attendre, suite à l'augmentation des désordres climatiques, à une augmentation de la force des rafales. Il convient d'observer d'une part le rapport entre le vent moyen et la rafale moyenne et d'autre part la distribution des écarts entre le vent moyen et la rafale de chaque demi-heure.

Cumul venteux (concept personnel de l'auteur)

Le cumul venteux, comme le cumul thermique, est un concept artificiel : si la station mesure un vent de 36km/h pendant une heure, on peut supposer que chaque molécule d'air aura parcouru virtuellement 36 km, donnant ainsi une idée du volume d'air déplacé pendant l'heure considérée. Le cumul venteux selon la direction des vents permet d'estimer les volumes d'air échangés dans toutes les directions. En y associant la température, l'humidité et la pression, on pourrait estimer les masses d'air et les transferts caloriques. D'une année sur l'autre, il est intéressant de comparer mois par mois (saison par saison) les transferts d'air et de calories locaux. Le cumul



venteux, qui est mathématiquement équivalent à une distance, représente virtuellement un volume d'air (selon la section choisie pour le flux)

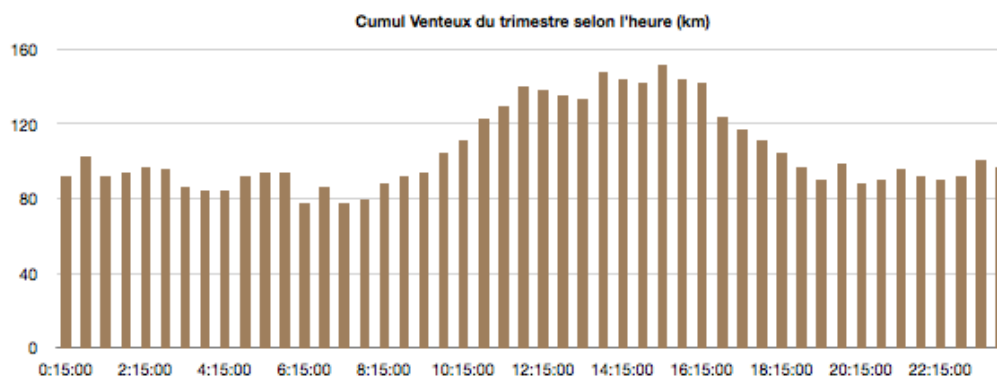
Le cumul venteux directionnel est obtenu à partir de la vitesse moyenne de chaque demi-heure sur un mois, mesurées en m/s et multipliées par 1,800 pour obtenir le nombre virtuel de kilomètres qu'une particule de vent aurait parcouru selon chacune des 12 directions de la rose des vents.

Chaque direction de la rose des vents (Nord, nord-nord-est, est-nord-est,...) est définie par un secteur de 15° de chaque coté.

Sur cet exemple, le mistral (en additionnant ouest et ouest-nord-ouest) a balayé environ 2700 km, tandis que le vent d'est ne balayait que 1340 km.

Vent selon l'heure de la journée

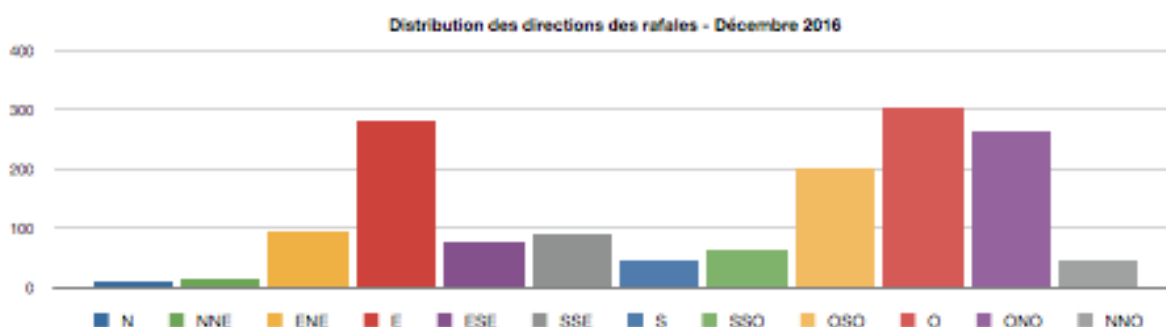
Il peut être intéressant de suivre l'évolution de l'intensité du vent statistiquement selon l'heure de la journée et selon la saison. Le cumul venteux de toutes les mêmes 1/2h permet d'afficher la répartition du vent dans la journée. Au fil des années, cet indicateur peut être utile.



Sur cet exemple, on voit que les vents sont plus forts entre 11h et 17h environ.

Direction des rafales de vent

La distribution des directions du vent est donnée à partir des directions des rafales de chaque demi-heure, sur les 12 directions de la rose des vents.

