



Voici enfin la dernière partie de la trilogie sur « l'émagramme en toute simplicité ». Elle est le fruit d'un travail personnel qui vient, en quelque sorte, couronner les connaissances déjà acquises dans 2 documents précédents, sur ces drôles de graphiques atmosphériques enfantés par des supercalculateurs.

Vous y découvrirez :

- une application directe mais adaptée, des émagrammes, au massif du Pilat, proposant de déterminer le point culminant des ascendances thermiques pour le site de la Jasserie.
- la complexité des « modèles numériques », la façon de les utiliser et leurs limites.

Cette partie peut paraître un peu plus complexe que les précédentes, mais cibler l'essentiel et le retenir pour prévoir les « bonnes journées » de vol, demandera peu de savoir et peu d'efforts.

Les données qui m'ont servi, ont été extirpées ça et là, au hasard de relevés griffonnés sur un cahier dans le courant de l'année 2011. Il eût été plus judicieux de planifier ces relevés afin d'y adjoindre des informations météorologiques annexes, contribuant à une meilleure analyse. A voir dans une autre vie peut-être !

Ce document n'engage bien entendu que son auteur, et les remarques allant dans le sens d'une meilleure connaissance « aérologique » du massif du Pilat seront toujours les bienvenues. Parmi les différents ouvrages ou ressources en ligne utilisés pour ce document, et apparaissant dans la partie bibliographie, il convient de mettre en lumière les travaux de J.Oberson (<http://www.soaringmeteo.ch>), qui a, côté Suisse, fourni un gros travail de vulgarisation sur les émagrammes et la couche convective.

En fin de chaque partie vous trouverez :

Un **Glossaire** contenant les termes pouvant justifier d'une définition ou explication. Ils apparaissent dans le texte en caractères gras.

Une **Bibliographie** rassemblant des références internet où des ouvrages de la littérature qui m'ont servi ou qui apportent des compléments d'informations.

Lecture d'un émagramme - *Troisième partie*

Table des matières

| | |
|---|----|
| 1. Introduction | 3 |
| 2. Les modèles numériques | 3 |
| 2.1. Principe | 3 |
| 2.2. Résolutions spatiale et temporelle | 4 |
| 2.3. Les Modèles Numériques de Terrain (MNT)..... | 4 |
| 2.4. Les principaux modèles numériques de prévision météo | 6 |
| 2.4.1. GFS | 6 |
| 2.4.2. WRF | 6 |
| 2.5. Les limites des modèles numériques..... | 6 |
| 3. A la bonne heure | 7 |
| 4. Utilisation de GFS 1° pour le massif du Pilat .. | 8 |
| 4.1. Mode opératoire | 8 |
| 4.2. Rappels | 8 |
| 4.3. Application du modèle au site de la Jasserie | 9 |
| 4.3.1. Le MNT de GFS | 9 |
| 4.3.2. La méthode | 10 |
| 4.3.3. Prévisions de la température au décollage virtuel..... | 13 |
| 4.3.3.1. Les données GFS | 13 |
| 4.3.3.2. Les sites météo | 13 |
| 4.4. Fiabilité de la méthode et perspectives | 14 |
| 4.4.1. Plafond théorique/Plafond obtenu | 14 |
| 4.4.2. Prévision des températures | 15 |
| 4.4.2.1. Validité des températures prévues par GFS..... | 15 |
| 4.4.2.2 Validité des températures prévues par les sites météo..... | 16 |
| 4.5. Application du modèle aux autres sites du Pilat..... | 16 |
| 4.5.1. La couche convective | 16 |
| 4.5.2. Site de l'Oeillon | 17 |
| 4.5.3. Site du mont Ministre..... | 18 |
| 5. Les autres modèles pour le massif du Pilat | 18 |
| 5.1. WRF NMM | 18 |
| 5.2. Les modèles des sites payants | 20 |
| 5.2.1. MeteoBlue | 20 |
| 5.2.2. Topmeteo..... | 21 |
| 6. Conclusion | 22 |
| Glossaire | 23 |
| Bibliographie | 24 |
| Annexe 1 Protocole d'étude Plafond théorique/Plafond atteint | 25 |
| Annexe 2 Corrélations entre les températures sol de GFS et la station du Bessat | 26 |
| Annexe 3 Corrélation entre les prévisions de températures des sites météo et la station du Bessat ...29 | |
| Annexe 4 Obtention de l'émagramme WRF-NMM | 30 |
| Annexe 5 L'option Texte de l'émagramme | 33 |
| Annexe 6 Analyse Topmeteo pour le site de la Jasserie | 34 |

1 Introduction.

La prévision des bonnes journées de vol libre nécessite, dans un premier temps, la connaissance par anticipation, d'un ensemble de grandeurs physiques caractérisant l'atmosphère en un lieu donné, à savoir : la température, l'humidité, la direction du vent et sa vitesse en fonction de l'altitude. Mais il est aussi fondamental d'appréhender les mécanismes qui régissent les mouvements atmosphériques (formation de nuages, convection atmosphérique,...), ne serait-ce que sous forme simplifiée.

Ces compétences, nous les avons acquises dans les première et deuxième parties de ce cours, en découvrant l'émagramme, qui décrit l'état de l'atmosphère, et en l'exploitant à l'aide des lois « adiabatiques ». Les radiosondages, qui permettaient le tracé de l'émagramme, sont de plus en plus abandonnés par les vélivoles, au prétexte qu'ils présentent 2 défauts majeurs. Premièrement, ils ne sont produits que 2 fois par jour, en général à minuit et à 13 ou 14 heures locales, ce qui induit pour le sondage de minuit, une possibilité d'erreur assez grande en cas d'évolution météo rapide; et rend le sondage de 13 ou 14 heures particulièrement tardif ! Deuxièmement, le lieu du radiosondage peut être fort éloigné du site de vol, ce qui peut conduire à une prévision parfois fantaisiste ! Aussi, la simulation numérique de ces radiosondages disponibles en tout lieu à des pas horaires courts, s'est-elle imposée avec succès, l'avènement d'internet favorisant l'accès à ces données.

2 Les modèles numériques.

2.1 Principe.

Ce sont des programmes informatiques qui, s'appuyant sur des équations thermodynamiques complexes, et partant de *données météo initiales* récupérées un peu partout dans le monde, sont capables de décrire un état thermodynamique de l'atmosphère par anticipation sur un domaine donné. Ce domaine peut couvrir la surface du globe terrestre, pour les modèles dits globaux, ou une surface plus restreinte pour les modèles dits régionaux.

Les données initiales : Elles proviennent de données terrestres s'appuyant sur un réseau de près de 10000 stations météo, complétées par des observations maritimes (bateaux, bouées). S'y ajoutent 400 radiosondages journaliers, des observations aériennes et satellitaires. Toutes ces données décrivent donc l'atmosphère terrestre à un instant donné. Cet instant est *l'état initial de l'atmosphère*, et il est le point de départ de *tous les calculs* de prévisions.

La zone géographique couverte par le modèle est découpée en carrés, dont le côté, pouvant aller de quelques centaines de mètres à plusieurs dizaines de kilomètres, est appelée la « maille ». A chacun de ces carrés est ajoutée une dimension verticale qui en fait un cube, la hauteur de chaque cube avoisinant la centaine de mètres. Plusieurs dizaines de cubes sont empilés verticalement, et couvrent la partie de l'atmosphère dans laquelle on souhaite faire des prévisions. La Fig.1 montre la couverture virtuelle en volume d'un modèle numérique

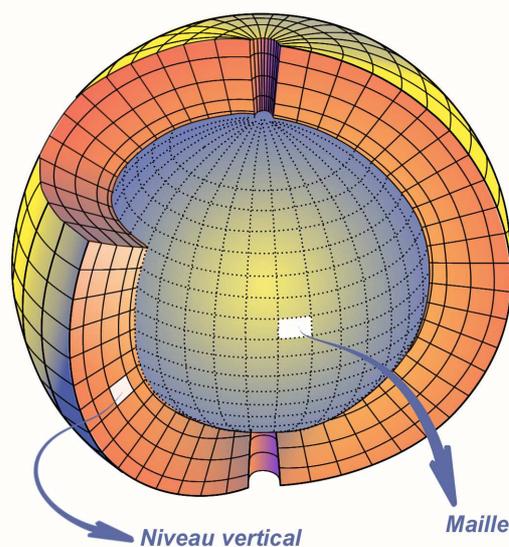


Fig.1 Principe de la couverture spatiale de l'atmosphère par un modèle numérique global.

global. Pour un modèle dont la maille fait environ 100 km de côté, il faut compter quelque 5 millions de cubes, et résoudre pour chaque cube une multitude d'équations thermodynamiques. Actuellement, ces modèles atteignent une très grande complexité, et sont sans cesse améliorés par de nouvelles méthodes de calculs (calcul spectral, grille gaussienne,...). La chaîne-type (très simplifiée) de calculs d'une prévision météo, peut se concevoir comme sur la Fig. 2.

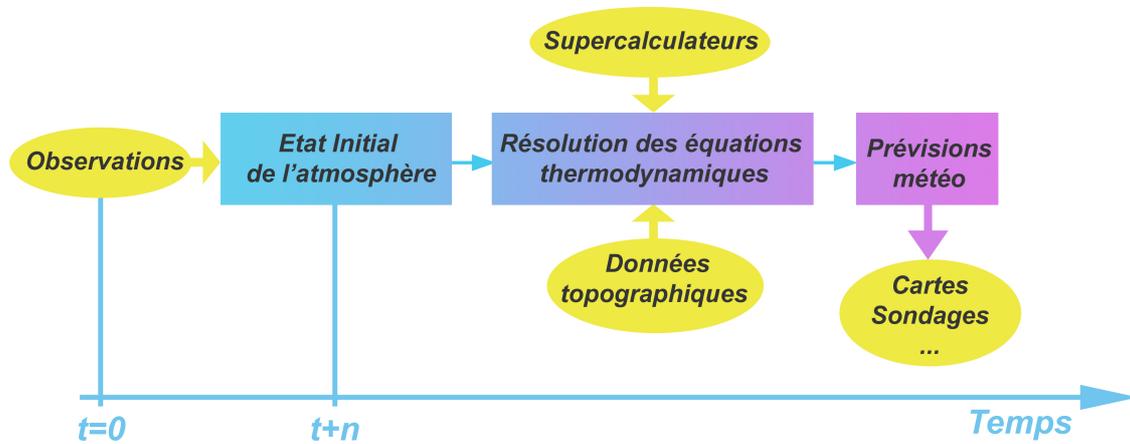


Fig.2 Schéma de principe d'un modèle numérique de prévisions.

Les mises à jour des modèles numériques sont appelées des « run ». En général, pour les modèles dont nous parlerons ultérieurement, ils ont lieu 4 fois par jour.

2.2 Résolutions spatiale et temporelle.

Les *modèles à large maille* (plusieurs dizaines de km de côtés), sont en général utilisés pour les prévisions à échéance de 7 à 10 jours maximum. Les résultats sont obtenus avec des pas de temps de l'ordre de 3 heures. Ils rendent compte uniquement des phénomènes météorologiques de grande ampleur tels subsidence, anti subsidence, fronts, amas nuageux..., en faisant fi des phénomènes météorologiques locaux.

A l'inverse, les *modèles à maille fine* (de l'ordre de quelques km de côtés) délivrent des prévisions à court terme de quelques heures à 1 ou 2 jours maximum, mais en traduisant au mieux les phénomènes atmosphériques de petite échelle : orages, précipitations, couche convective, brise, etc. Ils ont l'intérêt de présenter des résultats avec des pas de temps très courts, en général d'une heure voire moins. Ces modèles « fins » dépendent entièrement des modèles « grossiers » qui leur fournissent pour démarrer des données « prédigérées ». Ce qui signifie qu'une mauvaise prévision du modèle global sera « régionalisée » par le modèle plus fin.

La résolution spatio-temporelle des modèles dépend donc des phénomènes dont il doivent rendre compte et de leur durée de vie.

2.3 Les Modèles Numériques de Terrain (MNT).

Les modèles numériques de terrain sont constitués d'un ensemble de données décrivant une surface en 3 dimensions. Ils sont utilisés dans de nombreuses applications : systèmes d'informations géographiques (SIG), modélisations de crues, d'avalanches, etc. Tout le monde a connaissance, peu ou prou, de l'influence du relief sur les phénomènes météorologiques, que ce soit sur les températures (inversions de fond de vallée, ...), les précipitations (pluies sur le versant au vent du relief : Jura français, Préalpes suisses,..) ou la circulation du vent (effet Venturi de la vallée du Rhône sur le

Mistral, ...). C'est pourquoi tous les modèles numériques de prévisions utilisent des données topographiques plus ou moins précises. Afin d'avoir des temps de calculs acceptables, les MNT sont sans exception simplifiés, avec pour effet, un « lissage » de leurs courbes. Les sommets des montagnes sont arasés, les fonds de vallée comblés. La Fig.3 montre le principe du lissage d'un relief.

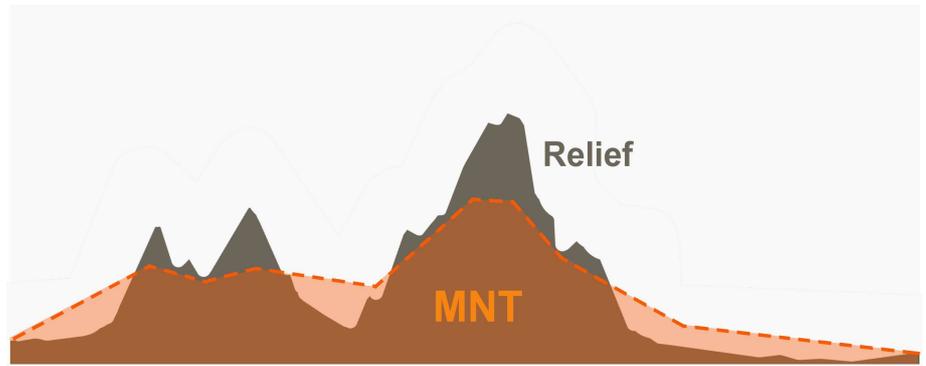


Fig.3 Principe du lissage du relief par un MNT

Les modèles globaux qui n'ont pas vocation de fournir des informations à petite échelle, et pour conserver, comme on vient de le dire, des temps de calculs raisonnables, n'utilisent que des MNT à faible résolution.

La représentation topographique sur des mailles de taille importante (plusieurs dizaines de km) est volontairement écrasée, et au final vallées profondes et sommets élevés disparaissent pour laisser place à une sorte « d'œuf au plat » (Fig.4).

Les modèles régionaux travaillent sur des MNT bien plus précis. En 2009, le modèle régional WRF-NMM, dont nous parlerons dans un paragraphe ultérieur, reposait sur un MNT de « maille » 30 secondes d'arc, soit environ 1 km de côté, permettant une meilleure précision sur les écoulements de l'atmosphère au voisinages de reliefs élevés. Cependant ces modèles sont également « lissés » et « gomment » des niveaux de détails encore trop important, pour nous libéristes.

