

Station météo serveur compacte sans pièce mobile. V2

Objectif

La station comporte les capteurs classiques permettant d'obtenir :

- la température sous abri
- la vitesse et la direction du vent et des rafales
- la pression
- le degré d'humidité
- la pluviométrie

les données dérivées :

- le point de rosée,
- alertes sur le triplet Température-Vent_Humidité
- les alertes sur gradients (vitesses d'évolution)
- sa position et son heure GPS

des données complémentaires :

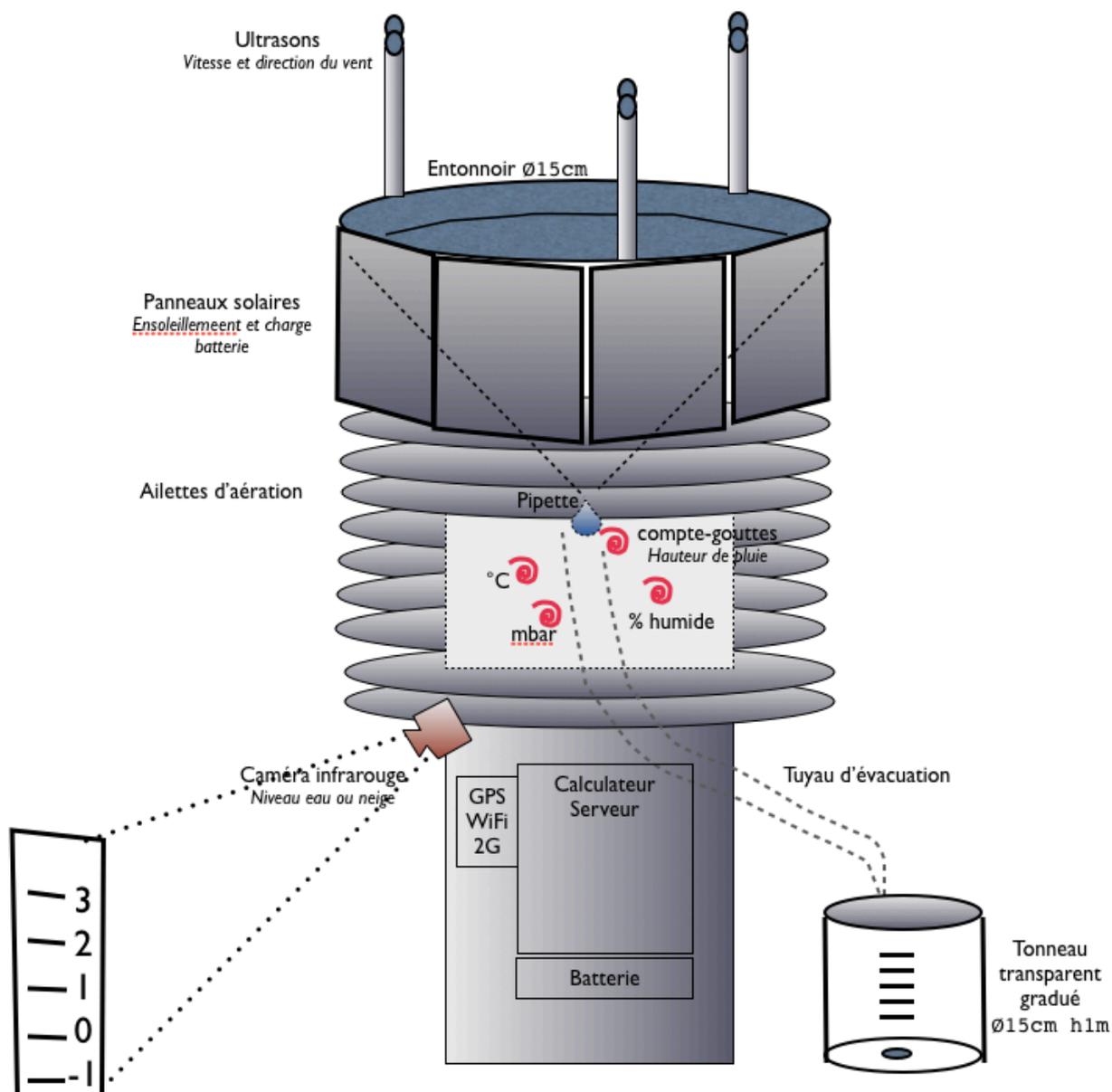
- l'ensoleillement
- la hauteur de neige
- la hauteur de l'eau
- la température du sol
- la pollution aérienne ou aquatique

La station est accessible par Internet (ordinateur, tablette ou ordiphone) et propose ses données en temps réel et/ou sous forme de fichiers bruts et/ou de visualisations graphiques historiques à plusieurs dimensions permettant d'identifier facilement des corrélations ou des situations particulières.