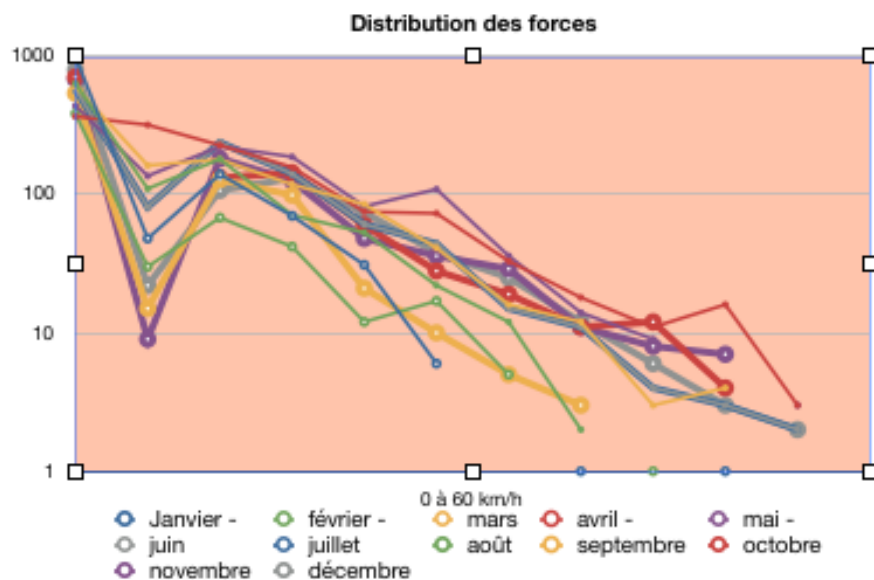


Sur cet exemple, on voit que le vent d'est est plus stable que le mistral

Profil des vents

Il est intéressant de connaître la proportion des vents calmes, forts et très forts, selon la saison.
La distribution des rafales selon leur force peut mettre en évidence l'étendue des tempêtes.

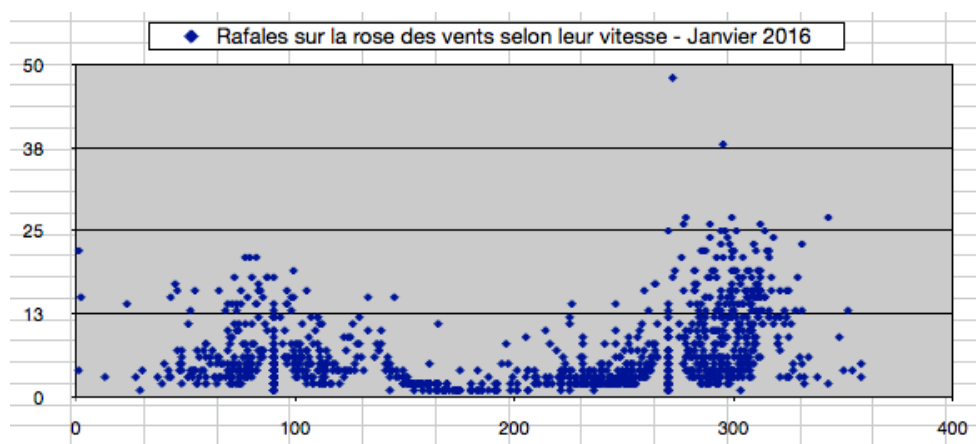
La distribution des rafales selon leur vitesse est exprimée par tranches de 10km/h, sur une échelle logarithmique



(L'histogramme est représenté avec des courbes. Les barres sont moins faciles à interpréter. NdA)

Sur cet exemple, le mois de janvier a été nettement plus venteux que le mois de décembre.