A titre d'exemples, les Fig.5 et 6 montrent un même relief, « Texada Island » près de Vancouver, avec une résolution respective du MNT de 30'' d'arc (soit 900x900 m) et 2' d'arc (3,6x3,6 km). Le MNT du modèle GFS 1°, que l'on utilise pour nos

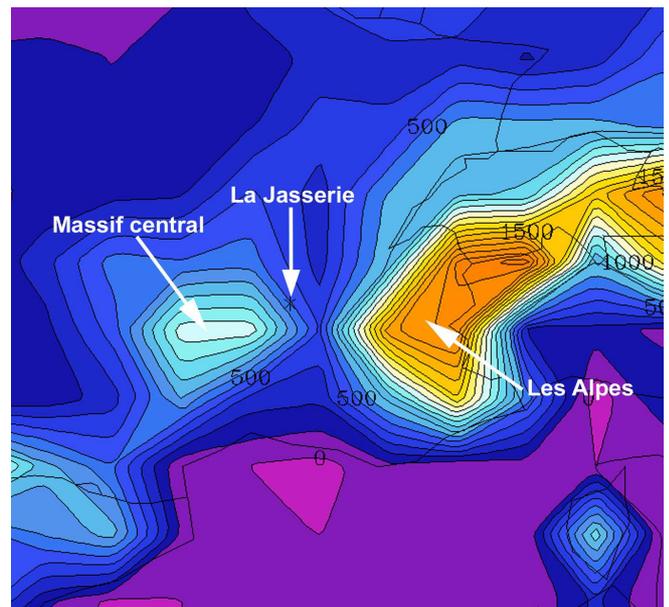


Fig.4 Le relief des Alpes et du Massif central vu par le modèle GFS. L'élévation entre 2 courbes de niveau doit être de 100 m.

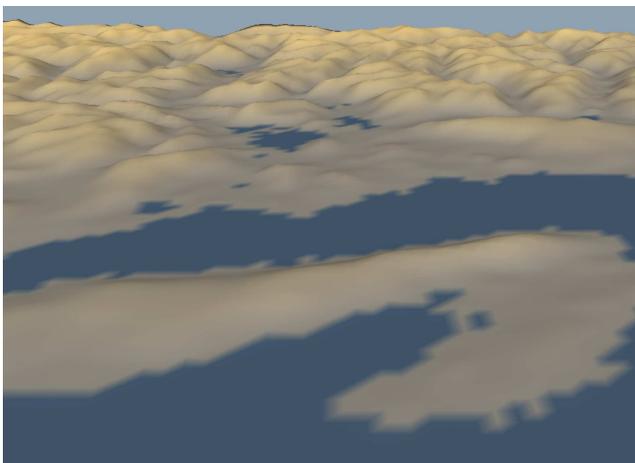


Fig.5 Relief vu par un MNT de 30'' d'arc (900x900m).

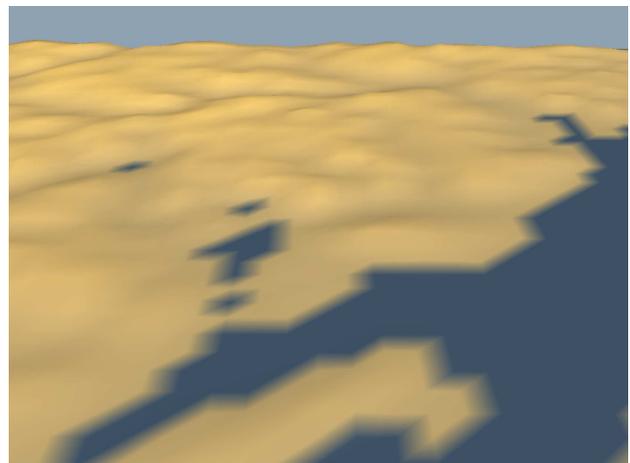


Fig.6 Le même relief vu par un MNT de 2' d'arc (3,6x3,6 km) sous un angle un peu différent.

émagrammes, est encore plus grossier que celui utilisé pour la Fig.4 ! On en reparlera aux paragraphes 2.4.1 et 5.1.

2.4 Les principaux modèles numériques de prévisions météo.

Nous occulterons volontairement les modèles très précis de Météo France (AROME, ARPEGE et ALADIN), inaccessibles au grand public^A, et présenterons dans ce paragraphe, les 2 principaux modèles. Un modèle global, le GFS, et un modèle régional, le WRF, tous deux très utilisés par nombre de prévisionnistes, professionnels comme amateurs, et gratuits pour tous.

2.4.1 GFS.

Le modèle GFS, ou **Global Forecast System** (Système de prévision globale), est le fruit de la coopération de plusieurs organismes américains (**NOAA, NCEP, NWS**).

Il calcule ses prévisions météo avec des mailles au sol allant de 0.5° à 2.5° d'arc en latitude et longitude, et découpe verticalement l'atmosphère en une soixantaine de niveaux.

L'émagramme que nous avons évoqué dans les cours précédents, était un émagramme GFS obtenu à partir du site **Air Resource Laboratory** (ARL). Ce dernier n'utilise que le GFS à maille de 1° d'arc en latitude et longitude, ce qui fait que ses dimensions ne sont pas carrées mais rectangulaires et valent 111x 77 km^B. Sauf erreur de ma part, le MNT qu'il utilise actuellement, posséderait une résolution de 0,2° d'arc, soit des mailles d'environ 22 km de côté. C'est ainsi que les Montagnes Rocheuses aux USA, s'élevant à près de 5000 m, sont « tronçonnées » à 3800 m par le modèle. Nous verrons plus loin, le résultat pour le massif du Pilat.

Le pas temporel du modèle est de 3 heures pour les prévisions à 3 jours, et de 12 heures pour les prévisions à 12 jours. Pour les horaires d'hiver, les heures locales d'obtention du sondage calculé sont : 10-13-16-19 heures. Pour l'heure d'été : 11-14-17-20 heures.

2.4.2 WRF.

C'est un modèle récent, conçu par divers organismes américains (**NCAR, NCEP,...**) aidés de nombreuses universités. Il se différencie du GFS, par le fait qu'il prend en compte les accélérations verticales de l'atmosphère, et est ainsi bien adapté aux pronostics sur aire limitée, avec en particulier la prévision des orages violents.

Il intègre des données concernant les types de sols, la fraction végétale, l'**albédo**, et parvient à rendre compte des effets du relief et des cours d'eau.

Comme il est « **open source** », des versions « locales » tournent chez des amateurs avec des « mailles » inférieures à 2 km et un pas temporel allant de 1 heure à un quart d'heure.

Les prévisions météo obtenues à partir du modèle WRF se retrouvent sur le Net avec différentes « mailles » spatiales allant de 0.5 à 0.05°, soit respectivement 55 et 5 km.

2.5 Les limites des modèles numériques.

Quel crédit peut-on accorder aux modèles numériques ?...Eh bien tout dépend de ce que l'on

^A Une compétition importante à St Hilaire a cependant bénéficié d'émagrammes provenant de ces modèles à maille très fine (AROME 2.5 km).

^B 1° d'arc en latitude vaut 111 km, pour avoir 1° d'arc en longitude il faut multiplier par $\cos 45^\circ$ à nos latitudes soit 0,7. Ce qui fait 77 km.

attend d'eux !

Pour ce qui est des prévisions météo à l'échelle d'un pays (modèles globaux), et à condition que l'on reste dans du court terme (moins de 7 jours), elles sont assez bonnes. Néanmoins, elles restent sujettes avant tout à la description de l'état initial de l'atmosphère, servant de point de départ à tous les calculs. Il faut savoir que les observations météo à l'échelle planétaire sont toujours incomplètes, car de nombreuses et vastes zones restent à l'abri de tout instrument de mesures (océans, déserts,...). De plus, sur l'ensemble des valeurs collectées, certaines sont entachées d'erreurs, d'autres aberrantes; et il faut faire intervenir l'expertise humaine afin de réaliser de nombreux ajustements. De fait, une très petite erreur se glissant au départ du calcul, peut se voir amplifiée de manière très importante en fin de chaîne. C'est l'**effet papillon**. Cet effet est également possible sur les modèles régionaux, dont les données initiales proviennent en partie des modèles globaux.

Limites spécifiques aux modèles globaux :

- manque de précision au niveau des basses couches dans un environnement à relief prononcé,
- tendance à uniformiser, au niveau du vent, une région à relief peu élevé.
- erreurs possibles (vitesse et direction du vent), partout où le modèle s'éloigne de façon significative de l'élévation réelle.

A l'échelle locale, les derniers modèles numériques régionaux à maille kilométrique, fournissent de bonnes prévisions quant aux caractéristiques physiques de la masse d'air à court terme (1 à 2 jours maxi). Ils intègrent, outre un MNT précis (quelques centaines de m), des données concernant l'occupation des sols (forêt, lacs, rivières, villes, enneigement, rochers, albédo, ...). Cet apport se traduit par de meilleures performances sur les prévisions de température. Néanmoins, les prévisions de vitesse et direction du vent peuvent encore présenter des erreurs. Afin que celles-ci soient les plus faibles possibles, et que les écoulements atmosphériques collent au plus près de la réalité, chose toujours complexe dès que l'on tient compte des vallées et montagnes, il faut utiliser des modèles numériques à très faible maille spatiale (hectomètre) et un MNT très précis (une centaine de m). Ces modèles sont en général réservés aux universitaires et aux chercheurs.

Limites spécifiques aux modèles régionaux :

- Si la prévision des modèles globaux qui leur servent de départ est erronée, elle sera répercutée.
- les modèles à maille kilométrique négligent encore certains effets locaux (brises).
- les modèles les plus précis (maille hectométrique) sont encore inaccessibles au grand public, et on peut regretter leur faible étendue géographique.

3 A la bonne heure.

Il conviendra lors de l'exploitation de quelque émagramme que ce soit, de prêter une attention toute particulière aux heures qui y sont mentionnées, sous peine d'avoir une prévision erronée. En effet, que ce soit pour la lecture d'un sondage calculé, ou d'un tableau rassemblant des températures attendues, chaque site météo adopte un « temps » qui lui est propre, heure locale, universelle, accompagné de codes plus ou moins abscons.

Les principaux codes que vous serez susceptibles de trouver sont listés et décryptés ci-dessous :

CET : *Central European Time*. C'est l'heure locale d'hiver. Equivalent à UTC+1. Exemple : 7h CET est équivalent à 6h UTC.

CEST : *Central European Summer Time*. C'est l'heure locale d'été. Equivalent à UTC+2. Exemple : 19h CEST est équivalent à 17h UTC.

GMT : *Greenwich Mean Time*. Temps moyen de Greenwich. C'est l'heure moyenne solaire à

l'observatoire de Greenwich en Angleterre (près de Londres). L'heure GMT est équivalente à l'heure TU.

TAI (1967) : Temps Atomique International. Il est basé sur les indications d'horloges atomiques fonctionnant dans divers établissements. L'unité est la seconde.

UT ou TU : Temps Universel. Échelle de temps liée à la rotation diurne de la Terre, ce qui induit donc une légère variation dans le temps.

UTC (1984) : Universal Time Coordinated (Temps Universel Coordonné). C'est, en fait le temps atomique international (TAI) décalé d'un nombre entier de secondes.

ZULU : C'est un temps employé en aéronautique, et équivalent à UTC. Exemple : 12Z est équivalent à 14h en été, et 13h en hiver.

Vérifiez donc bien sur la page de l'émagramme demandé, que vous avez l'heure souhaitée !

4 Utilisation de GFS 1° pour le massif du Pilat.

Ce modèle numérique dispensant un sondage très lisible a servi de support aux 2 premières parties des cours I et II sur les émagrammes. Nous allons voir dans ce chapitre comment l'utiliser à des fins prédictives pour le massif du Pilat.

4.1 Mode opératoire.

Pour savoir comment obtenir l'émagramme de la Jasserie à partir du site ARL, nous vous renvoyons au document « L'émagramme en toute simplicité » Partie II du même auteur.

4.2 Rappels.

Pour ceux qui l'auraient oublié, la Fig.7, montre les principales « lignes-repères » qui sillonnent l'émagramme du NOAA.

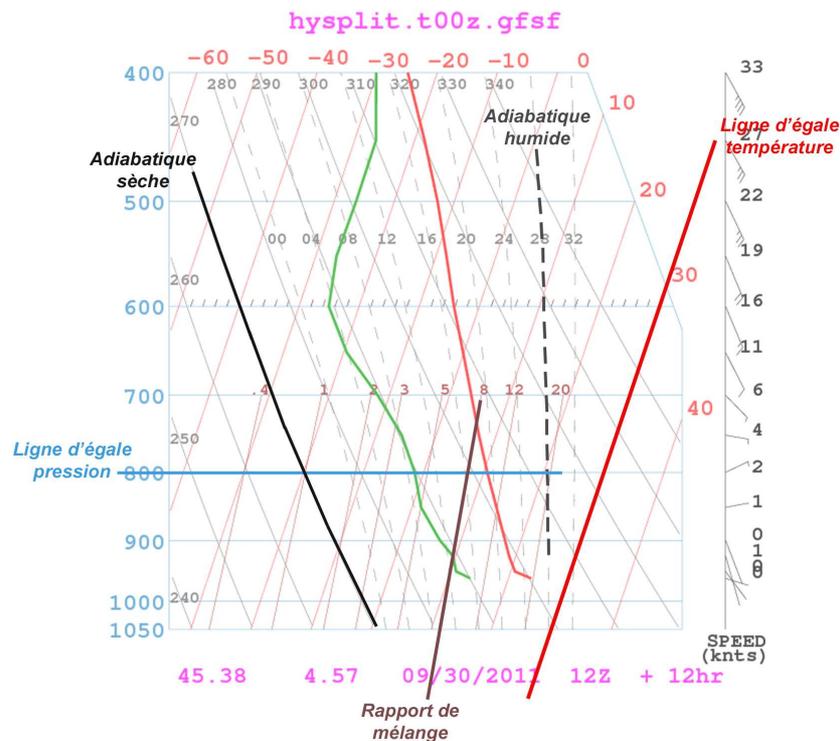


Fig.7 Lignes-repères de l'émagramme GFS 1°.

Pour les curieux, et à titre *informatif seulement*, la Fig.8 vient compléter tout ce que nous avons déjà vu sur cet émagramme du NOAA. On y découvre 2 rangées de nombres dont nous n'avions pas parlé. La rangée la plus haute, correspond à des températures « potentielles », exprimées en **kelvin** et cotant chaque adiabatique sèche. La rangée située en dessous correspond à des « températures pseudo adiabatiques du thermomètre mouillé ». Elles cotent chaque ligne pseudo adiabatique, et sont exprimées en °C. *Ces notions ne seront pas abordées dans ce document car complexes.*

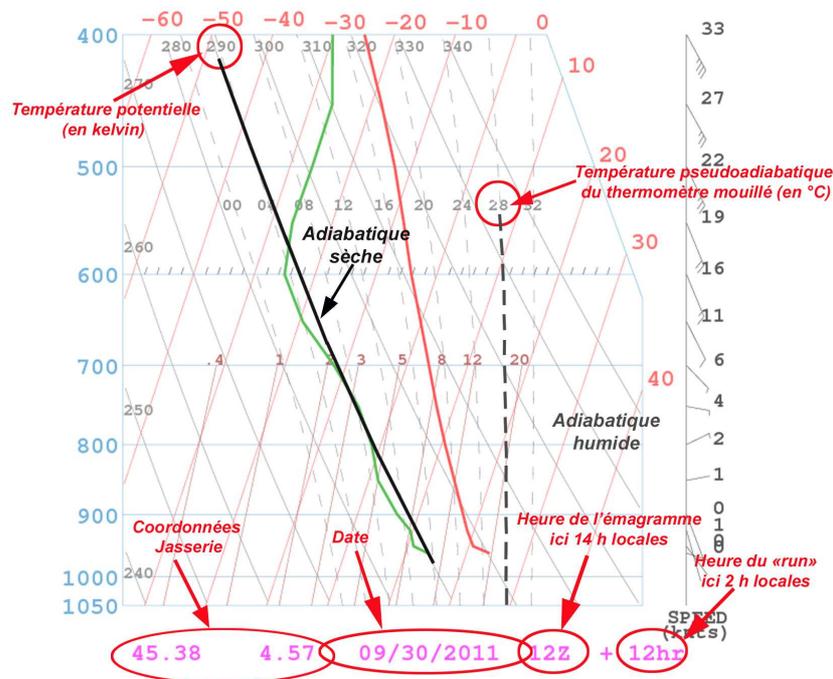


Fig.8 Les derniers éclaircissements.

