

Le mistral, en 1925 et aujourd'hui

Le mistral

Quelques aspects des connaissances actuelles

Valérie Jacq⁽¹⁾, Philippe Albert⁽²⁾ et Robert Delorme⁽³⁾

- (1) Météo-France - Direction interrégionale Sud-Est
2, boulevard du Château-Double - 13098 Aix-en-Provence Cedex 02
valerie.jacq@meteo.fr
(2) École de l'Air - Salon-de-Provence
(3) Météo-France - Station météorologique de Hyères

Résumé

Le mistral est le vent provençal par excellence. Cet article dresse un tour d'horizon des connaissances actuelles sur ce vent : formation, zone d'extension, caractéristiques météorologiques, aspects bénéfiques ou dangereux, notamment dans le domaine des incendies de forêts. Une climatologie de ce vent, à partir des vingt-cinq dernières années de mesures, est ensuite présentée : occurrences moyennes, situations extrêmes et évolution au cours des dernières décennies.

Abstract

The mistral: some aspects of current knowledge

The mistral is the wind of Provence par excellence. This paper surveys the current knowledge of this wind; its formation, geographical extent, meteorological characteristics, usefulness and hazards especially with forest fires. Then we present a climatology of the mistral over the last twenty-five years: mean occurrence, maximum values, and evolution during recent decades.



En 1925, dès les premières mesures fiables du vent à des stations

En basse vallée du Rhône, les cultures sont protégées des effets asséchants ou destructeurs du mistral par des haies de cyprès et de thuyas. (Photo Steffen Lipp)

Avertissement Cet article présente l'état actuel des connaissances sur le mistral en faisant, lorsque c'est possible, le parallèle avec la synthèse des connaissances de 1925 republiée dans l'article précédent (Baldit et Rougetet, 2005).

« Lou Parlamen, lou Mistrau e la Durènço soun li tres flèu de la Prouvènço » (« Le parlement, le mistral et la Durance sont les trois fléaux de la Provence »).

Il convient de moduler ce proverbe provençal : le parlement a disparu depuis plus de deux siècles, la Durance, domestiquée par des barrages, inonde beaucoup moins souvent la Provence qu'autrefois... mais le mistral y règne toujours en maître, et cela, du plus loin que remontent les témoignages. Aujourd'hui, si les Provençaux ont su adapter leur habitat et modeler leur paysage pour s'en protéger, le mistral peut encore perturber les activités humaines (Mondon, 2004).

Le mistral est pourtant souvent associé à un ciel limpide et bleu, et à un temps bien ensoleillé. Autre aspect bénéfique : il contribue à la dispersion des polluants. L'été, malheureusement, il favorise le dessèchement de la végétation et est un formidable accélérateur de la propagation des incendies de forêts.

Quelques proverbes et citations

« Quand plou, plou, Quand nèvo, nèvo, Mai quand fait vènt, Fai catiéu tèms. » (« Quand il pleut, il pleut, quand il neige, il neige, mais quand il fait du vent, il fait un méchant temps », proverbe provençal).

« Comme de la mer unie malgré ses vagues, il se dégage de cette plaine un sentiment de solitude, d'immensité, accru encore par le mistral qui souffle sans relâche, sans obstacle, et qui, de son haleine puissante, semble aplanir, agrandir le paysage. Tout se courbe devant lui. Les moindres arbustes gardent l'empreinte de son passage, en restent tordus, couchés vers le sud dans l'attitude d'une fuite perpétuelle... » (A. Daudet, Lettres de mon moulin)

« Mermoz fut admis à passer les épreuves du brevet de pilote... Dès la première tentative, son moteur au départ s'arrêta net. Accident en général mortel. Mermoz s'en tira avec une jambe et une mâchoire endommagées. Il n'attendit pas d'être complètement guéri et recommença douze jours plus tard. À la fin de son circuit, il atterrit à Orange. Un mistral déchaîné le fit capoter. On eût pu le radier. La confiance de son moniteur le sauva. » (J. Kessel, Mermoz). À bord des engins volants de l'époque, même les meilleurs pilotes craignaient le mistral. Cet épisode de 1921 est quasi contemporain de l'article de Baldit et Rougetet (2005).

Extraits du compte rendu quotidien du 5 mars 1926 de l'observateur de la station météorologique d'Istres (compte rendu contemporain de l'article de A. Baldit).
Le mistral s'est levé dans la nuit et a atteint des « vitesses extraordinaires, causant de nombreux dégâts dans le camp ».
Ce jour-là, le vent moyen atteint au maximum 18 m/s, soit 65 km/h, malheureusement sans mesure des rafales.