Direction des rafales selon leur intensité



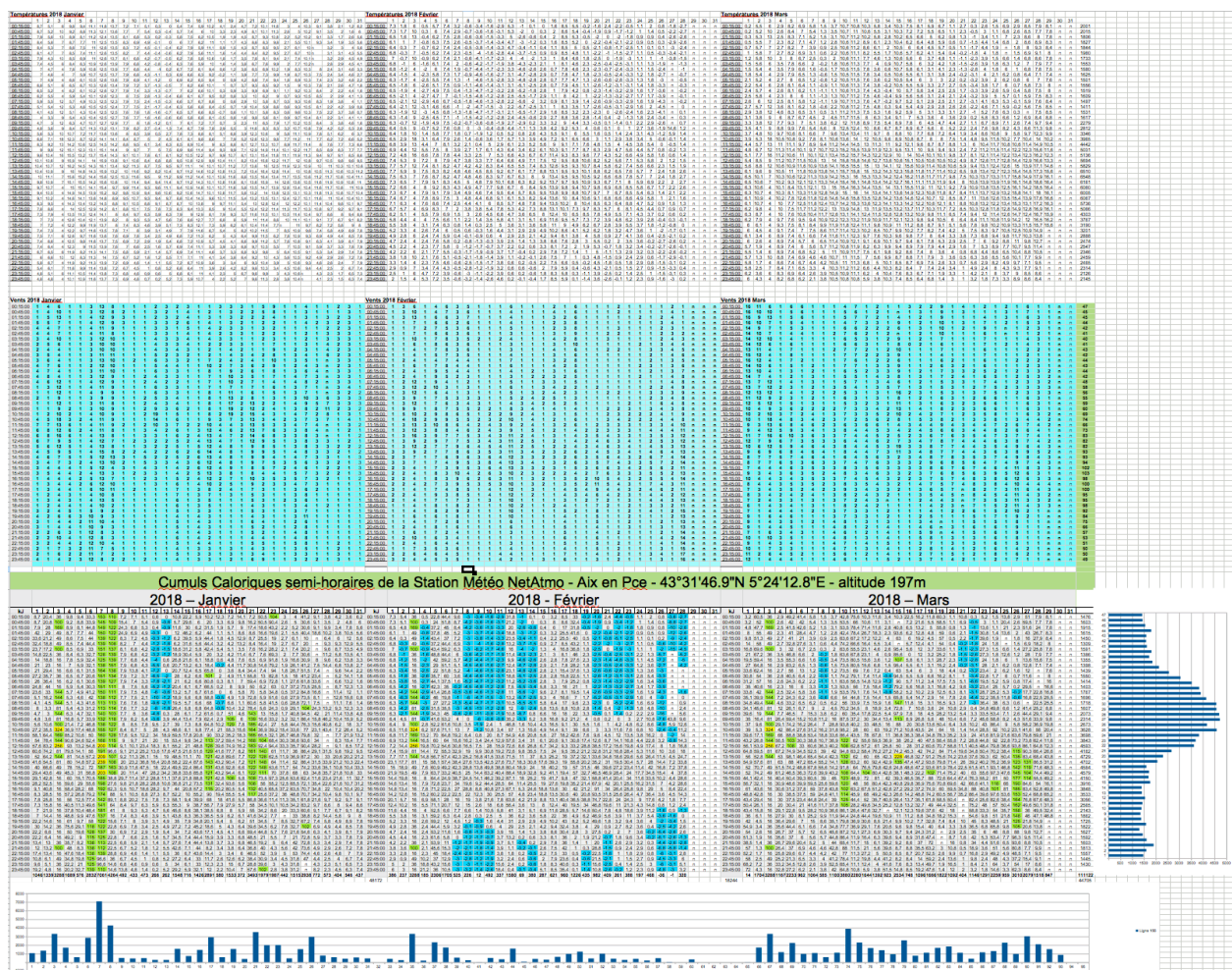
Sur cet exemple, les plus fortes rafales se regroupent soit sur le vent d'est (90°), soit le vent de nord-ouest (300°)

Cumul calorique (concept personnel de l'auteur)

Le cumul calorique essaie de représenter l'énergie qui s'est échangée au cours du temps au niveau de la station : l'air qui passe dans une section de 1m² à la vitesse de 1m/s représente 1m³ soit une 1,225 kg/m³ (au niveau de la mer à 15 °C), approximée à 1kg pour simplifier, soit une énergie de 1kJ (239 calories) par °C.

Le cumul calorique est donné comme le produit de la **température par la vitesse du vent** pour une tranche de temps donnée. Le calcul est fait pour chaque demi-heure (un m³ d'air propulsé à 3,6 km/h fait 1800m dans la demi-heure) et cumulé sur les 48 demi-heures de chaque jour, puis sur tous les jours du mois pour poser une valeur mensuelle. En cas d'absence de mesures, le cumul de la journée est extrapolé "au pifomètre".

Le concept de cumul calorique prétend seulement évaluer l'évolution des échanges de calories sur plusieurs années.



La zone supérieure est la température, la zone en-dessous est le vent et la zone inférieure est le cumul calorique : Rouge >1000J ; 800<orange<600 ; 600<orange<400; 400<jaune<200 ; 200<vert<100 ; 100<blanc<0 ; Blanc <0 ; 0<bleu<-100 ; violet<-100

Le graphe inférieur est le cumul de la journée

Le graphe à droite est le cumul selon l'heure de la journée.

Graphes pluri-annuels

Les évolutions mois par mois sont à suivre sur 10 années glissantes avec des grandeurs agrégées :