Nous avons également décrypté la dernière ligne de l'émagramme, (couleur magenta), avec coordonnées centésimales (Latitude et longitude) du lieu de l'émagramme, la date (à l'américaine : MM/JJ/AA), l'heure de la prévision (en UTC, rajouter 1h l'hiver, 2h l'été) et l'heure du « run ».

4.3 Application du modèle au site de la Jasserie.

4.3.1 Le MNT de GFS.

Comme nous l'avons évoqué au § 2.3, son modèle de terrain est des plus simpliste. Pour vous en persuader, la Fig.9 montre comment ce modèle voit le massif du Pilat, et c'est pour le moins inattendu ! Une coupe « ouest-est » a été réalisée sous Google Earth, entre les bourgs de Tarentaise et de Pélussin, en passant au plus près du décollage de la Jasserie et de l'Oeillon est (couleur bleue).

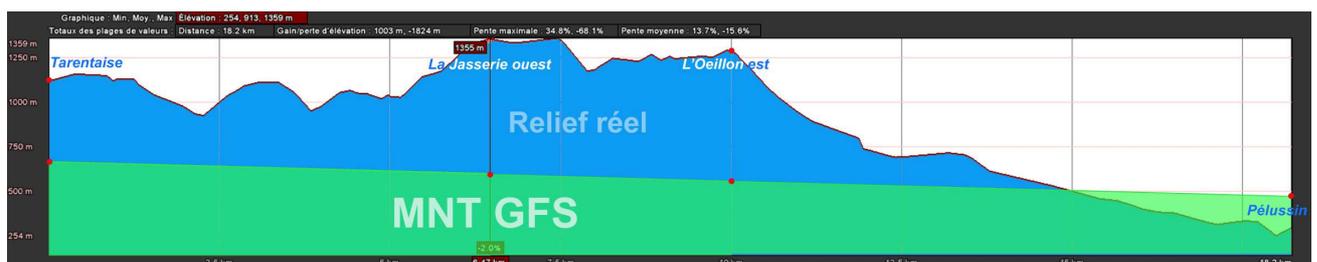


Fig.9 Le massif du Pilat vu par le MNT de GFS (partie verte).

Le relief vu par le modèle GFS est la plate-forme de couleur verte en pente douce, d'altitude voisine de 650 m à hauteur de Tarentaise et de 500 m vers Pélussin.
 Les altitudes réelles de ces bourgs sont respectivement de 1087 m et de 420 m. Ce laminage du relief induit de fait sur l'émagramme un départ des courbes d'état et de rosée à un point *bien plus bas qu'attendu*. C'est-ce que nous allons développer dans le paragraphe suivant.

4.3.2 La méthode.

Afin de tenir compte du problème évoqué ci-dessus, le but va être de trouver une méthode fiable, simple à mettre en œuvre, pour tirer la « substantifique moelle » de notre émagramme local, et bien sûr vérifier qu'elle fonctionne correctement. Face aux reliefs variés du massif du Pilat et à l'extrême simplification de ceux-ci par le modèle GFS, il ne subsiste pour régler le problème que l'**empirisme**, méthode largement utilisé par les prévisionnistes du vol libre.
 Prenons par exemple l'émagramme^A pour le site de la Jasserie du 10 mars 2011 13 heures locales (Fig.10).

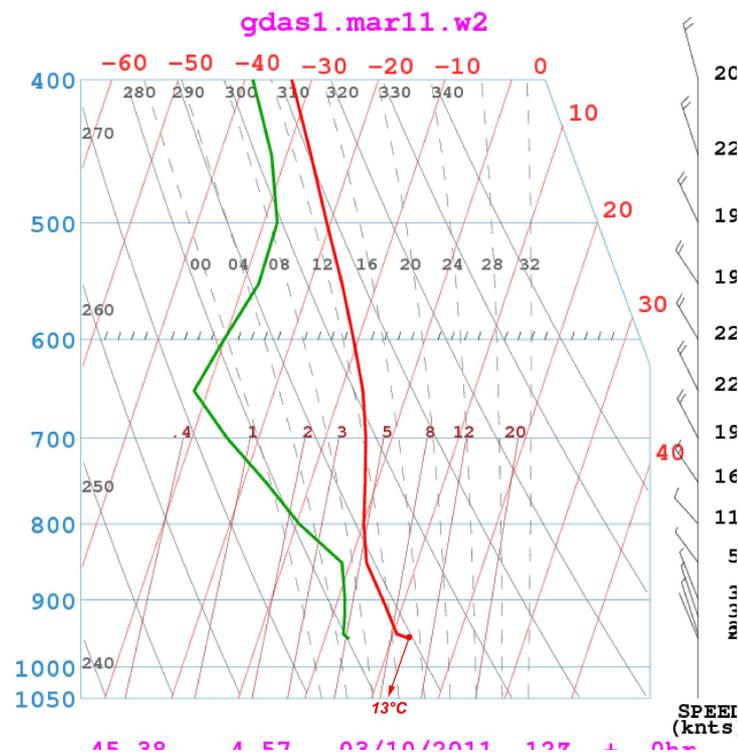


Fig.10 Emagramme GFS du 10/03/2011 Jasserie

Nous y avons noté la température du point de départ de la courbe d'état (13°C). L'altitude de départ des courbes est de 560 m. Traçons une *ligne de décollage virtuelle*, à l'altitude de 1000 m soit 900 hPa (Fig.11). Cette altitude a été choisie arbitrairement.
 Quelle devra être la température au décollage placé à 1000 m?... C'est la question essentielle ! Nous y consacrerons un développement ultérieur.
 En attendant voici comment la calculer. On prend la température du point de départ de la courbe d'état, en bout de suradiabatique. Elle est de 13°C, rappelons-le.

^A Emagramme d'archive

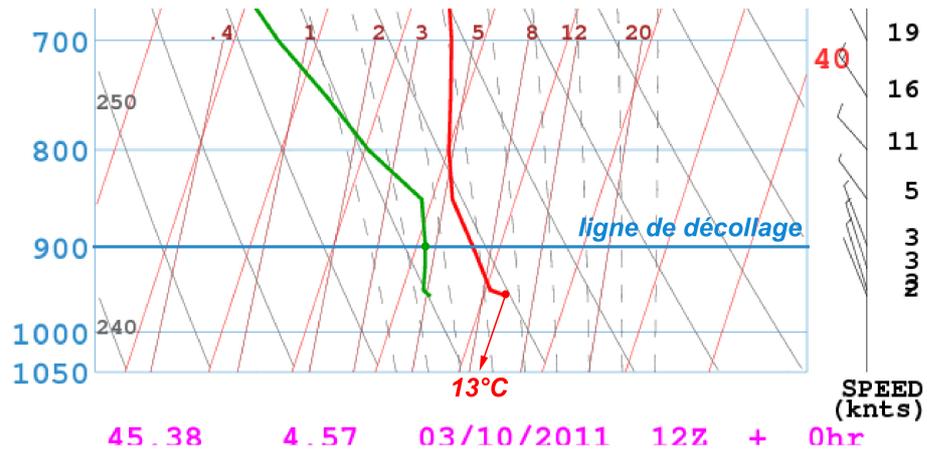


Fig.11 Positionnement de la ligne de décollage virtuel.

On lui retranche 3°C (Explication § 4.3.3.1), ce qui fait **10°C**. C'est la température que nous allons porter sur la ligne bleue (Fig.12), et qui servira d'origine à notre construction géométrique.

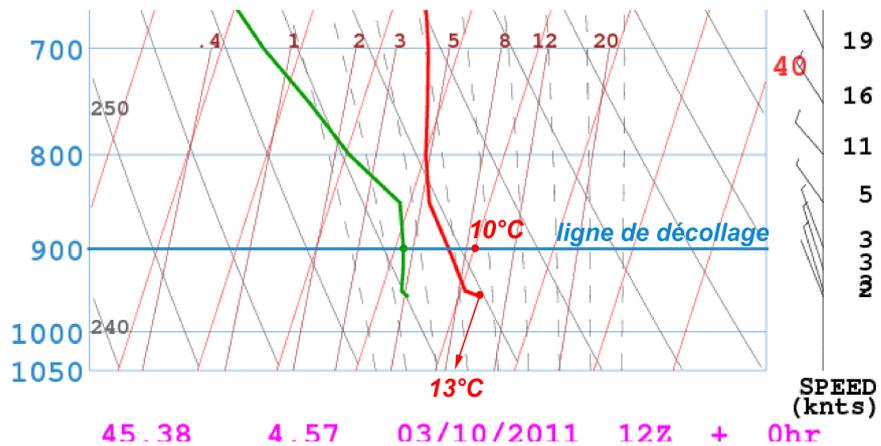


Fig.12 Positionnement de la température sur la ligne virtuelle.

La température de notre parcelle d'air étant supérieure à celle de l'air qui l'entoure, elle s'élève en suivant une parallèle à l'adiabatique sèche (Fig.13).

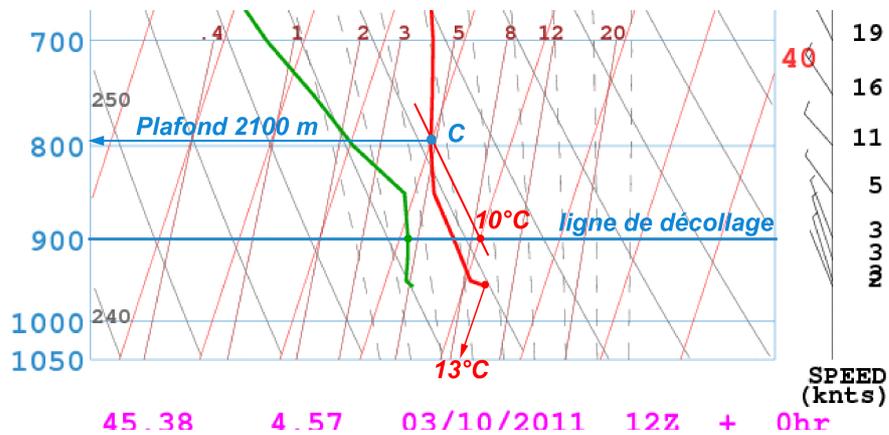


Fig.13 La construction géométrique et l'estimation du plafond.

Elle s'arrête lorsqu'elle rencontre la courbe d'état en C, sa température étant identique à celle de l'air

environnant, c'est notre « plafond ». Le reste de la démarche, ...condensation ou pas ?...fait partie des notions ayant déjà été développées ultérieurement, et que vous devriez savoir faire. Inutile de s'y attarder.

La *prévision des ascendances* et le calcul du *plafond théorique* pour le site de la Jasserie est donc une démarche simple demandant un faible investissement en temps.

En résumé :

- Tracer une ligne virtuelle de décollage à 900 hPa sur l'émagramme (Fig. 14).
- Lire la température T_1 au départ de la courbe d'état.
- Retrancher 3°C pour aboutir une température T_2 .
- Positionner cette température sur la ligne virtuelle de décollage.

Procéder ensuite au travail connu de recherche du *plafond théorique* (...élévation de T_2 le long d'une « adiabatique sèche » (ligne rouge en pointillé) à la recherche du point d'équilibre avec la courbe d'état. C'est le point P... etc... etc...revoir la partie 2 de ce cours).

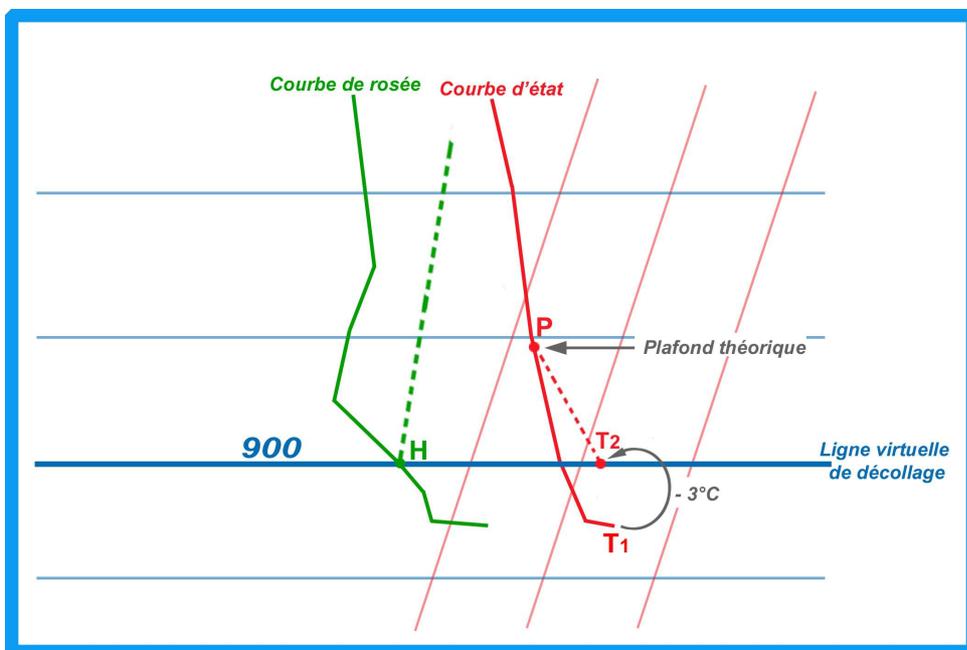


Fig.14 La méthode de prévision du *plafond théorique* pour le site de la Jasserie.

Avant de terminer ce paragraphe, il convient de mentionner que le modèle du NOAA décale les courbes d'état et de points de rosée, vers le haut pour une pression atmosphérique du jour inférieure à 1013 hPa et vers le bas pour une pression supérieure. Ceci signifie que les droites de même pression (900, 800, 700 hPa...) correspondent à des altitudes qui fluctuent en fonction de ladite pression^A. Ces décalages ne sont cependant pas d'une grande importance eu regard aux différentes imprécisions qui altèrent la détermination du *plafond théorique*.

Attardons-nous maintenant sur la notion importante de la prévision de température au décollage virtuel.

^A Un complément d'information est donné en Annexe 5

4.3.3 Prédiction de la température au décollage virtuel.

Plusieurs possibilités s'offrent à nous, car on peut partir du sondage GFS, comme nous venons de le faire, ou des prévisions des sites météo qui fleurissent sur la toile.

4.3.3.1 Les données GFS.

Le modèle GFS nous fournit donc une température « au sol », que l'on peut directement lire sur l'émagramme^A. On remarquera, dans le cas de la Jasserie, qu'elle correspond à l'altitude du MNT à cet endroit, soit 560 m. Il convient donc d'effectuer une extrapolation de cette température pour le niveau virtuel de 1000 m. Pour ce faire, on calcule la différence d'altitude entre la ligne virtuelle de décollage (1000 m) et celle du relief modélisé (560 m), ce qui fait 440 m. On applique un abaissement *standard* de température de 0,65°C/100 m soit : $(440 \times 0,65) / 100 = 2,9^\circ\text{C}$ arrondi à 3°C. La température au *décollage virtuel* de la Jasserie devient :

$$\text{Température au décollage virtuel} = \text{Température au sol du modèle} - 3^\circ\text{C}$$

D'aucuns feront remarquer, à juste raison, que l'abaissement de la température devrait plutôt être proche de celui de la courbe d'état et donc à chaque fois différent. Dans le cas de la journée du 10 mars, il serait d'environ -1°C/100 m. Mais outre le fait qu'il faille à chaque fois estimer la pente de la courbe d'état, ce qui complique les choses, il faudrait aussi tenir compte de toutes les spécificités locales : état de surface, albédo du sol, turbulences, vallées... en n'oubliant pas non plus que les sols en altitude se réchauffent plus rapidement que les sols en plaine, à *latitude égale* s'entend. Rajoutons aussi, et c'est important, que les modèles ne rendent compte de la réalité que de manière approximative. Vous l'aurez compris, il vaut mieux jouer la mélodie de la simplification, c'est pourquoi l'abaissement de température qui intervient dans le calcul de la prédiction de température au *décollage virtuel* de la Jasserie, suit un état moyen de l'atmosphère (perte de 0,65°C/100 m d'élévation). Les résultats de cette méthode semblent corrects, ils seront commentés plus loin.