La station est autonome en énergie (composants basse consommation et activation intelligente des fonctions gourmandes) et transmet ses données par WiFi ou par téléphonie numérique.

L'objectif est de réaliser une station compacte, sans pièce mobile, facile à installer, auto-localisée (GPS), opérationnelle automatiquement dès qu'elle reçoit de la lumière et de proposer des éléments logiciels pour la télé-visualisation et le téléchargement des mesures.

Description



Tous les capteurs sont dans une colonne cylindrique, contenant l'ordinateur serveur, avec un buscan récupérant les données produites par les capteurs, directement ou via un microcontrôleur de type Arduino.

L'objectif de coût pour une fabrication en série est de 250€ en version de base (température, vent, pluie, pression, hygro).

1. Vent

Besoin

Vent nul, brise, vent établi, vent fort, tempête, bourrasque, cyclone, tous les états du vent et sa direction sont intéressants. Le vent extrême est particulièrement important à connaître (arbres déracinés, toitures envolées,...)

Données du vent

- La vitesse actuelle (mesure toutes les secondes) est moyennée toutes les 10 minutes ou au choix de l'utilisateur.
- La direction du vent, en degrés, est celle établie au milieu de la période.
- La vitesse horaire est la moyenne arithmétique des 3600 vitesses écoulées
- La vitesse mensuelle est la moyenne arithmétique des vitesses horaires
- La vitesse annuelle ([cumul venteux](#)) est la moyenne arithmétique des vitesses mensuelles
- La rafale-10mn est la vitesse max des 10mn écoulées
- La rafale-1h est la vitesse max de l'heure écoulée
- La rafale-jour est la vitesse max de la journée écoulé, avec son horodate
- La rafale-an est la vitesse max de l'année écoulée, avec son horodate
- La rafale max est la vitesse max enregistrée, avec son horodate.

Capteur du vent

L'anémomètre/girouette est à ultra-sons. Chaque émetteur-récepteur est placé dans une colonnette en tête de station. Les colonnettes sont les sommets d'un triangle équilatéral compatible avec la précision recherchée (typiquement 15cm de coté).

Le nord est donné par le capteur GPS intégrant une boussole. Il n'y a donc pas nécessité de configurer la position de la station par rapport au nord.

Logiciel du vent

Cycliquement, chaque émetteur/récepteur à ultra-son est activé pendant un court instant. Le signal est écouté par les 3 récepteurs.

Typiquement, le cycle est d'une seconde et la durée d'émission d'une milliseconde (économie d'énergie) Le logiciel établit les délais d'acheminement du signal. Le délai est nul entre l'émetteur et le récepteur de la même colonnette, servant ainsi de contrôle de bon fonctionnement.

Un calcul trigonométrique permet d'établir la vitesse et la direction du vent.

La direction du vent est calculée en temps réel en même temps que sont construits les histogrammes (1 jour, 1 mois, 1 an) des fréquences des directions en %

2. Température

Besoin

La température est la mesure essentielle, en mesure absolue, ou en gradient (arrivée d'un front froid par exemple), ou associée au vent ou à l'humidité, elle peut donner le point de rosée ou la température ressentie (utilisée par exemple dans les pays très froids pour évaluer la durée maximum d'exposition de la peau avant qu'elle ne gèle) ou à l'inverse prévoir la canicule. La température du sol est utile pour prévoir le verglas ou la gelée des végétaux ou à l'inverse pour déclencher l'arrosage. Les températures extrêmes en temps réel ou historiques sont les plus recherchées.

On peut aussi introduire la notion de *cumul thermique* (voir http://ertia2.free.fr/Niveau2/Projets/Meteo/Cumul_thermique.pdf) et d'*inconfort thermique* (voir l'annexe afférente) qui traite des relations entre la température, la vitesse du vent et l'humidité.