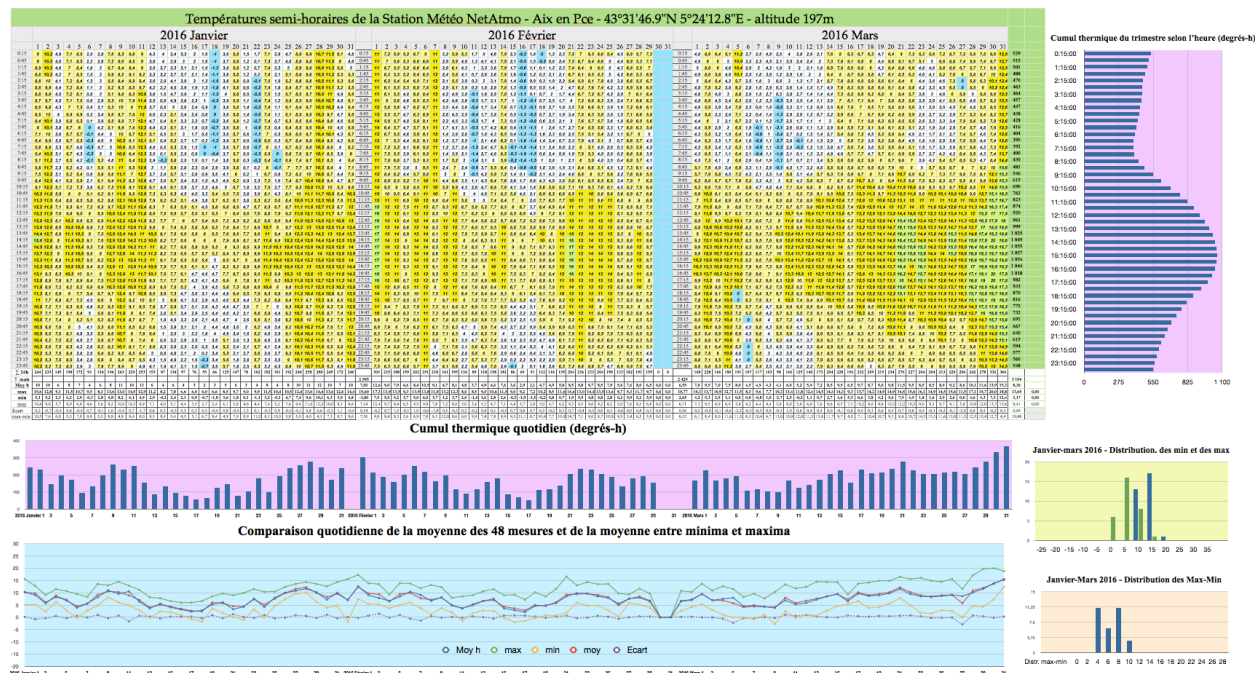
- Le cumul thermique mensuel qui reflète l'évolution des saisons (10 courbes superposées)
- Le cumul thermique trimestriel selon l'heure de la journée (4 fois 10 courbes)
- Le profil sur 365 jours du cumul thermique pendant 10 ans (10 courbes superposées)
- Le profil des maxima et des minima sur 365 jours pendant 10 ans (20 courbes superposées)
- La distribution des gradients demi-heure qui reflète la force des changements du temps
- Le cumul venteux mensuel toutes directions confondues qui reflète les désordres climatiques
- Le cumul venteux mensuel sur la rose des vents qui permet des hypothèses géographiques
- Le cumul venteux mensuel/annuel selon l'heure de la journée
- Le cumul calorique mensuel qui reflète l'énergie thermique vue par la station
- Le profil sur 365 jours du vent moyen pendant 10 ans (10 courbes superposées)
- Le profil sur 365 jours des rafales max pendant 10 ans (10 courbes superposées)

Graphes multidimensionnels

A l'instar des graphes de [suivi de production photovoltaïque](#), les températures et les vents peuvent être représentés de façon multi-dimensionnelle, sans doute rébarbative à la première lecture, mais proposant des corrélations visuelles qui ne seraient pas forcément détectées avec les outils statistiques :

Température

Les températures sont visualisées sur 48 demi-heures sur 365 jours sur n années, avec des couleurs choisies pour une identification rapide des heures très froides et des heures très chaudes sur un trimestre comme sur plusieurs années (alignement des graphes annuels à l'instar des graphes de production photovoltaïques cités).