4.3.3.2 Les sites météo.

Le site le plus près de la Jasserie, et pour lequel on peut obtenir des prévisions de température, est le bourg du Bessat (Code postal 42660). Il est situé à 4,5 km de notre site d'envol, à l'altitude de 1170 m. Pour avoir la température à l'altitude de décollage virtuel de 1000 m, on peut appliquer une perte égale à celle du gradient standard, ce qui fait $0,65 \times 170 / 100 = 1,1^\circ\text{C}$, soit environ 1°C que l'on soustraira de la valeur prévisionnelle donnée par le meilleur site.

Cinq sites météo gratuits ont été testés.

- MétéoBlue (<http://www.meteoblue.com>) : Sous l'onglet « Prédiction » cliquez sur « Détail ». Sept températures s'affichent avec un pas temporel de 3 heures. Les heures sont des heures CET l'hiver, CEST l'été (Cf. chapitre 3).
- MétéoConsult (<http://france.meteoconsult.fr>) : Utilise le NOAA et le Centre Européen de

^A On peut également lire cette température sur l'émagramme « texte » en cliquant l'option *Text Only* au lieu de *Graphic and Text* sur la page « Change Default Model Parameters and Display Option ».

Prévisions (CEP). Une seule température est fournie pour l'après-midi (parfois 15 h ou 16 h locales).

- Météorologic (<http://www.meteorologic.net>): Après obtention de la page de prévisions du Bessat, cliquez en bas de page sur le lien suivant : « Météo heure par heure pour Le Bessat ». La nouvelle page qui s'affiche propose des prévisions horaires de température, découlant du modèle WRF à maille fine de 8/9 km. Les heures sont UTC.
- MétéoFrance (<http://france.meteofrance.com>) : Pour le Bessat une seule température prévue vaguement « dans l'après-midi » !... le service public prend l'eau !
- Météociel : (<http://www.meteociel.fr>) : Huit températures prévues pour la journée au pas temporel de 3 heures (Base GFS réactualisée toutes les 6 heures).

La fiabilité des températures prévues par ces sites météo sera discutée dans le paragraphe suivant.

4.4 Fiabilité de la méthode et perspectives.

Nous allons essayer de savoir si la méthode semi-empirique proposée est valable, et si on peut se fier aux températures et aux profils distillés par le modèle GFS.

4.4.1 Plafond théorique/plafond obtenu.

« Il n'y a pas de *méthode vraie* mais uniquement une *méthode* dont on dispose à un moment donné et en attendant mieux... ».

Trop peu de pilotes tiennent un carnet de vol, et il n'a pas été possible de sélectionner un nombre suffisant de données autorisant une étude plus sérieuse. Qui plus est, sur les vols retenus, il manque cruellement de détails tels que l'heure du plafond, le lieu exact, le vent, ... Nonobstant, huit journées^A de vols effectués au cours de l'année 2011, une au cours de 2010, et une en 2012, m'ont permis de recueillir des « plafonds » atteints par des pilotes sur le site de la Jasserie dans l'espoir de montrer une relation entre le plafond calculé et le plafond obtenu. Les émagrammes (GFS 1° 12Z) de ces journées ont été récupérées dans les archives du site ARL^B. Sur chacun d'eux un « plafond théorique » a été calculé selon la méthode décrite au § 4.3.2. Ensuite, ces chiffres ont été introduits en tant que série statistique double dans un logiciel traceur de courbes^C. Le résultat montre un nuage de points ou chaque point est positionné en fonction des 2 valeurs « plafond théorique-plafond constaté » (Fig.15).

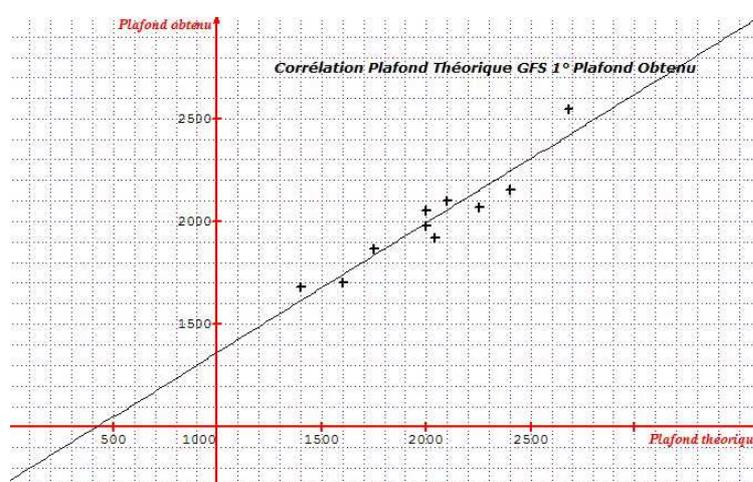


Fig.15 Corrélation « plafond théorique-plafond constaté » pour le site de la Jasserie.

^A Détaillées dans l'annexe 1.

^B <http://ready.arl.noaa.gov/READYamet.php>

^C Logiciel Sine Qua None <http://patrice.rabiller.pagesperso-orange.fr/>

La corrélation (positive) est forte, puisque le coefficient de corrélation est de 0,96, et que la droite coupe l'axe y à l'altitude d'environ 1400 m, qui est celle du décollage de la Jasserie, *ce qui validerait en partie, à la fois la méthode de calcul du plafond et le modèle numérique*. Il convient quand même de rester prudent, car des déconvenues sont toujours possibles.

Néanmoins, force est de constater que le modèle GFS 1°, bien que global, paraît apte à fournir (pour le site de la Jasserie) des profils aérologiques relativement conformes à la réalité, d'un point de vue stabilité/instabilité de la masse d'air. Les autres aspects, couverture nuageuse, force et direction du vent, ont été, faute de temps, laissés de côté.

Le pilote de vol libre sait qu'entre la rigueur scientifique et la boule de cristal, il y a tout un monde; et dans celui-ci, il y a aussi la place pour une méthode semi-empirique, avec tous les risques possibles de perturbations des prévisions, sous l'influence de paramètres qui ne manquent pas. Il sera probablement confronté à des résultats parfois fantaisistes, à des écarts plus ou moins importants, il n'empêche qu'il dispose désormais d'une méthode qu'il lui appartient de conforter en notant le plus souvent qu'il peut ses plafonds ainsi que les conditions de son vol. Cela permettra peut-être d'affiner la méthode et d'en cerner ses limites plus précisément. On peut toujours rêver de disposer à la fin de l'année 2012, d'une trentaine de journées de vol bien documentées concernant le site de la Jasserie.

4.4.2 Prévisions des températures.

Un abîme de questions s'ouvre devant nous. La température donnée par le modèle GFS pour le calcul du plafond à la Jasserie est-elle valable ? Quid de celles prévues par les différents sites météo pour le Bessat ? Quel est le meilleur site gratuit de prévisions ? Que faire des températures données par la balise de la Jasserie ? Existe-t-il des stations météo d'amateurs dans la région ?...

Nous allons essayer de répondre à certaines d'entre elles.

Il existe une *station météo amateur* au Bessat, publiant ses mesures en direct (toutes les 15 minutes) sur un site internet dont voici l'adresse : <http://vernay.damien.pagesperso-orange.fr/index.htm> . Cerise sur le gâteau, une webcam variant ses angles de prise de vues, permet parfois d'avoir une idée de l'état du ciel.

Mentionnons l'existence (hors saison hivernale) d'une *balise FFVL* implantée à la Jasserie sur un mât d'une dizaine de mètres, fournissant des mesures de température et de vent toutes les 20 minutes. On dispose donc de sources intéressantes de données concernant les températures, autorisant à la validation de certaines prévisions.

4.4.2.1 Validité des températures prévues par GFS.

La prévision de température au *niveau du MNT (560 m)*, constitue le socle de la méthode. Toute défaillance de cette dernière peut donc être néfaste. L'idéal serait de la comparer à postériori avec une température mesurée à même altitude et même position (latitude/longitude).

La chose est difficile. Cependant, l'existence d'une station météo amateur au Bessat, et d'une balise météo à la Jasserie, peut faciliter la démarche d'estimation de la justesse des prévisions de températures émises par GFS.

Le principe est donc simple et consiste à rechercher pour les 2 points géographiques susnommés, une corrélation entre la température prévue par GFS et la température mesurée en ces points.

L'annexe 2 détaille la démarche et les mesures, et montre qu'il existe bien une corrélation entre les températures lues sur l'égramme GFS et celles mesurées soit par la station amateur du Bessat, soit par la balise météo de la Jasserie.

En prenant un gradient de refroidissement de 0,65°C/100 m, « les droites de régression

orthogonale » montrent un écart de température entre *prévisions et mesures*, pratiquement égal à zéro pour le bourg du Bessat, et inférieur à 0,5°C pour le site de la Jasserie (Annexe 2). Nous pensons donc que les températures fournies par GFS sont aptes à servir de températures de départ pour notre méthode, et que le gradient standard de refroidissement (-0,65°C/100 m) que l'on a utilisé pour mettre au point la méthode, était le bon. La connaissance de la dispersion des prévisions de température par GFS, ne présente à mon avis, et pour l'instant, aucun intérêt. On se souviendra qu'en gros, un écart de 1°C entraîne en théorie un écart d'une centaine de mètres pour le sommet de la convection.

4.4.2.2 Validité des températures prévues par les sites météo.

Parmi les sites météo retenus (Cf. § 4.3.3.2), Meteoconsult, Meteorologic et Meteociel surestiment leurs prévisions de 1 à plus de 2°C. MétéoFrance les sous-estime d'environ 1,5°C (Voir Annexe 3). MétéoBlue est le site dont les prévisions se rapprochent le plus des mesures de la station du Bessat, avec une surestimation médiane de 1°C et une dispersion contenue (écart-type : 1,1), par rapport aux autres sites.

La prévision de température par MétéoBlue pour le Bessat pourra éventuellement convenir pour la détermination du plafond théorique à la Jasserie. Il suffira d'enlever 1°C à la température prévue et la reporter sur la ligne de décollage virtuel.

4.5 Application du modèle aux autres sites du Pilat.

Peut-on appliquer la méthode de calcul du plafond de vol basé sur le GFS 1° aux autres sites du Pilat ? La réponse mérite discussion, car la topographie des autres sites est bien différente de celle du site de la Jasserie. Auparavant, il paraît fondamental d'évoquer ici, même brièvement, la notion de couche convective.

4.5.1 La couche convective.

La *couche convective* est par définition la partie de la troposphère affectée par la surface terrestre. De quelle manière ? Eh bien par les effets radiatifs du sol qui subit durant la journée le rayonnement solaire. Le sol chauffé par le soleil transmet sa chaleur à l'air environnant qui s'élève (c'est la convection) de manière turbulente jusqu'à une certaine altitude pour atteindre l'équilibre thermique. L'air chaud qui s'est élevé est remplacé par de l'air froid, qui se réchauffera à son tour et ainsi de suite, tant que le soleil perdurera (Fig.16). Très souvent le haut de la couche est « marquée » par les polluants (poussières, pollen, microparticules organiques,...) lui donnant une couleur particulière. Selon les conditions d'humidité, des cumulus peuvent coiffer le sommet de la couche convective. L'épaisseur de la couche convective varie entre quelques centaines de mètres et 1 à 2 km

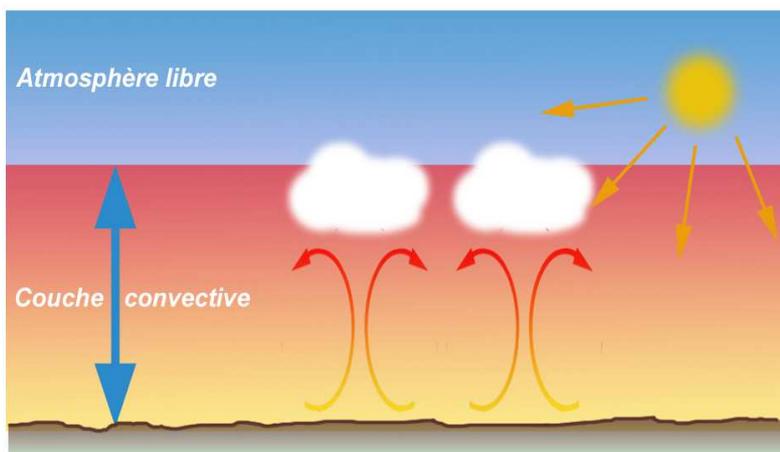


Fig.16 La couche convective.

tout au plus dans la journée. Elle est maximale en fin d'après-midi et est plus élevée en été qu'en hiver.

Le déroulement d'une journée estivale ensoleillée peut se résumer ainsi :

Au lever du soleil, la température du sol croît rapidement, et sa première action est de lever l'inversion nocturne de température, qui prend un certain temps selon son épaisseur. Celle-ci disparue, les phénomènes convectifs s'intensifient, la couche convective s'élève rapidement durant une période qui s'étend de la fin de matinée au début de l'après-midi. En cours d'après-midi la couche convective varie assez peu. En soirée la turbulence diminue puis cesse, laissant une couche homogène en température et humidité.

L'influence du relief sur la couche convective est prépondérante. Sur les pentes des montagnes, il n'existe pas d'inversion de température, l'air froid nocturne coule le long des pentes et se déverse, soit dans les fonds de vallées, soit dans les plaines adjacentes. C'est pourquoi, dès le lever du soleil, les pentes de montagnes s'échauffent plus rapidement donnant naissance à des thermiques précoces, tandis que les fonds de vallées doivent attendre que l'inversion de température disparaisse. En cours de journée, les vallées profondes offrant un volume faible à réchauffer, et une grande surface d'échange, s'échauffent davantage que les plaines dont les caractéristiques sont inverses (Cf. Fig.17). La couche convective est notre terrain de jeu, et bien la comprendre semble important !

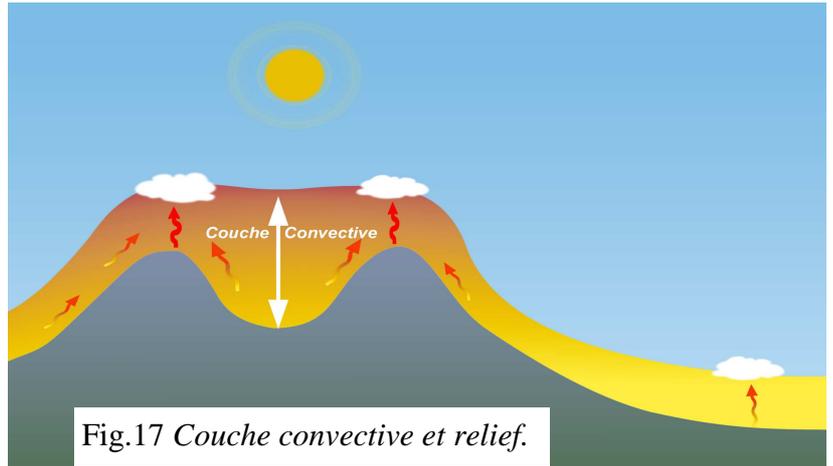


Fig.17 Couche convective et relief.