Données de température

- Température absolue prise chaque minute
- Alertes Température-Vent-Hygrométrie
- Température du sol
- Alertes d'évolution rapide (gradient sur 10 minutes, sur 1 h et sur 3 heures)
- Moyennes des températures de 0h00, 6h00, 9h00, 12h00, 15h00, 18h00, 21h00
- Cumul thermique référencé à 0°C (somme des 24 températures mesurées aux heures justes - première mesure à 0h00)

Capteur de température

Le capteur est à l'abri du soleil, de la pluie et de la neige, dans une enceinte sans ponts thermiques, à bonne ventilation naturelle (convection rapide). Les ailettes de refroidissement ont un fort coefficient d'isolation.

Logiciel de la température

Le logiciel génère l'affichage de toutes les températures caractéristiques en temps réel, ainsi que l'historique sur une échelle des temps progressivement comprimée vers le lointain passé. Il calcule et mémorise les moyennes et les cumuls.

Alertes :

- Si vent > 10km/h et température < -10°C : engelures possibles
- Si vent > 20km/h et température < 15°C : vent refroidissant
- Si vent > 20km/h, temp. < 15°C et humidité > 70% : vent froid et humide
- Si vent > 20km/h, température > 30°C : déshydratation rapide
- Si température > 35°C : canicule

3. Pluie

Besoin

Autant le besoin d'exactitude est fort pour la température (beaucoup moins pour la température ressentie, qui est le résultat d'un algorithme non normalisé), autant la connaissance de la pluie peut être approximative : il pleut, ou il ne pleut pas, bruine, pluie faible, pluie établie, averse, forte averse, trombe. Le système de mesure doit seulement être fidèle afin que les comparaisons (annuelles par exemples) soient crédibles.

Données de la pluie

- La hauteur de pluie est donnée par tranche de 10 minutes ou au choix de l'utilisateur.
- L'averse-épisode est la hauteur max sur 10 minutes depuis le début de l'épisode, avec son horodate de fin de tranche.
- L'averse-an est la plus forte averse-épisode de l'année, avec son horodate
- Le cumul de l'épisode pluvieux est remis à zéro après 48h sans pluie.
- Le cumul journalier est le cumul de la journée
- Le cumul mensuel est le cumul du mois
- Le cumul annuel est le cumul sur l'année

Capteur de pluie

La pluie est recueillie dans un entonnoir, muni d'un filtre à poussière puis chemine vers une pointe égoutteuse ou une pipette. Un capteur (capacitif, consommation nulle en absence de goutte) compte les gouttes. Une petite fenêtre permet de voir les gouttes tomber (sans nuire au comptage). L'eau de pluie finit par tomber dans une éprouvette transparente (capacité d'un fort épisode pluvieux) munie d'une bonde en partie basse et d'un petit orifice (évaporation minimale) de surverse en partie haute.

Logiciel de la pluie

Le logiciel permet :

- le comptage des gouttes d'eau pour chaque colonnette
- l'étalonnage des gouttes à partir d'un litre d'eau versé lentement sur chaque colonnette
- le calcul des hauteurs d'eau (selon le calibre des gouttes)
- la détection d'écart trop important entre colonnettes, symptôme d'une obstruction

4. Humidité

Besoin

L'humidité agit sur le confort thermique. La chaleur accablante saturée d'humidité, le froid ou le gel humide peuvent avoir des répercussions dramatiques (déshydratation des nourrissons et des personnes âgées, risques d'incendie, moisissures dans les logements, engelures et hypothermies,...).

Données hygrométriques

- le pourcentage d'humidité mesuré avec un capteur en cohérence avec les objectifs de l'utilisateur
- le point de rosée

Logiciel de l'humidité

Le logiciel permet :

- les calculs d'indice en fonction de la température, de l'humidité, du refroidissement éolien, du point de rosée
- la mémorisation des différents indices
- la qualification des situations à risque, sous forme d'alertes circonstanciées (ce qui se passe, ce qui peut se passer si la situation perdure, ce qui peut se passer si la situation s'aggrave, les précautions à prendre)

5. Neige

Besoin

Mesurer la neige est différent selon l'objectif recherché, en montagne ou en plaine, pour une station de ski ou pour des actions préventives sur les chaussées ou sur les arbres. La morphologie des cristaux de neige est très variable. Le besoin le plus courant est de savoir s'il neige ou pas, si la neige tient au sol, si la pluie-neige est verglaçante (surface sombre proche de l'horizontale).