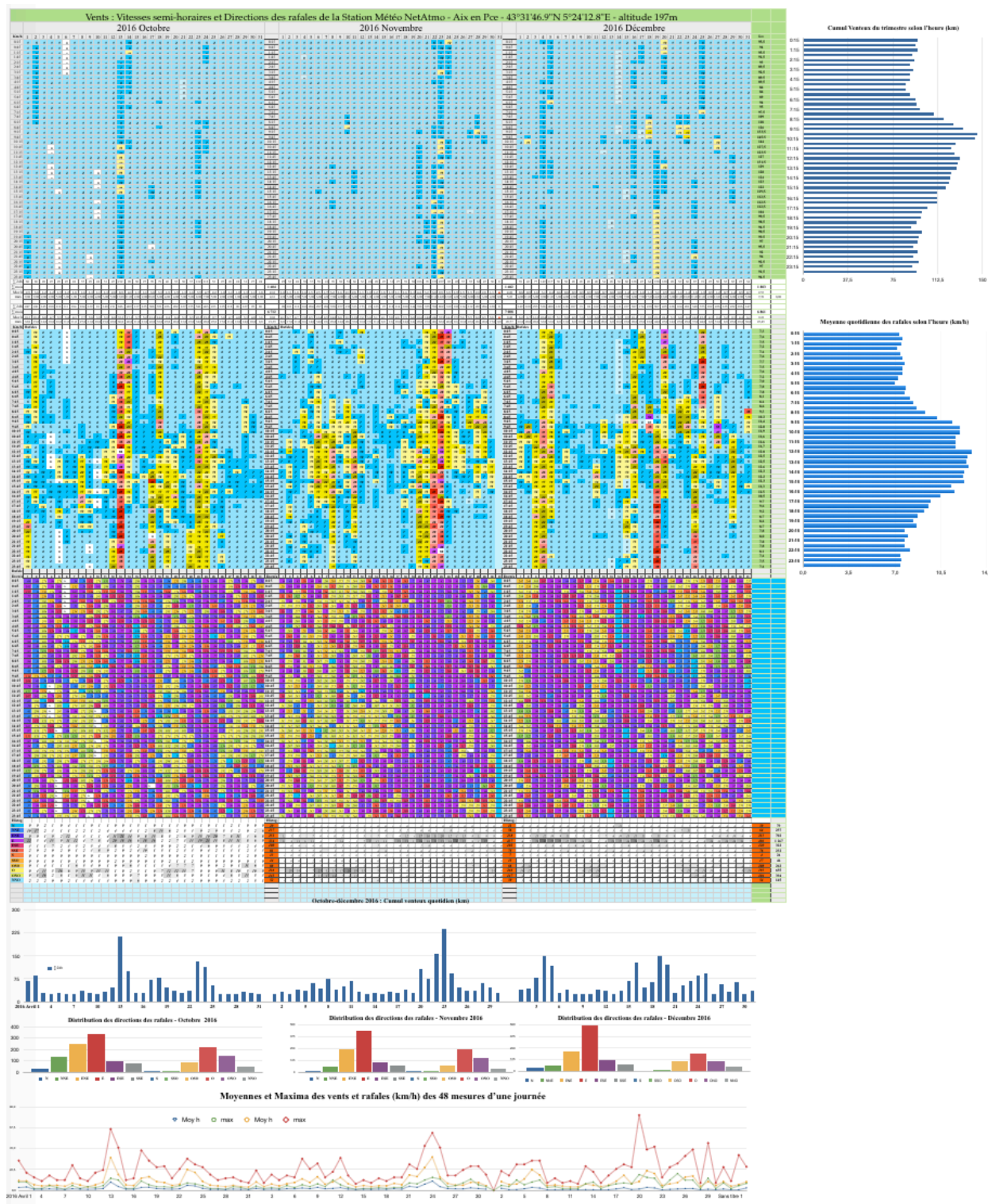
Les graphes inférieurs sont, de haut en bas : le cumul thermique quotidien, les maxima, les moyennes arithmétiques, les moyennes entre max et min, les minima, les écarts entre les moyennes.

Les graphes à droite sont : le cumul du trimestre selon l'heure, la distribution des max et des min quotidiens, la distribution des amplitudes thermique de chaque jour.

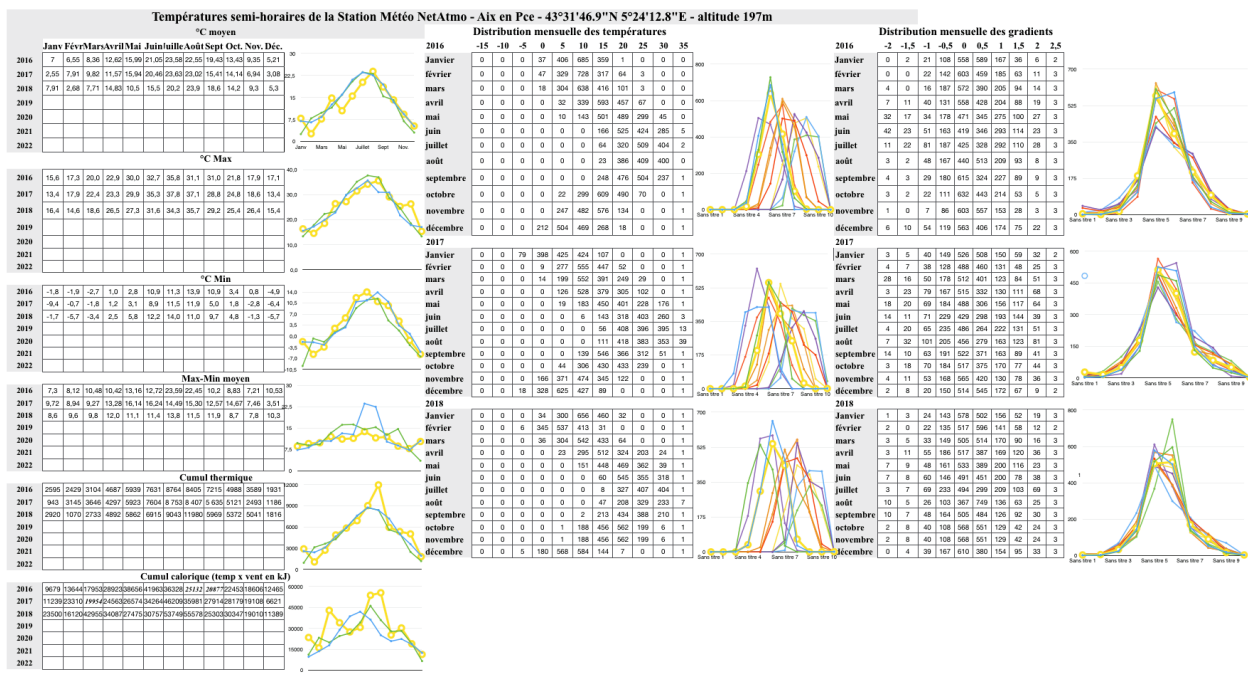
Sur ces graphes, on observe que les écarts sont tantôt positifs et tantôt négatifs, ayant tendance à annuler l'erreur globale sur une longue période. Par exemple, sur le mois de janvier, l'écart moyen est de 0,14°C. L'erreur est à observer sur plusieurs années.