4.5.2 Site de l'Oeillon.

Il n'est situé qu'à 3,4 km de la Jasserie, dans la direction est-nord-est, et présente 2 décollages orientés au sud et à l'est. L'altitude est d'environ 1350 m. Sa caractéristique principale est que ce site fait face à la plaine du Rhône, et que la notion de couche convective évoquée plus haut prend toute son importance. On peut donc s'attendre à avoir un profil de couche convective en milieu de journée du type de la Fig. 18.

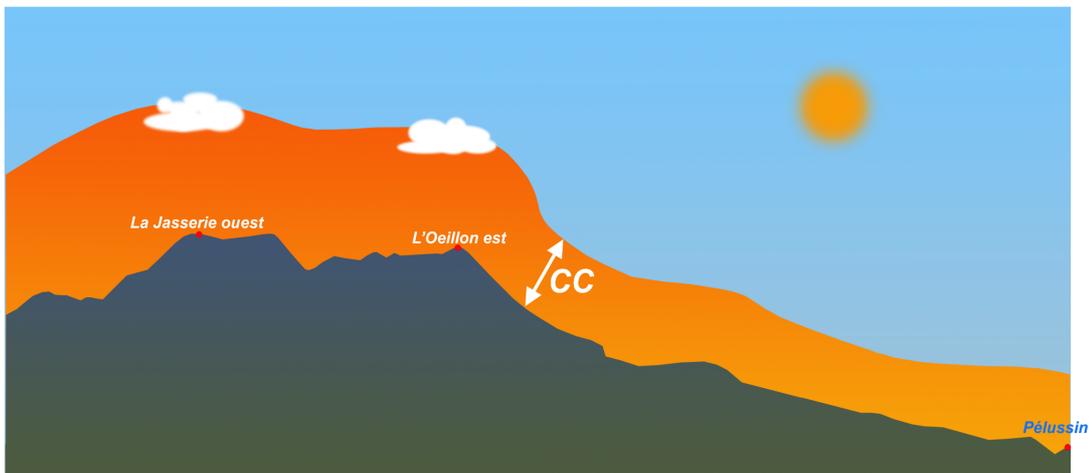


Fig.18 Couche convective au niveau de l'Oeillon. Coupe du massif du Pilat Est-Ouest.

Cette figure permet de comprendre que si l'on quitte le plafond à l'Oeillon en direction de Pélussin, on a toutes les chances de quitter aussi la couche convective, en la retrouvant cependant, mais bien plus bas. L'épigramme du NOAA peut parfaitement servir pour une estimation du plafond de vol. On gardera toutefois à l'esprit les remarques faites sur la couche convective.

4.5.3 Site du mont Ministre.

Site sud, très proche de la plaine du Rhône et peu élevé (765 m), la couche convective y sera rarement aussi épaisse qu'au massif du Pilat, pour les raisons évoquées au § 4.5.1. Demander l'épigramme pour ce site ne devrait pas entraîner un changement notable par rapport à celui de la Jasserie, le MNT de GFS plaçant le mont Ministre à 480 m d'altitude, au lieu de 560 m pour la Jasserie. Calculer un plafond pour ce site ne semble pas judicieux, d'autant qu'il fonctionne essentiellement en soaring.

5. Les autres modèles pour le massif du Pilat.

Un autre modèle numérique est susceptible d'être utilisé pour l'obtention d'un épigramme, il s'agit du modèle « régional » WRF.

5.1 WRF-NMM.

Le site Météociel (<http://www.meteociel.fr>) propose le sondage calculé WRF 0,05° à maille de 5 km. Le MNT de WRF serait, sauf erreur, de 30'' d'arc soit 1 km. *Le mode opératoire pour récupérer le sondage est expliqué en Annexe 4.*

La lecture de l'épigramme est un peu plus complexe que celle du GFS du NOAA, car la « grille » sur laquelle apparaissent les courbes d'état et de points de rosée est différente, et à mon avis, bien moins claire (Fig.19).

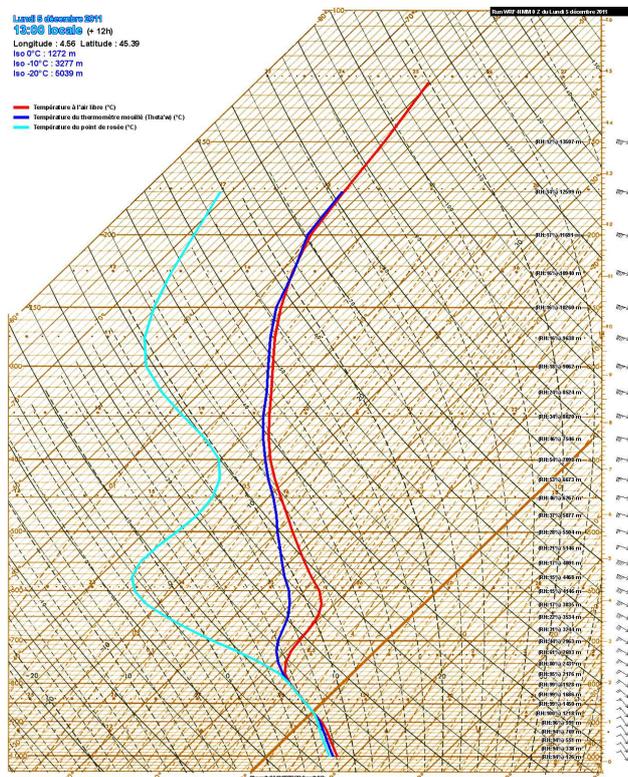


Fig.19 Emagramme WRF NMM 0,05°.

Il présente, par rapport à l'émagramme GFS du NOAA, des avantages et des inconvénients :

Avantages :

- Les courbes d'état et de points de rosée sont moins « lissées », et les inversions sont bien mieux marquées.
- Les lignes de même pression sont annotées en mètres (à droite), et corrigées en fonction de la pression du jour. Sur l'axe de droite, sont indiquées les altitudes vraies, en millier de mètres et par pas de 100 m.
- On peut lire sur les lignes de même pression, mais aussi à des niveaux intermédiaires, les valeurs de l'humidité relative (à droite).

Inconvénients :

- L'émagramme est « total » et s'étend de 1000 à 100 hPa. Contrairement à celui du NOAA, on ne peut « zoomer » sur une partie plus réduite du sondage (1000 à 400 hPa pour le NOAA) afin d'avoir plus de confort dans l'exploitation géométrique du graphique.
- Les vitesses du vent ne sont indiquées qu'à l'aide des barbules (le NOAA fournit en plus des valeurs numériques).
- La suradiabatique n'apparaît pas sur la courbe d'état. Il faudra donc récupérer la température à placer sur la ligne de décollage virtuel, sur un site de prévision météo (Voir § 4.4.2.2).

Le principe de l'exploitation du graphique tiré du modèle WRF, ne devrait pas être très différent de la méthode expliquée au § 4.3.2.

On remarquera que la courbe d'état démarre (pour le site de la Jasserie) à une cassure dont l'altitude est voisine de 900 hPa soit 1000 m. La partie en dessous (en violet) est appelée la « partie souterraine », englobée par le modèle numérique de terrain (Fig.20).

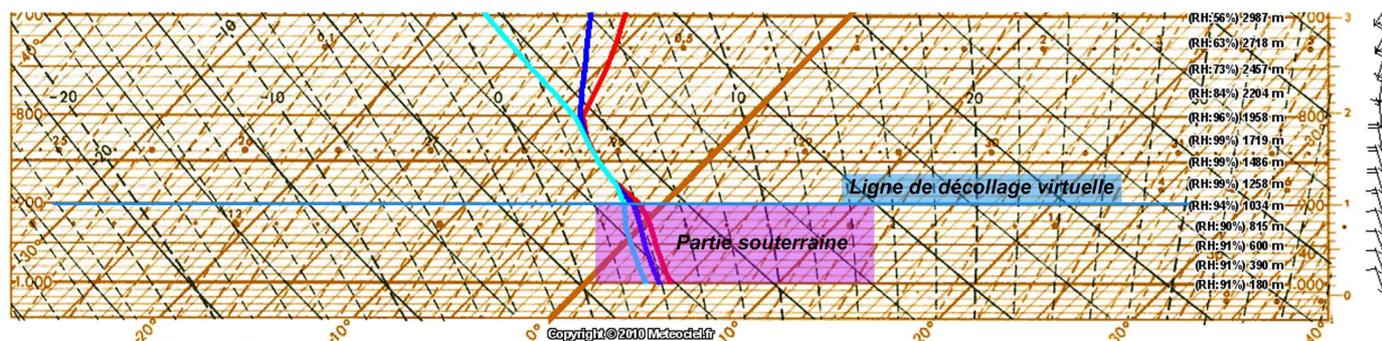


Fig.20 Exploitation du modèle WRF NMM 0,05°.

Notre ligne de décollage virtuelle sera donc positionnée au démarrage des courbes d'état et de rosée, à 900 hPa.

Cet émagramme n'a pas été utilisé à des fins de validation, et il ne peut l'être à posteriori car on ne dispose pas d'archives facilement accessibles pour ce modèle, contrairement à GFS.

Afin d'aider le lecteur qui souhaite utiliser ce modèle, il trouvera Fig.21 les repères utiles à son exploitation. Tout reste cependant à faire pour valider ce modèle dans ses applications au massif du Pilat.

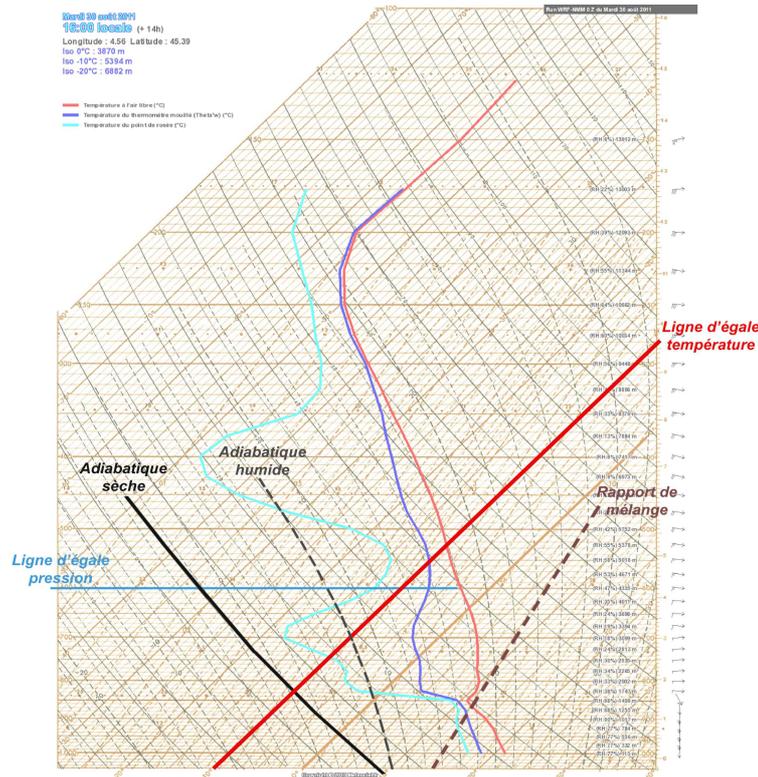


Fig.21 Lignes repères de l'émagramme WRF NMM 0,05°.

5.2 Les modèles des sites payants.

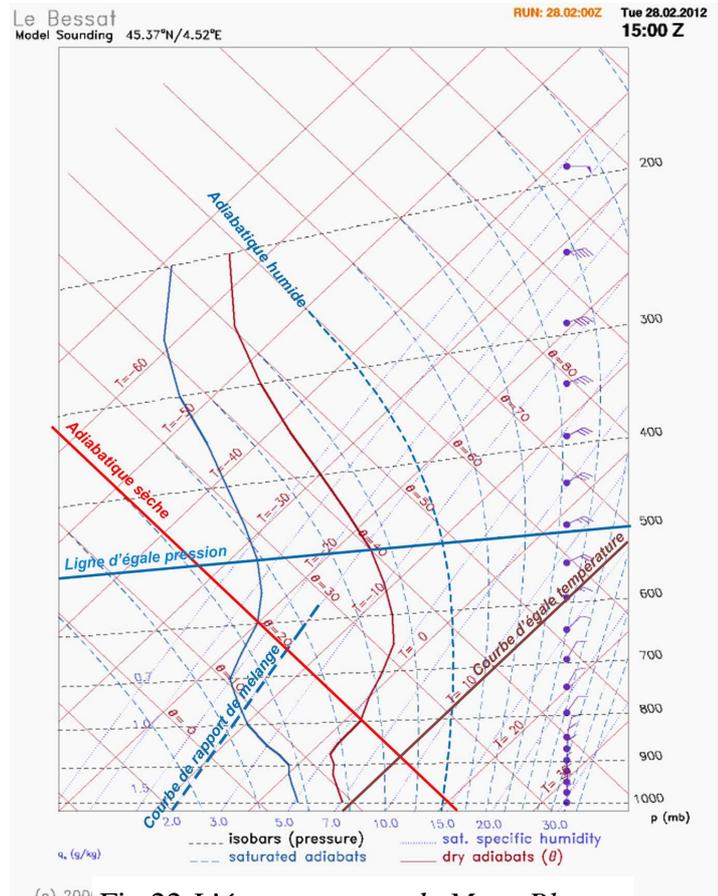
5.2.1 MeteoBlue.

MétéoBlue donne accès, moyennant monnaie (Environ 25 euros pour 6 mois d'abonnement), à un émagramme à pas horaire, dont le graphisme est encore un peu différent de ceux déjà vus (Fig.22). Pour le même prix on dispose nombreux renseignements spécifiques aux activités aériennes, le module se nommant « AIR »...tout un programme !

Pour en revenir à l'émagramme, on peut mettre en favoris plusieurs sites, et rapidement visualiser les sondages correspondant, sans avoir à entrer des coordonnées. Cela permet de déterminer sur un parcours donné, si les conditions d'instabilité seront favorables.

Le MNT adopté est semble-t-il à maille de 1 km, autrement performant que celui du GFS.

Néanmoins, il n'évite pas le tronçonnage du massif, puisque dans les météoagrammes demandés pour le crêt de la Perdrix, s'inscrit l'altitude de 1069 m ASL (Cf. Fig.23).



(c) 2001 Fig.22 L'émagramme de MeteoBlue.

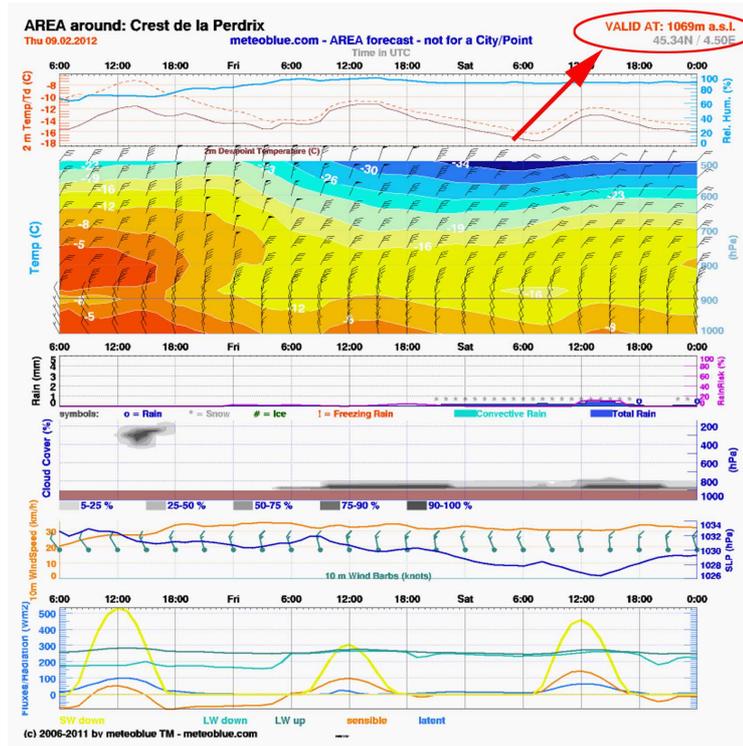


Fig.23 Météogramme du Crêt de la Perdrix (Jasserie).