COMpte RENDU QUOTIDIEN																
Station ou Poste		Journaux du 5 Mars 1926										Altitude: 25 m.				
A. Observations horaires																
Heure	État du ciel	Direction				Température et humidité				Vent au sol			Précipitations		Phénomènes remarquables	
		de la nuit	du jour	du jour	du jour	min	max	humid	max	dir	force	dir	dir	dir		
7	SI	60	1	16	67	97	50	67	67	SW	5	SW	10			Rafales
8										SW	5	SW	10			Rafales
9										SW	5	SW	10			
10										SW	5	SW	10			
11	SI	60	0	00	57	97	35	43		SW	15	SW	15			Rafales
12										SW	15	SW	15			Rafales
13										SW	15	SW	15			Rafales
14										SW	15	SW	15			Rafales
15										SW	15	SW	15			Rafales
16										SW	15	SW	15			Rafales
17										SW	15	SW	15			Rafales
18										SW	15	SW	15			Rafales
19										SW	15	SW	15			Rafales
20										SW	15	SW	15			Rafales
21										SW	15	SW	15			Rafales
22										SW	15	SW	15			Rafales
23										SW	15	SW	15			Rafales
24										SW	15	SW	15			Rafales
25										SW	15	SW	15			Rafales
26										SW	15	SW	15			Rafales
27										SW	15	SW	15			Rafales
28										SW	15	SW	15			Rafales
29										SW	15	SW	15			Rafales
30										SW	15	SW	15			Rafales
Température: Minimum: 11.9 à 10 heures; Maximum: 10.2 à 14 heures Humidité: Minimum: 31.4 à 10 heures; Maximum: 97.0 à 10 heures Quantité totale d'eau: 7.6 mm Quantité totale de neige: 0 mm																

dérablement densifié ces vingt dernières années, notamment dans le cadre de la prévention et de la lutte contre les incendies de forêts.

L'archivage des mesures de vent, toutes les trois heures depuis plus de cinquante ans, puis au pas de temps horaire depuis 1993, permet aux climatologues d'étudier le potentiel éolien, très important dans cette région, ou encore d'évaluer les vents extrêmes, par exemple pour le dimensionnement des ouvrages et leur mise en sécurité.

Le mistral : formation

Le mistral se lève dans la majorité des cas lorsque la région est soumise à un flux de secteur nord-ouest en bordure d'un anticyclone centré sur le proche Atlantique : l'air froid originaire des régions polaires vient buter sur les Alpes et s'accélérer dans le défilé étroit de la vallée du Rhône. Il crée le plus souvent un tourbillon dépressionnaire dynamique en Méditerranée, sous le vent du relief ; ce tourbillon vient accroître encore le gradient de pression et la vitesse du vent. S'établissent ainsi souvent simultanément, avec à peu près les mêmes causes, la tramontane sur le Roussillon et le Languedoc, le mistral en vallée du Rhône et sur le littoral varois, et le libeccio sur le nord-ouest de la Corse.

D. Description du temps le 5 Mars 1926

7h00 Le ciel est entièrement couvert par un voile d'a.-st. On note 4/10 de NE à 600 mètres, qui disparaît très vite sous la poussée du vent.

Le Mistral qui s'est levé pendant la nuit souffle en violentes rafales. La visibilité est bonne.

14h30 Le ciel qui s'était assombri à l'horizon, annulant un grain, celui-ci tient de passer sur la station. A ce moment le vent a atteint des vitesses extraordinaires, causant de nombreux dégâts dans le camp. La visibilité est excellente.

comme Montélimar, Marignane ou Istres, les météorologistes, curieux tels E. Rougetet ou A. Baldit (Baldit et Rougetet, 2005), ont essayé d'analyser et de quantifier le phénomène, et cela avec grand mérite car ils ne disposaient que de peu d'éléments : des cartes isobariques sur un domaine géographique essentiellement réduit aux données terrestres, quelques observations quotidiennes de vent moyen, sans mesure des rafales⁽¹⁾, et des statistiques élaborées manuellement.