Données de la neige

- Les états qualitatifs sont : pas de chute de neige / Neige faible / Neige / Neige forte, pluie-neige verglaçante.
- La hauteur de neige par tranche de 30 minutes ou au choix de l'utilisateur
- Le cumul de l'épisode en cours par addition des hauteurs par tranches élémentaires (différence entre la hauteur en début de période et en fin de chaque tranche période)
- Le cumul des chutes fraîches sur le mois et sur l'année
- La hauteur réelle qui prend en compte le tassement progressif de la neige et peut renseigner sur sa densité (par comparaison avec le cumul de chutes fraîches)
- L'image .jpg est aussi une façon d'estimer la chute de neige, en association à une alarme sur différents seuils programmés par l'utilisateur

Capteur de hauteur de neige

Une solution est l'analyse d'image sous flash infrarouge, déclenché typiquement toutes les 10 minutes ou au choix de l'utilisateur (économie d'énergie) si la température est inférieure à 5°C ou au choix de l'utilisateur. La caméra, protégée par une visière, est pointée sur une mire limnimétrique compatible avec les hauteurs d'enneigement locales.

Logiciel de la neige

La présence de flocons sur l'image détermine l'état de précipitation neigeuse. Le nombre de flocons (ou la surface d'image occupée par les flocons) détectés, affiché en partie haute de l'image, renseigne sur l'intensité de la chute de neige.

La hauteur de neige est lue par reconnaissance de caractère sur l'échelle limnimétrique.

Les hauteurs négatives sont un indice de tassement, d'évaporation ou de fonte. La fonte est aussi mesurée par le pluviomètre.

Le logiciel garde une photo horodatée à chaque fois qu'une nouvelle graduation est atteinte, en croissant ou en décroissant.

Le coefficient de réflexion sur la surface sombre indique le verglas.

6. Niveau d'eau

Besoin

La mer, le lac, le barrage, les ruisseaux et rivières peuvent donner des éléments d'analyse de crues, de fonte de neige, d'inondation, de fonctionnement de vannes...

Données de l'eau

- Le niveau par rapport à l'étiage par tranche de 30mn ou au choix de l'utilisateur
- Le débit
- La turbidité
- La pollution
- Les images .jpg

Capteurs de l'eau

Pour le niveau, la caméra photographie périodiquement un limnimètre.

Pour le débit, 2 émetteurs récepteurs à ultrasons sont immergés dans le sens du courant. La mesure Doppler donne la vitesse de l'eau. Le profil en travers de la rivière permet d'établir la loi du débit théorique en fonction de la vitesse.

Pour la turbidité, la caméra infrarouge est immergée et photographie périodiquement un limnimètre horizontal, faisant avec l'axe optique un angle de 60° ou au choix de l'utilisateur.

Pour la pollution, la caméra vise une cage avec des organismes sensibles au pollution.

La pluie recueillie est acheminée dans un récipient transparent et gradué, percé en partie supérieure d'un trou de 1mm évacuant l'air lors du remplissage mais limitant l'évaporation. Le récipient est cylindrique, de même diamètre que l'entonnoir du pluviomètre, d'une hauteur de 1 mètre, compatible avec avec un an de précipitation. Une bonde basse permet le vidage. Ce tonneau permet en particulier, par comparaison, de vérifier a posteriori le bon fonctionnement du capteur de pluie.

Logiciel de l'eau

L'analyse d'image lit les graduations émergées

Le logiciel calcule la vitesse de l'eau, fonction de la fréquence Doppler et le débit, fonction de la vitesse et du profil en travers configurés par l'utilisateur, qui définit les largeurs de la rivière selon les distances au fond, soit une succession de sections en trapèze, affectées d'un coefficient de traînée (la vitesse dépend de la nature de la rive, du lit et de la position du capteur par rapport aux rives).

7. Ensoleillement

Besoin

Le premier besoin est le contrôle de l'alimentation électrique par les panneaux solaires et la batterie.

La production électrique corrélée à la position astronomique du soleil permet d'estimer la couverture nuageuse et de détecter les pertes de rendement liées aux salissures.