Je n'ai aucun recul quant à la validité des prévisions que l'on pourrait tirer du sondage MeteoBlue. Tout reste à faire.

5.2.2 Topmeteo.

C'est un site (<http://fr.topmeteo.eu/go/home>) pour lequel j'avais pris un court abonnement en août 2011. Il est presque exclusivement orienté vers les activités aériennes, qui ont été déclinées en vol à voile, vol motorisé, ballon, parapente/delta.

L'équipe de Topmeteo est basée en Grande-Bretagne, et a, sans plus de détails, développé un modèle spécifique basé sur GFS.

Les prévisions *parapente/delta* sont au pas horaire, et concernent entre autres de nombreux

paramètres, l'altitude maximale des cumuli, de leur base, valeurs des ascendances thermiques sous parapente (!), la distance moyenne entre les thermiques (!), et même la distance potentielle de vol, ... il n'y a plus qu'à s'installer dans la sellette, tout est mâché ! Le tout apparait pour un site donné sous forme de tableau. Les cartes disponibles chez Topmeteo (voir Fig.24), sont peu adaptées pour notre région. Bien que ce site ressemble à s'y méprendre à un joli cadeau, il serait intéressant de collecter les prévisions et de les confronter à la (dure!) réalité.

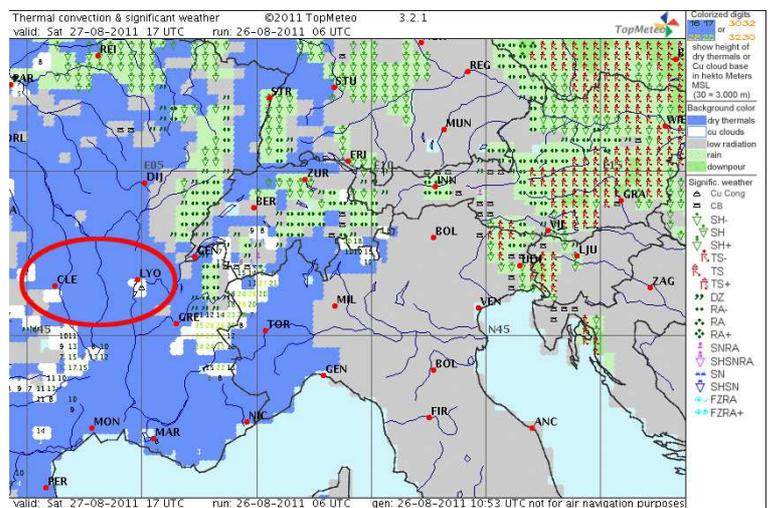


Fig.24 Carte type Topmeteo. Encadrées en rouge : Clermont et Lyon.

6 Conclusion.

Nous avons proposé dans cette troisième partie, à partir d'un travail personnel, une méthode d'évaluation du plafond théorique atteignable sur le site de la Jasserie, par un (bon ?) pilote de vol libre. Pour ce faire, nous avons utilisé un modèle numérique de prévision du temps, le modèle global GFS. En collectant un petit nombre de vols, et un grand nombre de températures, nous sommes arrivés à montrer par le biais des corrélations, que la méthode semi-empirique proposée, ne fonctionnait pas trop mal. Cependant, elle ne reste qu'une « méthode de laboratoire », demandant à affronter longuement la réalité du terrain. A ce sujet les résultats restent encore « parcellaires », et demanderaient à être étoffés par un nombre croissant de vols.

Il ne faut pas non plus perdre de vue, que le modèle numérique global de prévisions, ne prendra jamais en compte les effets locaux du terrain, et qu'aucun émagramme, qu'il provienne d'un modèle régional ou pas, ne montrera sur son graphique l'influence de facteurs tels que la turbulence, la prééminence d'un vent de vallée sur un autre etc. Il reste donc au pilote de vol libre après s'être penché sur l'émagramme, à faire son interprétation personnelle en fonction de ses compétences aérologiques et de ses connaissances topographiques locales.

Pour les passionnés de météo et de vol libre, de plus en plus de programmes traitant de la thermodynamique de l'atmosphère deviennent accessibles au grand public. La « fabrication » d'un MNT performant pour le Pilat est relativement facile. Il reste ensuite à monter « la mayonnaise » comme d'autres l'ont déjà fait^A. Le modèle RASP (**R**egional **A**tmospheric **S**oaring **P**rediction), semble pour l'instant et pour les vélivoles, paré de nombreuses vertus. Un inconvénient majeur vient toutefois entacher ce futur radieux : créer un modèle local demande une très grande disponibilité. De plus, s'il est très performant, et si tout devient prévisible, quelle place reste-t-il pour nos sens, notre intuition, la subtilité d'un cheminement ?...

Bien entendu cette dernière remarque était en forme de boutade, car quoi que l'on puisse en penser, il est quand même d'un grand confort et d'une grande sécurité que d'avoir connaissance avant un vol, du vent, de la nébulosité, de la puissance des ascendances et du plafond qu'elles permettront d'atteindre. Bons vols à tous.

^A Pour le Jura : <http://www.airfly.ch/JURARasp/JURARasp.html>
Pour la Suisse : <http://www.soaringmeteo.ch/CHRasp/CHRasp.html>
Modèle RASP : : www.drjack.info/RASP/
Projet Modèle RASP France : <http://rasp-france.org/>

Glossaire

Albédo : C'est un indice de réflexivité qui varie entre 0 et 1. Plus une surface est réfléchissante plus l'indice est élevé. Exemple : l'indice est de 0,87 pour la neige, ce qui signifie que 87 % de la lumière solaire est réfléchi par celle-ci. L'albédo des nuages est très variable et peut prendre des valeurs entre 0,05 et 0,85.

ASL : (Above Sea Level) : Au-dessus du niveau de la mer.

Effet papillon : C'est une image qui signifie que dans les modèles numériques météorologiques, une infime variation d'un élément peut s'amplifier progressivement, jusqu'à provoquer des changements importants au bout d'un certain temps.

Empirisme : On dit qu'une méthode est empirique lorsqu'elle repose exclusivement sur l'expérience et non sur des déductions scientifiques.

Kelvin : C'est l'unité de température absolue. Pour convertir des degrés Celsius en kelvins : $k = ^\circ\text{C} + 273,15$.

NCAR : **National Center for Atmospheric Research**. *Centre National pour la Recherche Atmosphérique*.

NCEP : *National Centers for Environmental Prediction*. Regroupement des centres nationaux de prévision environnementale.

NOAA : ou *National Oceanic and Atmospheric Administration*. Agence Américaine pour l'étude des Océans et de l'Atmosphère.

NWS : *National Weather Service*. C'est le service météo des USA.

Open source : Se dit d'un logiciel qui est libre d'accès et sur lequel on peut accéder au code et ainsi le modifier à sa guise.

Bibliographie

Guide pratique d'interprétation des modèles numériques de la famille GFS (USA) pour évaluer et prévoir l'aérodynamique, la climatologie et les conditions atmosphériques pour le vol libre, notamment de performance, dans le Haut-Valais. J. Oberson. <http://www.soaringmeteo.ch/condivolVS.pdf>

La modélisation du climat. www.cea.fr/content/download/2950/.../016a22_braconnot-marti.pdf

Structure and morphology of the convective boundary layer in mountainous terrain.
http://people.virginia.edu/~sfd3d/thesis/diss_sfd_main.pdf

Conséquences météorologiques et climatiques de l'échelle spatiale de prise en compte du relief, et du calcul, dans les modèles numériques. Exemples avec GFS, GEM, BOLAM, MM5, NMM WRF, RAMS.
http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/46/46/13/PDF/4-PC_cd.pdf

Modèle météorologique WRF. Rapport de stage.
http://mail.atmo-alsace.net:8080/GEIDEFile/27.9-67.pdf?Archive=194273591245&File=27_9-67_pdf

Soaring Society of America. <http://www.ssa.org/>

RASP Nord et France centrale. <http://rasp.kzc.nl/blois/index.php?Day=-1&Lang=En&Stage=1>
(Fonctionne en été).

ANNEXE 1

Protocole d'étude Plafond théorique/Plafond atteint.

Site de la Jasserie : Altitude 1370 m - Coordonnées : 45.38/.57

Protocole utilisé.

Les estimations de plafond ont été calculées à partir des émagrammes de 14 heures locales, heure d'été et 13 heures locales, heure d'hiver.

Les températures et pressions relevées correspondent au niveau de départ de l'émagramme fournit par le MNT, soit une altitude de 560 m.

Le plafond atteint par les pilotes a été volontairement circonscrit dans un cylindre dont le rayon à la base fait environ 4,5 km (ce qui est équivalent à la distance « le Bessat - La Jasserie-, ou La Jasserie - Chaux de Toureyre »). Les valeurs conservées ont été extirpées de notes personnelles, et des traces des vols déclarés à la CRD par Jonathan Marin. Il n'a pas été tenu compte de l'heure de l'altitude maximale atteinte.

| Date | Température à 560 m (°C) | Pression à 560 m (hPa) | Plafond théorique (m) | Plafond constaté (m) |
|-------------|--------------------------|------------------------|-----------------------|----------------------|
| 21/04/2010 | 17,8 | 1015 | 2250 | 2060 |
| 10/03/2011 | 12,8 | 1022,7 | 2000 | 2050 |
| 26/03/2011 | 16,9 | 1015,4 | 2680 | 2550 |
| 09/04/2011 | 20,1 | 1018 | 1400 | 1680 |
| 30/04/2011 | 18,4 | 1003 | 2400 | 2150 |
| 09/05/2011 | 22,3 | 1022 | 2000 | 1980 |
| 14/06//2011 | 20,8 | 1019 | 1750 | 1870 |
| 11/08/2011 | 24,8 | 1019 | 2100 | 2100 |
| 30/08/2011 | 20,6 | 1014,3 | 1600 | 1700 |
| 03/03/2012 | 13,1 | 1024,3 | 2040 | 1920 |

NB : Les températures recueillies à 560 m n'ont pas été lues sur le graphique du sondage GFS 1°, mais relevées sur la version texte du sondage. C'est plus facile à lire et c'est à 0,1°C près.

ANNEXE 2

Avertissement :

Les traitements statistiques évoqués dans cette annexe, ont volontairement été bridés dans un souci de simplicité.

A - Corrélations entre les prévisions de températures sol par GFS et la station météo du Bessat.

Entre les mois de septembre 2011 et Mars 2012, ont été notées 38 observations concernant la station météo amateur du Bessat et autant de températures prévues aux mêmes journées et aux mêmes heures, par GFS au niveau du Bessat. L'altitude du MNT y est de 592 m (Fig.1).



Fig.1 Abaissement de température théorique entre le MNT de GFS et le Bessat.

Les valeurs recueillies ont été introduites en tant que série statistique double, dans le logiciel *Sine Qua non*. La régression orthogonale n'étant pas prise en compte par le logiciel, l'approximation linéaire du nuage a été par double régression linéaire avec permutation des variable. L'approximation $y=f(x)$ conduit au graphique (Fig.2) qui montre une assez bonne corrélation entre les valeurs attendues et celles mesurées. Le coefficient de corrélation est de 0,97.

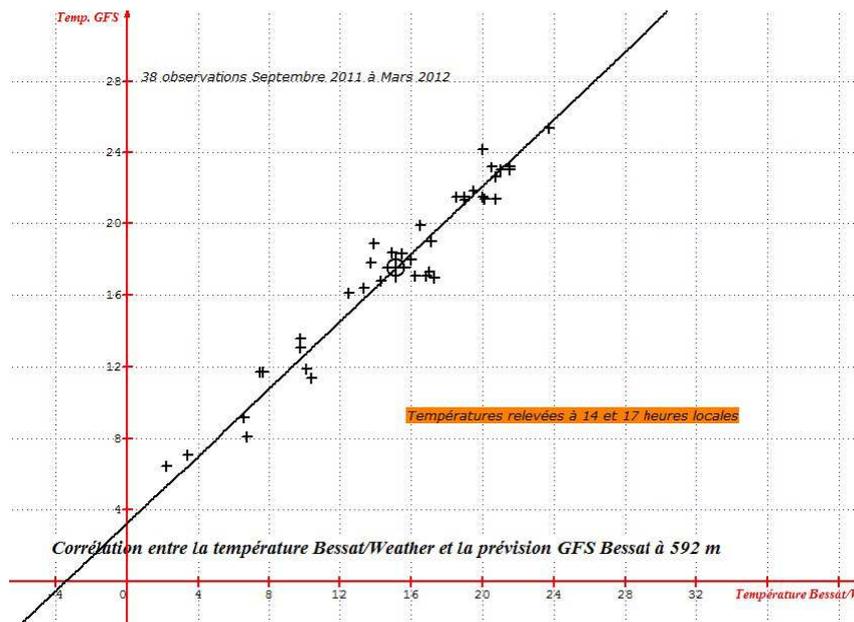


Fig.2 Corrélation entre les températures prévues par GFS et celles mesurées pour le Bessat.

La droite de régression coupe l'axe des x vers $-3,4^{\circ}\text{C}$. Si l'on permute les 2 variables, en passant à $x=f(y)$ la droite de régression coupe l'axe y à $3,99^{\circ}\text{C}$. En prenant la bissectrice des 2 droites, on simule une droite des moindres rectangles, et celle-ci coupe l'axe y à $3,77^{\circ}\text{C}$.

L'abaissement théorique de température entre le niveau du MNT à 592 m et l'altitude du Bessat est de : $578\text{ m} \times (-0,65^{\circ}\text{C}) = -3,8^{\circ}\text{C}$, en prenant un gradient standard de $-0,65^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$. La différence avec la valeur donnée par notre droite de régression est de $0,03^{\circ}\text{C}$, ce qui paraît très acceptable.

B - Corrélations entre les prévisions de températures sol par GFS et la balise météo de la Jasserie.

Entre les mois d'août à octobre 2011, ont été notées 61 observations concernant la balise de la Jasserie (*Les températures ont été relevées à 14 et 17h locales*), et autant de températures prévues par GFS aux coordonnées de la Jasserie. L'altitude du MNT est de 560 m (Fig.3).

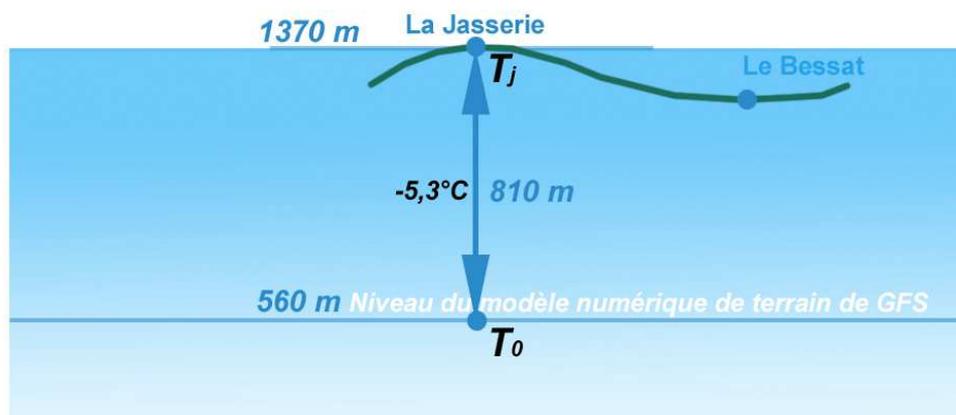


Fig.3 Abaissement de température théorique entre le MNT de GFS et la Jasserie.