Vents

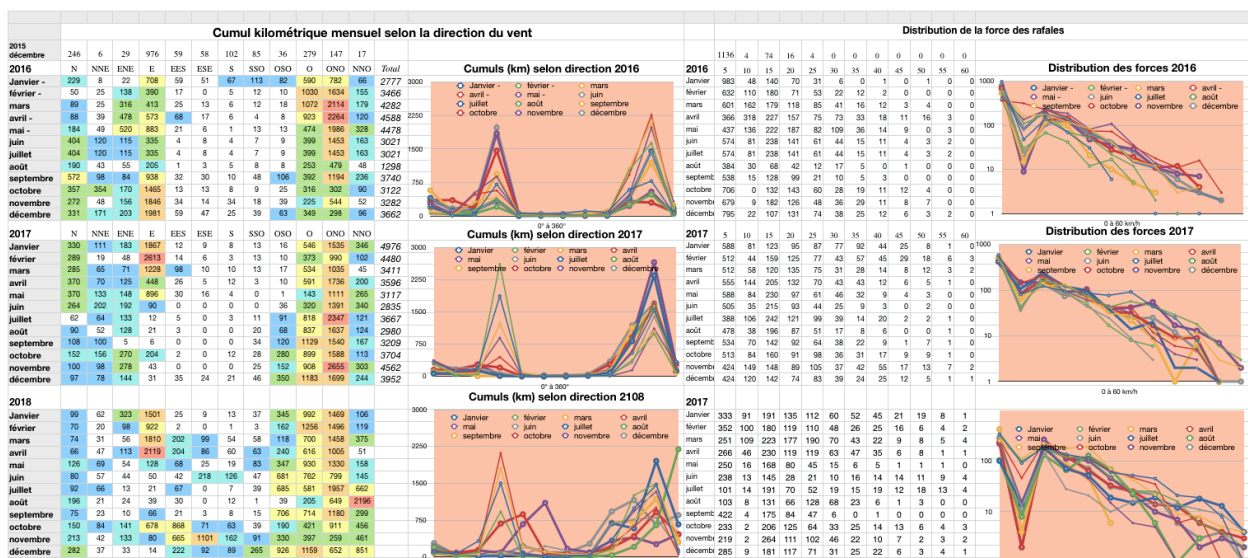
Comme pour les températures, les vitesses des vents sont représentées sur 48 demi-heures sur 365 jours sur n années, assortis des cumuls venteux, des moyennes, minima et maxima sur 365 jours. La visualisation est plus complexe du fait des 3 types de mesures semi-horaires : force du vent (km/h), direction des rafales, force des rafales. (*environ 20 000 valeurs*)