Données d'ensoleillement

- La puissance solaire et sa variation dans la journée, en % par rapport à la puissance théorique reçue
- L'histogramme des énergies solaires reçues par tranche de temps (chaque mesure incrémente l'interseuil correspondant)
- La production électrique par tranche de 10mn
- La tension et la charge de la batterie

Capteurs de l'ensoleillement

Solution photovoltaïque : 12 panneaux entourent la station. Les Wh de chaque panneau sont comptabilisés et servent à l'alimentation générale de la station.

Solution vidéo : La caméra grand angle (ouverture de 90°) est pointée au zénith (hors de la zone ombrante du support), à charge éventuellement pour l'utilisateur de placer les panneaux en zone sans ombre. Une lampe (diodes blanches) permet d'étalonner la caméra la nuit (détection des salissures).

Logiciel de l'ensoleillement

Le logiciel établit une relation entre le flux lumineux reçu et l'angle sous lequel le soleil regarde la caméra.

(http://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=fr).

Le logiciel réalise une simulation de production solaire en fonction des paramètres fournis par l'utilisateur (surface, orientation, rendement théorique, ombrages,...)

Logiciel

8. Logiciel général

Le logiciel collaboratif est un ensemble d'applications sous tutelle d'un général, chargé de les installer ou ré-installer automatiquement, en toute indépendance des données déjà acquises.

Les applications sont de 3 types : résidentes dans la station, résidentes dans le serveur relai (cas d'une station reliée en WiFi à un serveur) ou téléchargeables chez l'internaute qui consulte soit la station, soit le serveur relai.

Dans la station, l'application de base fait appel aux applications existantes suivantes :

- WiFi (gestion proche)
- nG (gestion/utilisation lointaine)
- GPS (auto-localisation et horodatage)
- Boussole-girouette (direction du vent)
- Alarme/messages/contact
- Notes (suivi système)
- Photo (analyse d'image)

Les applications spécifiques sont générées selon les besoins identifiés : création de chaque élément graphique

Episodes extrêmes

La mémoire des épisodes extrêmes est importante pour les générations futures. Il n'est pas utile de conserver les données brutes élémentaires pendant des années. On peut les limiter aux mesures caractérisant les situations extrêmes de vent, de température, de pression ou de pluie (soit 3 ou 4 jours chaque année)

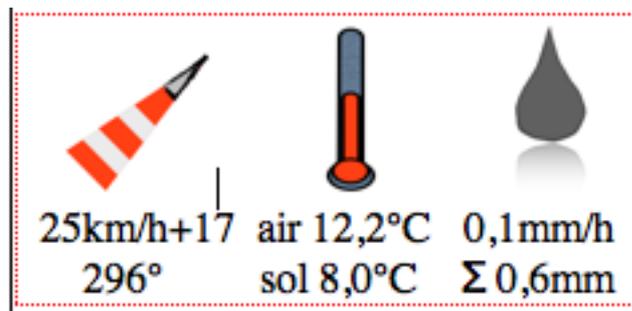
Page d'accueil pour ordinateur

Une maquette de page d'accueil est sur la page :

http://ertia2.free.fr/Niveau2/Projets/Meteo/Station_meteo/Station_Meteo.html

Cette maquette propose des éléments organisés pour disposer d'un seul coup d'oeil d'un maximum d'éléments météorologiques produits par la station.

- La photo de la station in situ
- Le nom, le lieu, la latitude/longitude/altitude, la date de mise en route
- Les données en temps réel (date et heure de la dernière mise à jour) :



La goutte d'eau est remplacée par un soleil ou un nuage blanc ou gris en fonction de la luminosité ambiante (sauf la nuit)

Température de l'air	12,2 °C	Alertes front	°C>-5°/h	
Moyenne du jour	7,3 °C	Inconfort thermique	engelures	
Température du sol	8,0 °C	Ensoleillement	couvert	
Vitesse du vent	25 km/h	Wh solaires	3,4	Wh
Direction du vent	296 0 à 360°	Niveau d'eau	1,4	m
Rafales	42 km/h	Niveau de neige	0	m
Pression	1015 hPa	Débit	0,2	m3/s
Pluie intensité	0,1 mm/h			
Pluie cumul épisode	0,6 mm			
Humidité	96 %	Défaillance	batterie	