Les valeurs recueillies ont fait l'objet du même traitement que la partie A. La régression linéaire $x=f(y)$ conduit au graphique (Fig.4) montrant qu'il existe une corrélation entre les valeurs attendues et celles mesurées. Le coefficient de corrélation est de 0,93. Le nuage de points est plus dispersé que dans le cas du Bessat (Il est à noter que la dispersion est plus forte pour la série 14 h que pour celle de 17h. Sur la Fig.4 les 2 séries ont cependant été mêlées).

La droite de régression coupe l'axe des x vers $-4,1^{\circ}\text{C}$. Si l'on permute les 2 variables, en passant à $y=f(x)$ la droite de régression coupe l'axe y à $6,35^{\circ}\text{C}$. En prenant la bissectrice des 2 droites, on simule une droite des moindres rectangles, et celle-ci coupe l'axe y à environ 5°C .

L'abaissement théorique de température entre le niveau du MNT à 592 m et l'altitude de la Jasserie doit être de : $810\text{ m} \times (-0,65^{\circ}\text{C}) = -5,3^{\circ}\text{C}$, en prenant le gradient standard de refroidissement de $-0,65^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$. *Ce très faible écart de $0,3^{\circ}\text{C}$ signifie que la balise de la Jasserie donnerait, malgré une large*

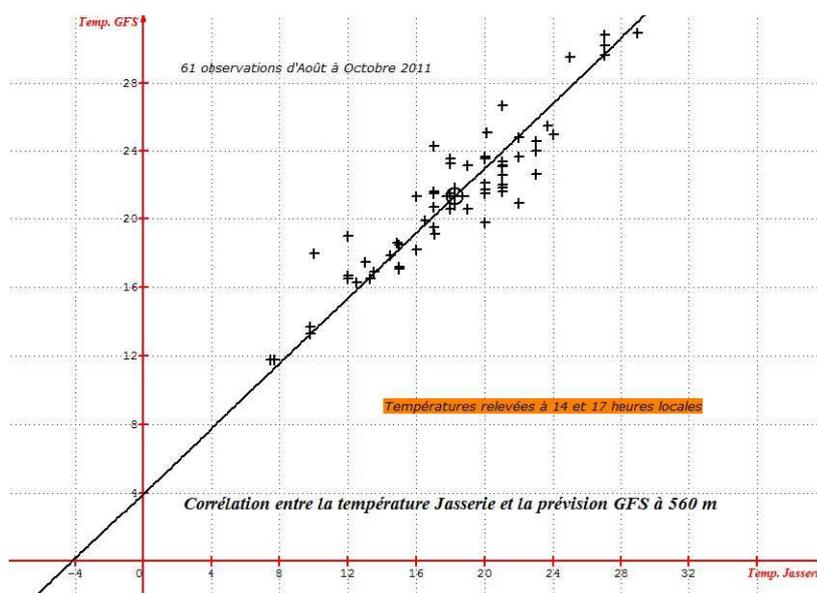


Fig.4 Corrélation entre les températures prévues par GFS et celles mesurées pour la Jasserie.

dispersion, d'assez bons résultats.

On peut formuler plusieurs remarques quant à la dispersion. En premier lieu, la balise météo est une balise FFVL et la mesure de température n'est pas sa vocation première (Son capteur est-il ventilé normalement, est-il efficacement protégé du rayonnement ?). Deuxièmement, elle donne les températures au degré près seulement (la station amateur du Bessat à 0,1°C). Troisièmement, elle est placée à environ 8 à 10 m du sol, au lieu de 2 m pour une station météo standard.

Enfin, outre les difficultés instrumentales de mesures de températures, il ne faut pas perdre de vue que les variations spatiales de températures sont très dépendantes de la topographie du terrain. La pente, l'altitude, les creux, les crêtes, l'exposition (N-S-E-O) des versants, sont autant de facteurs expliquant les variations de températures pour des lieux très proches. Ceci est aussi vrai pour la mesure des températures par la station météo amateur du Bessat.

ANNEXE 3

Ecarts entre les prévisions de températures des sites météo et les températures attendues au Bessat.

Entre 10 et 28 valeurs ont été retenues, selon les sites météo, pour évaluer la justesse et la dispersion de leurs prévisions de températures pour le bourg du Bessat. Pour chaque site, une boîte de Tukey schématise les informations sur :

- La tendance centrale avec la *médiane* (trait horizontal au centre de la boîte) qui sépare l'échantillon en 2 sous-ensembles de nombre identique.
- La tendance de *dispersion* représentée par la longueur de la boîte.
- Les valeurs adjacentes, représentées par les petites barres aux extrêmes de la boîte, qui sont les *limites* à partir desquelles on considère que les données sont potentiellement *anormales*. Les données (points noirs) hors limites sont considérées comme anormales statistiquement.

Le graphe produit (Fig.1) montre les dispersions des températures prévues par rapport aux mesures de la station du Bessat, figurées par l'axe y.

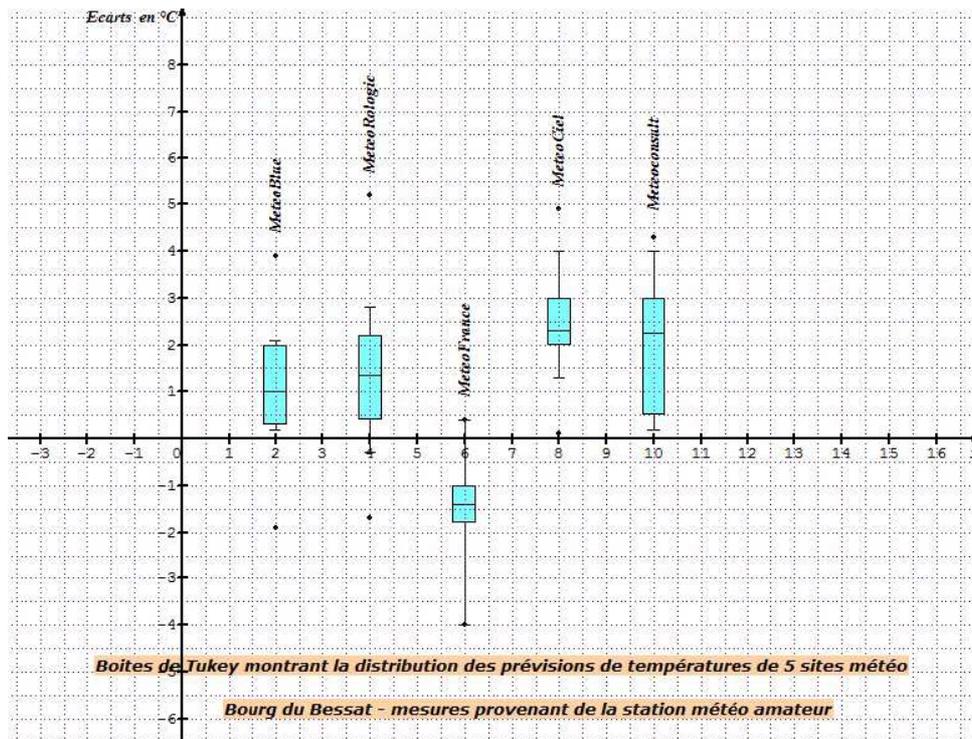


Fig.1 Dispersion des températures prévues par 5 sites météo pour le bourg du Bessat.

NB : Pour MétéoFrance, du fait que l'heure de prévision se situe « dans l'après-midi », nous avons pris arbitrairement les températures prévues et mesurées à 16 heures.

ANNEXE 4

Obtention de l'émagramme WRF-NMM

Sur la page d'accueil de Meteociel (Fig.1), cliquer dans l'onglet *Modèles* Sondage WRF.

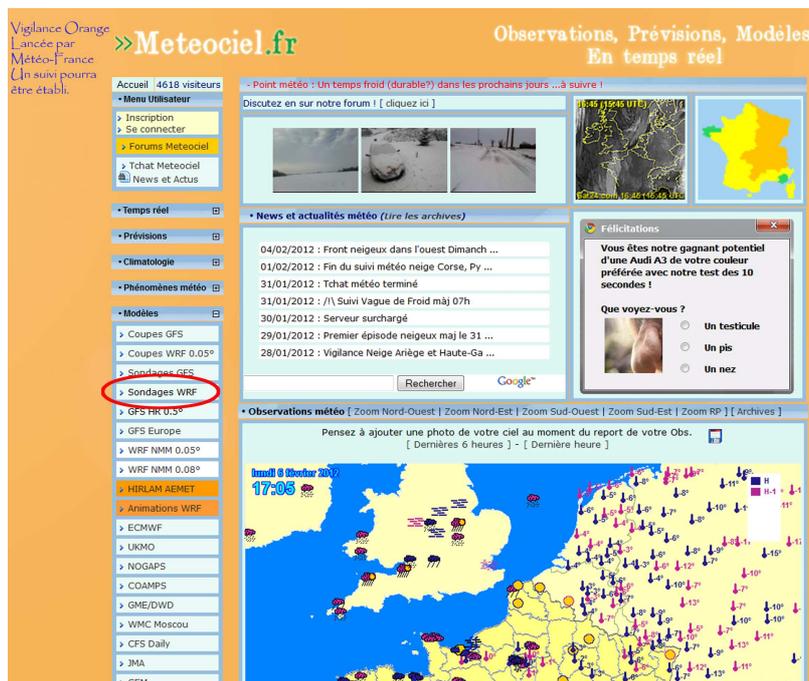


Fig.1 Page d'accueil de Meteociel.

On obtient l'ouverture d'un écran nommé « Prévisions Radio Sondage WRF 0.05° » (Fig.2). Cet écran propose systématiquement l'émagramme du jour. Déplacez le pointeur de votre souris le long de la ligne des heures empilées verticalement. Ceci provoque l'incrémentation des heures situées dans le cartouche en haut à gauche de l'écran. Choisissez l'heure à laquelle vous souhaitez votre sondage.

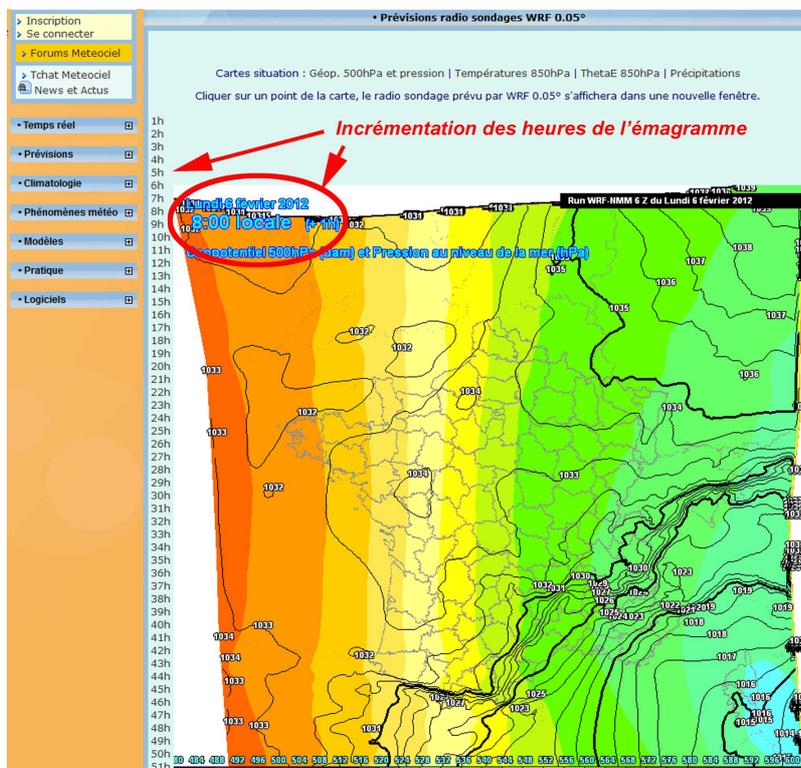


Fig.2 Ecran Prévisions Radio Sondage WRF 0.05°.

Laissez ensuite dériver votre souris sur la carte de France, et si vous désirez l'émagramme de la Jasserie, cliquez en n'importe quel point (croix blanche par exemple). Une fenêtre s'ouvre, contenant l'émagramme demandé (Fig.3).

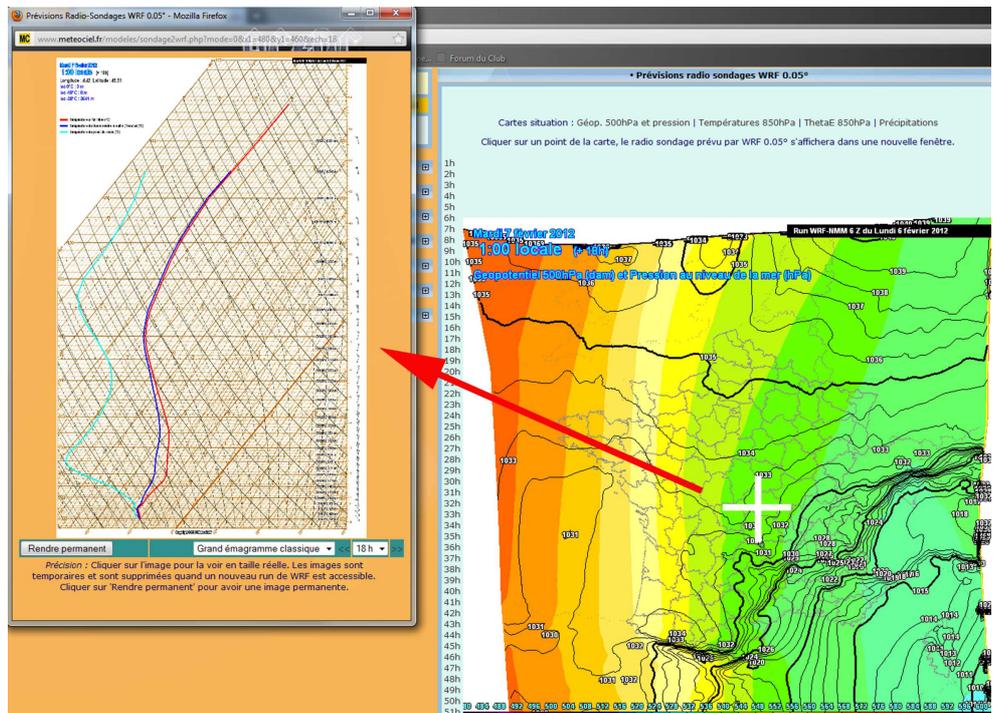


Fig.3 Obtention de l'émagramme à partir de la carte interactive.

Déplacez-vous à l'intérieur de cette nouvelle fenêtre, et allez mettre en surbrillance l'adresse qui se trouve dans le bandeau MC (Fig.4).

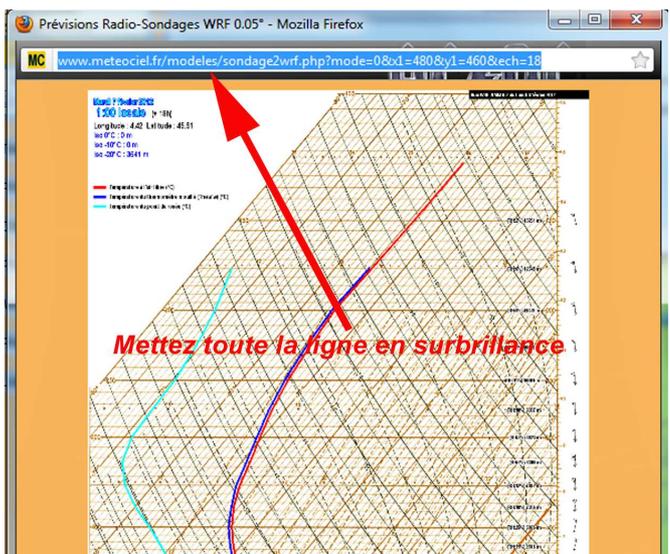


Fig.4 Le bandeau MC.