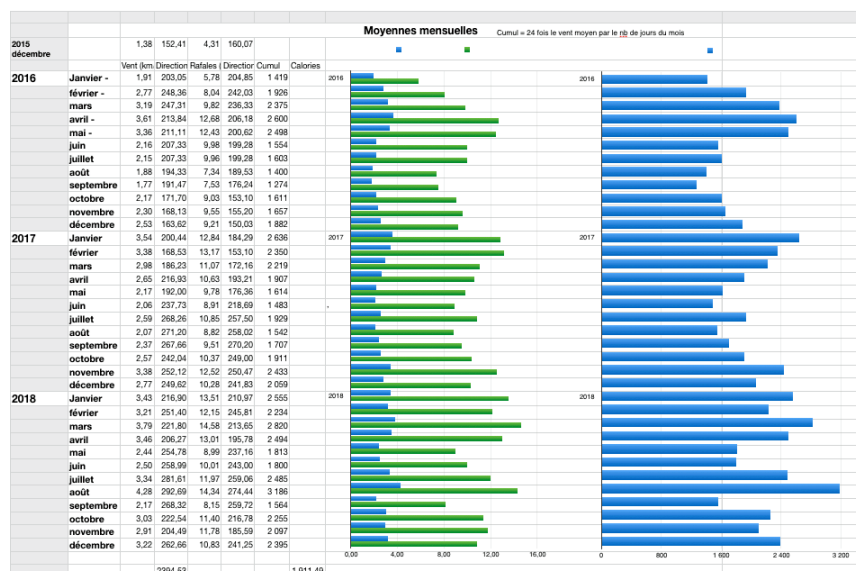


Les différents graphes conduisent à une synthèse pour les températures



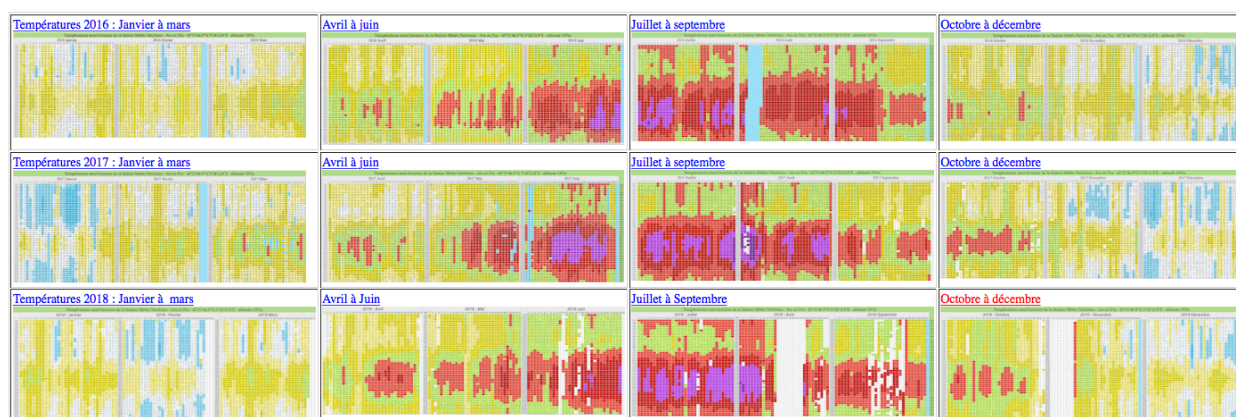
et une synthèse pour les vents



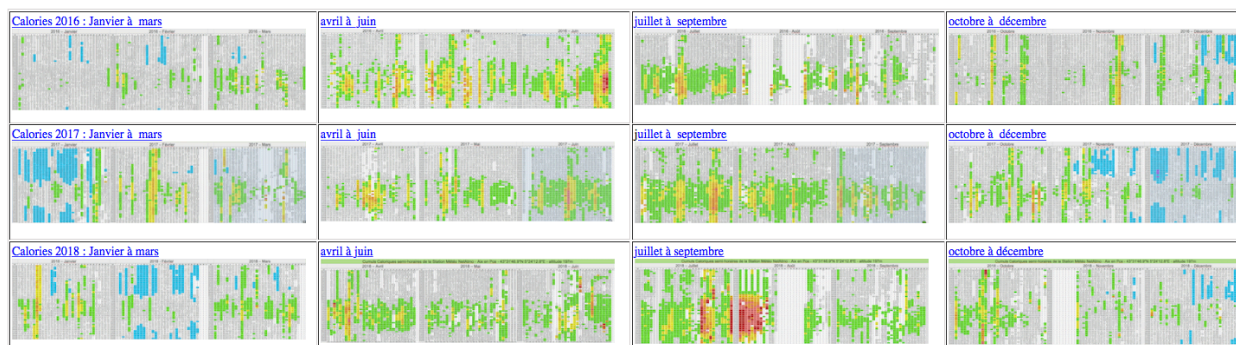


Sur http://ertia2.free.fr/Niveau2/Projets/Meteo/Graphes_meteo/Graphes_meteo-Temp.html