- Les 100 dernières mesures du vent sous forme d'une rose des vent, avec superposition de la courbe des vitesses du vent et des vitesses de rafales.
- Les 100 dernières températures de l'air, du sol et du point de rosée
- Les 100 dernières énergies
- Les pressions moyennes des 100 derniers jours, avec les chutes de pluie, représentées par des barreaux verticaux de hauteur proportionnelle à la hauteur de pluie tombée.
- Des graphes de 365 jours (abscisse) sur 24h (ordonnées). Pour chaque petite case, la température représentée par une couleur (violet à -35°C, rouge à +45°C) selon une palette de 80 nuances.
- Le bouton «Spécifs» permet de télécharger le présent document.
- Le bouton «Accès aux données» permet d'accéder à la page de filtrage des données à importer
- Le bouton «Zoom» permet d'accéder aux graphes trimestriels :

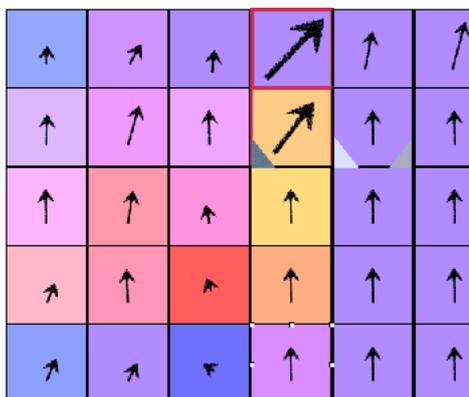
Graphes météo trimestriels

Pour analyser facilement les corrélations entre les différents mesures météo, trimestre par trimestre, un représentation multidimensionnelle est proposée :

La visualisation propose 2208 cases en 92 colonnes (une par jour) et 24 lignes (1 par heure). Pour chaque case :

- La couleur est la couleur de la température

- Une flèche de surface proportionnelle à la vitesse du vent est au centre de la case, orientée selon la direction du vent
- Un triangle dans le coin inférieur droit donne la pluie en niveaux de gris
- Un triangle dans le coin supérieur gauche donne l'existence d'une alerte
- Un triangle dans le coin supérieur droit donne l'existence d'une défaillance
- Un triangle dans le coin inférieur gauche donne l'existence d'un inconfort thermique
- Les cases encadrées de rouge donne l'existence d'un épisode extrême



En partie inférieure, sur le même graphique de 92 graduations horizontales :

- une courbe donne les cumuls thermiques de chaque jour
- une courbe donne la production électrique de chaque jour
- un pointage donne les pluies et neiges de chaque jour
-

Voir aussi :

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

http://ertia2.free.fr/Niveau2/Projets/Donnees_ouvertes/Graphe_n_dimensions.pdf

et <http://siredo.free.fr/Visu-donnees.pdf>

Graphe des niveaux d'eau ou de neige

Pour suivre l'évolution des niveaux et débits année par année, un graphe multicourbe par année est proposé:

- Une courbe horizontale, donnant les 366 niveaux à 0h00
- Une courbe horizontale, donnant le débit moyen de chaque jour.

Page d'accueil pour smartphone

Pour accéder à distance aux mesures en temps réel :

La page met en une seule colonne à défilement les éléments de la page d'accueil de l'ordinateur.

9. Filtres :

Les mémoires ont d'énormes capacités. La station conserve 100 000 données 10mn brutes de chaque nature, 100 000 données 3h brutes, 10 000 moyennes journalières, 1000 moyennes mensuelles et 100 moyennes annuelles.

Les moyennes sont calculées au fur et à mesure (pour éviter de trop longs temps de traitement)

Période

<calendrier>

Choix de la fréquence :

- Données 10mn brutes (fichier DM10Baammjj-aammjj)
- Données horaires brutes (fichier DMhBaammjj-aammjj)
- Données 3h brutes (fichier DM3hBaammjj-aammjj)
- Moyenne du jour (fichier DMjMaammjj-aammjj)
- Moyenne du mois (fichier DMmMaammjj-aammjj)
- Moyenne de l'année (fichier DMAaMaammjj-aammjj)
- Episodes extrêmes (fichier DMeEaammjj-aammjj)

Choix des mesures :