Enchaînez Clic droit souris et Copier (Fig.5).

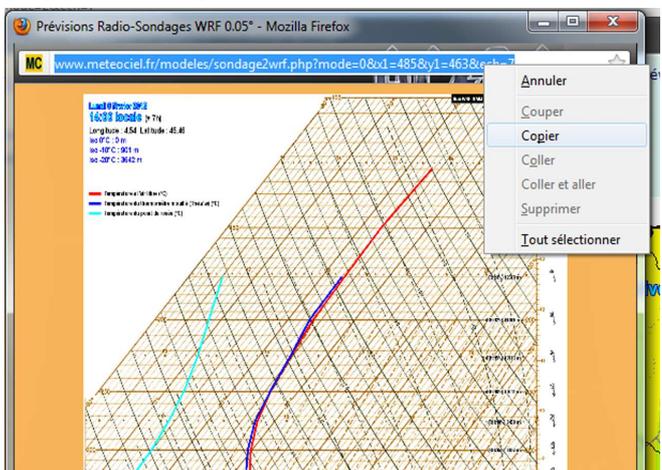


Fig.5 Copie de l'adresse du bandeau.

Ouvrez un onglet dans votre navigateur, et copiez l'adresse. Avant de faire Entrée, changez les valeurs des variables x1 et y1 (x1 doit valoir 486 et y1 467) (Fig.6).

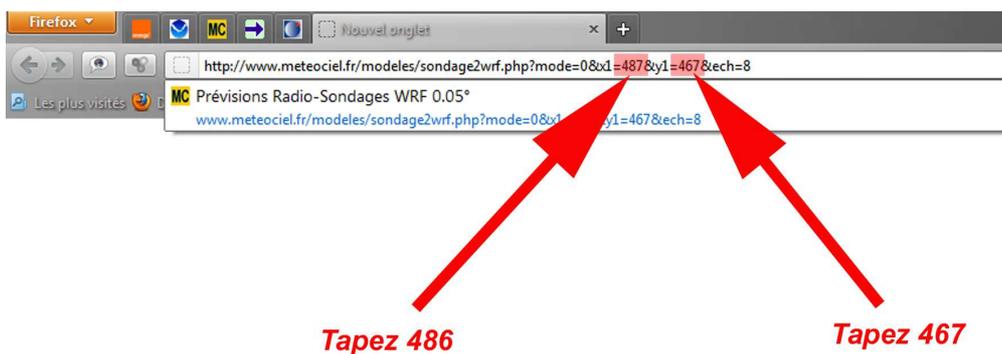


Fig.6 Changement des valeurs des variables x1 et y1.

Faites Entrée, l'émagramme de la Jasserie apparaît à l'écran (Fig.7 Ci-contre).

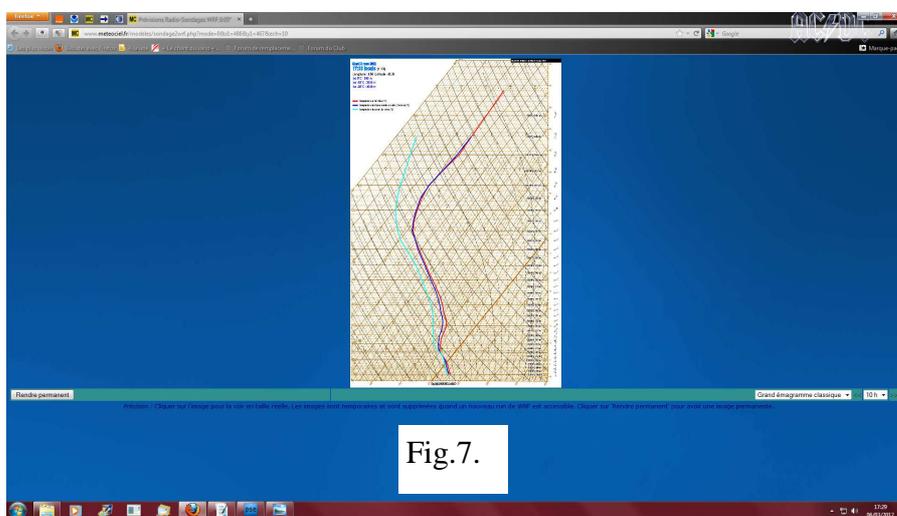


Fig.7.

Il ne reste plus qu'à cliquer dessus afin qu'il apparaisse en format « .png » imprimable (Fig.8).

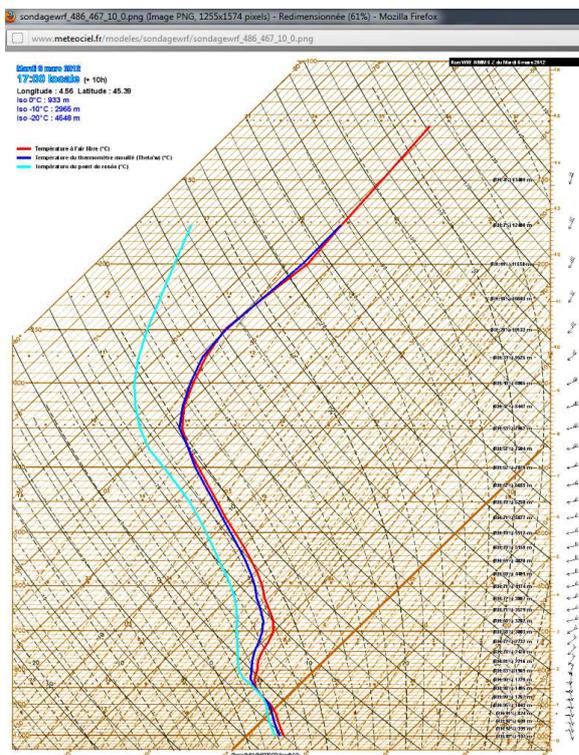


Fig.8 Emagramme au format « png ».

ANNEXE 5

L'option Texte de l'émagramme.

Comme déjà souligné, l'émagramme GFS décale les lignes d'égale pression en fonction de la pression atmosphérique du jour.

Les décalages observés peuvent être de plusieurs centaines de mètres au-delà de 700 hPa.

Par exemple, le niveau 800 hPa, correspond à 1890 m pour une pression atmosphérique du jour de 1003 hPa (dépression), et 2064 m pour 1022 hPa (anticyclone), soit un écart de 174 m. Pour le niveau 700 hPa, l'écart devient plus important, et passe à 297 m

Il est possible d'obtenir les vraies altitudes des niveaux de même pression, en demandant la version texte de l'émagramme (Fig.1).

| Another sounding | | Another product | | Another location | |
|--|-------------|-----------------|----------|------------------------|------------------------|
| File start time : 11 4 29 0 0 | | | | | |
| File ending time: 11 4 30 21 0 | | | | | |
| Chosen date in meteorological file: 11 4 30 12 | | | | | |
| YR: 2011 | MON: 04 | DAY: 30 | HOUR: 12 | AT POSITION: 5.6 136.4 | LAT.: 45.38 LON.: 4.57 |
| PRSS: | 0.9385E+03 | | | | |
| MSLP: | 0.1003E+04 | | | | |
| TPPG: | 0.2603E-03 | | | | |
| UMDF: | 0.5463E-01 | | | | |
| VMOF: | 0.1619E-01 | | | | |
| SHTF: | 0.1948E+03 | | | | |
| DSWF: | 0.6579E+03 | | | | |
| RH2M: | 0.4765E+02 | | | | |
| UIOM: | -0.9388E+00 | | | | |
| VLOM: | -0.2505E-01 | | | | |
| TO2M: | 0.2915E+03 | | | | |
| TCLD: | 0.4832E+00 | | | | |
| SHGT: | 0.5626E+03 | | | | |
| CAPE: | 0.1004E+03 | | | | |
| CINH: | -0.9120E+01 | | | | |
| LISD: | 0.2729E+03 | | | | |
| LIB4: | 0.3179E+00 | | | | |
| PBLH: | 0.1313E+04 | | | | |
| TMP5: | 0.2937E+03 | | | | |
| CPP6: | 0.1302E-03 | | | | |
| SOLM: | 0.2478E+00 | | | | |
| CSNO: | 0.0000E+00 | | | | |
| CICE: | 0.0000E+00 | | | | |
| CFZR: | 0.0000E+00 | | | | |
| CRAI: | 0.2666E+00 | | | | |
| LHTF: | 0.2110E+03 | | | | |
| LCLD: | 0.0000E+00 | | | | |
| MCLD: | 0.0000E+00 | | | | |
| HCLD: | 0.2666E+00 | | | | |
| Niveaux et leur altitude | | | | | |
| PRESS | HGT (MSL) | TEMP | DEW PT | WND DIR | WND SPD |
| HPA | M | C | C | DEG | M/S |
| E = Estimated Surface Height | | | | | |
| 939. | 563. | 18.4 | 7.1 | 88.5 | 0.9 |
| 925. | 688. | 14.4 | 3.6 | 101.8 | 1.1 |
| 900. | 919. | 12.4 | 2.6 | 102.7 | 1.0 |
| 850. | 1395. | 7.9 | 0.8 | 109.4 | 1.3 |
| 800. | 1890. | 3.5 | -1.9 | 123.4 | 2.0 |
| 750. | 2411. | -0.5 | -6.2 | 139.8 | 2.8 |
| 700. | 2958. | -4.5 | -9.1 | 147.0 | 3.2 |
| 650. | 3538. | -8.2 | -14.2 | 155.8 | 3.0 |
| 600. | 4154. | -11.9 | -21.7 | 176.5 | 2.5 |
| 550. | 4815. | -16.3 | -29.9 | 227.6 | 1.6 |
| 500. | 5523. | -22.0 | -34.6 | 305.7 | 3.8 |
| 450. | 6288. | -28.2 | -39.1 | 302.8 | 7.4 |
| 400. | 7123. | -33.9 | -46.2 | 286.5 | 10.3 |
| 350. | 8045. | -40.8 | -49.1 | 273.5 | 12.4 |
| 300. | 9075. | -48.7 | -52.3 | 256.5 | 13.2 |
| 250. | 10250. | -56.3 | -58.4 | 258.0 | 14.0 |
| 200. | 11662. | -55.8 | -62.8 | 234.3 | 6.7 |

Fig.1 Option texte de l'émagramme.

ANNEXE 6

Analyse Topmeteo pour le site de la Jasserie

29.08.11 08:16 UTC

Mobile | Tarifs | FAQ (Foire aux questions) | Aide

Info Explications jasserie — Lu, 29.08.11 — 100 - 1300 m, référence 100 m — 04:57 18.27

| UTC | 08:00 | 10:00 | 11:00 | 12:00 | 13:00 | 14:00 | 15:00 | 16:00 | 17:00 | 18:00 | 19:00 | 20:00 | 21:00 | 22:00 | 23:00 | Ma |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|
| Erosellement [W/m²] | 690 | 780 | 830 | 840 | 780 | 680 | 590 | 340 | 190 | | | | | | | |

Nuages élevés

Nuages moyens

Risque d'éclaboussures

Lundi 29 août 2011

| Profondeur de cumulus [m AMSL] | 4/8 | 4/8 | 4/8 | 4/8 | 4/8 | 4/8 | 4/8 | 4/8 | 4/8 | 4/8 | 4/8 | 4/8 | 4/8 | 4/8 | 4/8 | 4/8 |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1400 | 1700 | 1800 | 1900 | 1900 | 2000 | 2000 | 1900 | 1800 | | | | | | | | |

| Thermiques [m/s] | 0.9 | 1.3 | 1.4 | 1.3 | 1.1 | 0.8 |
|---------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| DPV (parapente) [km] | 7 | 14 | 15 | 15 | 14 | 10 |
| DPV (dela planiste) [km] | 14 | 28 | 29 | 29 | 26 | 19 |
| Dist. entre les thermiques [km] | 6 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |

| Temps significatif | ☁ | | | | | |
|-----------------------|---|--|--|--|--|--|
| Précipitations [mm/h] | | | | | | |

| Vent 2.600m AMSL [km/h] | 290°/23 | 290°/23 | 290°/25 | 290°/27 | 295°/28 | 295°/28 | 305°/31 | 310°/32 | 305°/32 | 305°/31 | 310°/29 | 310°/25 | 300°/23 | 300°/24 | 300°/25 | |
|---------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----|
| Vent 2.000m AMSL [km/h] | 305°/14 | 305°/15 | 305°/18 | 305°/18 | 300°/20 | 300°/25 | 300°/29 | 295°/31 | 290°/32 | 295°/32 | 295°/32 | 300°/32 | 305°/28 | 310°/24 | 310°/22 | |
| Vent 1.800m AMSL [km/h] | 345°/8 | 355°/8 | 355°/8 | 345°/10 | 345°/11 | 345°/12 | 345°/12 | 345°/14 | 335°/16 | 325°/18 | 320°/16 | 325°/18 | 340°/12 | 340°/12 | 335°/13 | |
| Vent 1.000m SFC [km/h] | 345°/8 | 350°/8 | 355°/9 | 345°/10 | 345°/11 | 345°/12 | 350°/12 | 345°/14 | 340°/16 | 325°/18 | 320°/16 | 330°/18 | 340°/12 | 340°/12 | 335°/13 | |
| Vent 500m SFC [km/h] | 5°/13 | 5°/16 | 15°/14 | 20°/13 | 20°/12 | 15°/14 | 15°/14 | 20°/14 | 25°/17 | 30°/19 | 30°/20 | 35°/19 | 40°/19 | 45°/17 | 35°/15 | |
| Vent 10m SFC [km/h] | 345°/12 | 10°/12 | 25°/12 | 25°/12 | 35°/11 | 30°/12 | 30°/12 | 35°/12 | 40°/13 | 45°/12 | 45°/10 | 25°/8 | 22°/8 | 30°/8 | 30°/10 | |
| Rafales de vent à 10m | 24 km/h | 26 km/h | 27 km/h | 27 km/h | 29 km/h | 27 km/h | 28 km/h | 27 km/h | 18 km/h | 20 km/h | 23 km/h | 21 km/h | 19 km/h | 18 km/h | 15 km/h | |
| Température [1.500m AMSL] | 9°C | 9°C | 9°C | 8°C | 8°C | 9°C | 10°C | 10°C | 9°C | 9°C |
| Température [2m] | 14.9°C | 16.4°C | 17.4°C | 19.2°C | 19.7°C | 19.2°C | 16.3°C | 15.1°C | 15.2°C | 15.9°C | 13.4°C | 11.6°C | 10.8°C | 10.2°C | 10.5°C | |
| Point de rosée [2m] | 9.9°C | 9.9°C | 11.0°C | 11.4°C | 11.9°C | 11.9°C | 11.4°C | 11.2°C | 11.1°C | 10.2°C | 9.7°C | 9.1°C | 8.5°C | 8.5°C | 8.9°C | |
| Humidité rel. [2m] | 72% | 85% | 86% | 86% | 83% | 81% | 80% | 80% | 82% | 79% | 79% | 84% | 87% | 88% | 83% | |
| UTC | 08:00 | 10:00 | 11:00 | 12:00 | 13:00 | 14:00 | 15:00 | 16:00 | 17:00 | 18:00 | 19:00 | 20:00 | 21:00 | 22:00 | 23:00 | Ma |

Jour de début

Lu Ma Me Je

heure de début

00 03 06 09 12 15 18 21

nombre d'heures

6 9 12 15 18 24 36 48

Jasserie (45°22'48" / 4°34'12")

Traiter les localités

Carte

Info