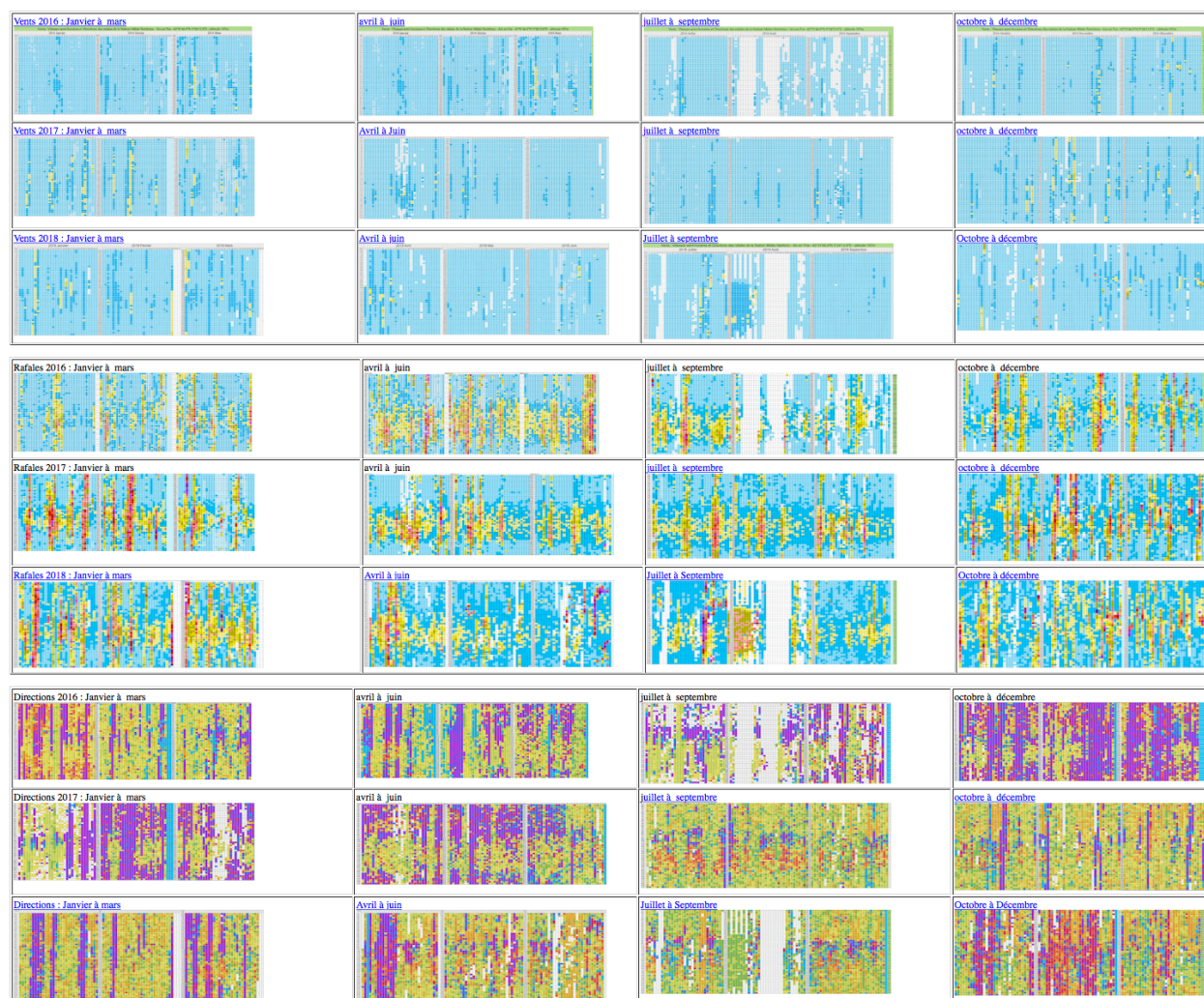
les températures sont représentées sur 3 ans par période de 30 minutes (50 000 valeurs d'un seul coup d'oeil !)



De même les cumuls caloriques



De même la force des vents ou des rafales ou leur directions :



Pluies

Les graphes concernant permettent de corréler l'intensité des pluies avec la force et la direction des rafales ne sont pas édités.

Les précipitations quotidiennes sont visibles sur

http://ertia2.free.fr/Niveau2/Projets/PV/Graphes_Photovoltaiques.html

Où elles sont corrélées avec la production d'une toiture solaire.

Annexe

Génération automatique de graphes

Les graphes présentés ci-dessus sont réalisés à l'aide des mesures téléchargeables sur le serveur Netatmo. Le processus manuel actuel est automatisable. L'application correspondante est appelée GrafMet, en natif sur Mac/OsX/Numbers, et portable sur PC/OpenOffice.

- Tous les jours à 00h00 (paramétrable) l'application vérifie si le 1er du mois est passé.
- si oui, l'application télécharge les données du mois passé et les archive dans un dossier annuel NetAtmoStationX/Données brutes/aaaa.
 - StationX est un nom paramétrable
 - les fichiers bruts sont nommés selon leur nature :
 - StationX-Extérieur-aaaa-mm
 - StationX-Pluviomètre-aaaa-mm
 - StationX-Anémomètre-aaaa-mm
- Tous les jours à 00h00 télécharge les mesures semi-horaires «Extérieur», «Pluviomètre» et «Anémomètre» générées depuis les derniers téléchargements :
 - Les mesures sont traitées individuellement pour construire :
 - les tableaux mensuels bruts selon un modèle identique à «.....html», y compris les graphiques :
 - «Tempaaaammmm.numbers» (aaaa=année ; mmmm=mois sur 4 car)
 - «Ventsaaaammmm.numbers» (aaaa=année ; mmmm=mois sur 4 car)
 - les tableaux trimestriels, générés chaque trimestre selon un modèle identique à «...html», y compris les graphiques :
 - «TempaaaaTrimi.numbers» (aaaa=année ; i=n° du trimestre)
 - «VentaaaaTrimi.numbers» (aaaa=année ; i=n° du trimestre)
 - les tableaux annuels
 - les tableaux pluri-annuels
- Les tableaux sont listés dès fabrication (en fin de mois et en fin de trimestre) dans une page html sur un site Internet «StationX» avec les liens permettant leur téléchargement à partir du site, avec un dossier par année