- Température de l'air
- Inconfort thermique
- Température du point de rosée
- Température du sol
- Vitesse du vent
- Direction du vent
- Rafale
- Pression
- Pluie
- Humidité
- Ensoleillement
- Energie solaire
- Cumul thermique
- Niveau de l'eau

- Niveau de la neige
- Alertes TVH
- Alertes évolutions rapides...
- Défaillances des capteurs

Configurations

Accessible à l'administrateur (identifiant par adresse courriel et mot de passe, avec procédure en cas de perte de mot de passe) :

- le nom de la station - par défaut le .kmz
- les seuils d'alerte (par défaut et pour plusieurs choix possibles)
- les IP autorisées (inscriptions préalable gratuite chez le gestionnaire de la station qui relaie les alertes aux abonnés).
- le profil en travers du cours d'eau (surface d'une coupe polygonale)
- les seuils d'épisodes extrêmes (par défaut et pour plusieurs choix possibles)
- les paramètres de l'installation solaires

Suivi des connexions

Pour mieux connaître les utilisateurs :

L'horodate, le n° IP et le motif de connexion sont mémorisés et accessibles à l'administrateur

Idées à creuser :

pluviomètre à ultrason

Une émission d'ultra-sons est écoutée par un capteur. La déformation du signal reçu indique le passage d'une goutte d'eau à proximité de l'émetteur :

Les gouttes produisent des réflexions parasites captées par le récepteur. L'analyse des déformations du signal permet d'évaluer le nombre de gouttes que l'on corrèle statistiquement à l'intensité de la pluie.

L'anémomètre à ultra-son peut servir de capteur.

Pluviomètre à grillage métallique

Grillage sous tension : la chute d'une goutte de pluie modifie son impédance.

Sur la face supérieure : une grille pluviomètre de 50cm² (7 x 7cm), dimensions à optimiser, consistant en une trame (horizontale a priori) de fils conducteurs espacés de 0,5mm. Cette dimension est à optimiser à la conception selon le saut d'impédance lié à la chute d'une goutte sur un seul fil ou lié à une goutte faisant court-circuit entre 2 fils.

Cette trame est orientée dans un sens (sud-nord par exemple) à 1mm, dimension à optimiser à la conception, au dessus d'une trame identique mais orientée différemment (ouest-est par exemple). Chaque goutte tombant sur le treillis modifie l'impédance de un ou plusieurs fils des trames.

En option, la grille peut être chauffée pour éviter que la neige colle.

Le logiciel associé analyse chaque goutte pour en évaluer sa taille, en se basant sur la géométrie des variations d'impédance. Le logiciel compte le nombre de gouttes et calcule le volume de ces gouttes sur une période donnée. Le système est étalonné pour transformer cette mesure en millimètres de précipitation. L'eau s'évacue par gravité sur les cotés, canalisée dans un tuyau transparent jusqu'à une éprouvette graduée.

Mât météo

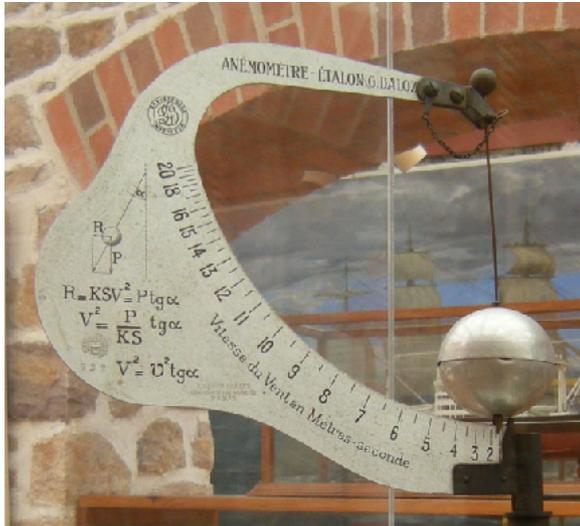
Les mesures sont plus fiables en hauteur, loin d'obstacles physiques brise-vent ou rayonnant. La station météo est montée sur un chariot vertical roulant sur des rails verticaux fixés sur un mât qui peut être haubané ou fixé sur un mur (avec un dépassement supérieur d'au moins 1m).

Un câble assure la montée et la descente (maintenance)

La station est opérationnelle quand elle est en tête de mât.

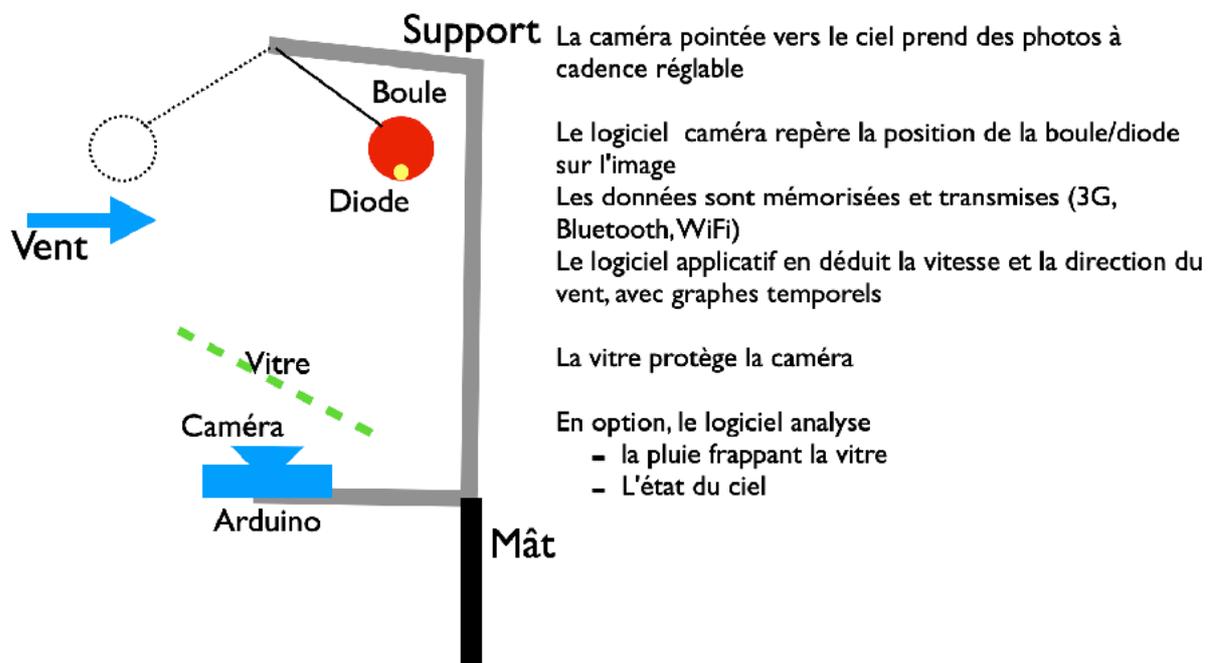
Le mât peut aussi être basculant.

Anémomètre connecté



Sur le principe de l'anémomètre Dalloz

Anémomètre connecté



Annexe : Inconfort thermique

Les sites <http://ptaff.ca/humidex/>

et <http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/climat/adapt/index-fra.php> montrent que la notion de température ressentie recouvre des situations très diverses, et que la notion de «température ressentie est fallacieuse)

A basse température, il est utile de savoir combien de temps on peut exposer la peau au froid. L'humidité étant quasi-nulle, seul le vent intervient dans le calcul.

De -5 à +10°C, l'humidité et le vent renforce la sensation de froid

De 10 à 25°C, il est utile de savoir comment d'habiller si l'on reste immobile longtemps dehors, ou si l'on fait du vélo

Au-dessus de 30°C, les efforts physiques provoquent la sudation et les personnes fragiles doivent être prévenues.

Au mieux, on peut imaginer un capteur spécifique : une sphère de 15cm de diamètre remplie d'eau équipée d'une résistance et d'un refroidisseur dont le rôle est de maintenir l'eau à :

- 0°C si la température est inférieure à 0°C
- 1°C en plus de la température de l'air si celle-ci est inférieure à 20°
- 1°C en moins de la température de l'air si celle-ci est supérieure à 20°C.

Les Watt-heures/h nécessaires donnent un indice de d'inconfort thermique tel que le risque d'engelure, le risque de refroidissement rapide, le risque de déshydratation rapide ou le risque de canicule.

Annexe : Cumul thermique

Voir : http://ertia2.free.fr/Niveau2/Projets/Meteo/Cumul_thermique.pdf