Aujourd'hui, les mesures de vent se poursuivent sur ces mêmes sites, mais le réseau d'observation météorologique s'est étoffé et moder-

nisé au cours du temps, apportant une meilleure connaissance et une meilleure prévision des phénomènes météorologiques (figure 1). Le réseau s'est consi-

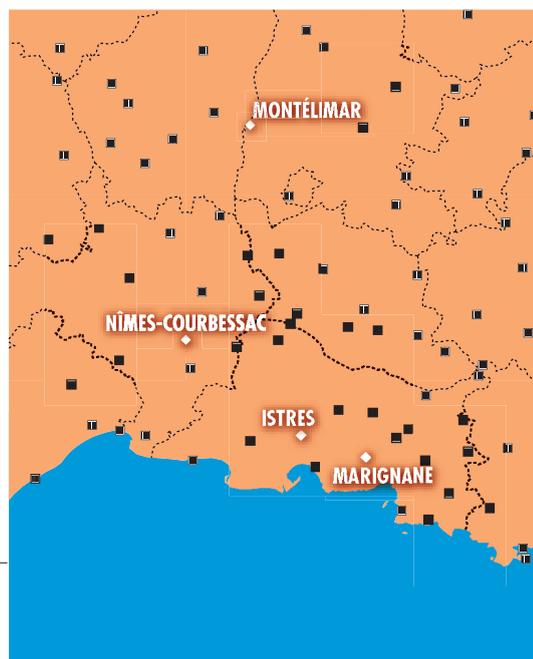


Figure 1 - Les stations météorologiques mesurant le vent en 1925 (en blanc) et en 2005 (en noir) en basse vallée du Rhône.

Comme le pressentaient les météorologistes à l'époque de E. Rougetet, le contraste et les positions relatives de cet anticyclone « du proche Atlantique » (qui peut se situer en fait sur le golfe de Gascogne ou encore sur les îles Britanniques) et de cette dépression dynamique « du golfe de Gènes » (que l'on peut retrouver au large du Var

(1) Les mesures de vent actuellement archivées dans la base de données climatologiques de Météo-France sont les suivantes (Hontarrède, 2003) :

- le vent instantané toutes les 0,5 secondes. C'est la mesure de base qui sert à déterminer les autres paramètres. La plus grande valeur est archivée au pas de temps horaire et quotidien et représente les vents maxi instantanés, heure par heure ou jour par jour ;
- le vent moyen sur 10 minutes. C'est le vent moyen météo. Chaque heure, le vent moyen sur les 10 minutes précédant l'heure est archivé, de même que la valeur maximale qui s'est produite dans l'heure et pendant la journée ; ce sont les vents maxi sur 10 minutes, heure par heure ou jour par jour.

Le vent moyen est beaucoup plus régulier que le vent instantané. On dit qu'il y a rafale si le vent instantané dépasse le vent moyen de plus de 10 kt (18,5 km/h).



Le TGV méditerranéen franchissant le viaduc d'Avignon (Vaucluse). Sur le parcours de cette ligne, dans les secteurs les plus ventés, notamment sur les viaducs, des écrans brise-vent protègent les trains du mistral. Lors d'épisodes extrêmement violents, avec des rafales à 10 mètres au-dessus du sol dépassant les 130 km/h, le mistral est encore plus fort sur les parties hautes de la ligne (viaducs, remblais). Par mesure de sécurité, les TGV empruntent alors l'ancienne ligne ferroviaire, plus protégée en vallée, et roulent plus lentement. (Photo SNCF-CAV, Jean-Jacques D'Angelo)

comme à l'est de la Sardaigne) vont conditionner en première approche l'orientation, la vitesse et le domaine du mistral (figure 2).

Par rapide courant de nord à nord-ouest (par exemple, avec un gradient de 5 à 6 hPa entre les îles d'Hyères et Nice, au lieu des 3 ou 4 hPa de la figure 3), la dépression dynamique sera rejetée vers l'Italie et le mistral pourra s'étendre jusqu'à la Côte d'Azur (figure 3). Avec des isobares orientées nord à nord-est, la dépression dynamique apparaîtra plutôt au sud du Var et le mistral sera rhodanien. Un large flux de nord-ouest, associé à une importante arrivée d'air polaire, pourra chasser la dépression sous le vent des Alpes jusque sur l'est de la Sardaigne, et mistral et tramontane pourront alors se généraliser à une grande partie de la Méditerranée occidentale (figure 5).

C'est donc le relief, au travers de son effet d'obstacle et de canalisation des flux de nord-ouest dirigés sur l'Europe par l'anticyclone des Açores, qui explique la dépression du golfe de Gênes, tourbillon dynamique sous le vent des Alpes. Le creusement de cette

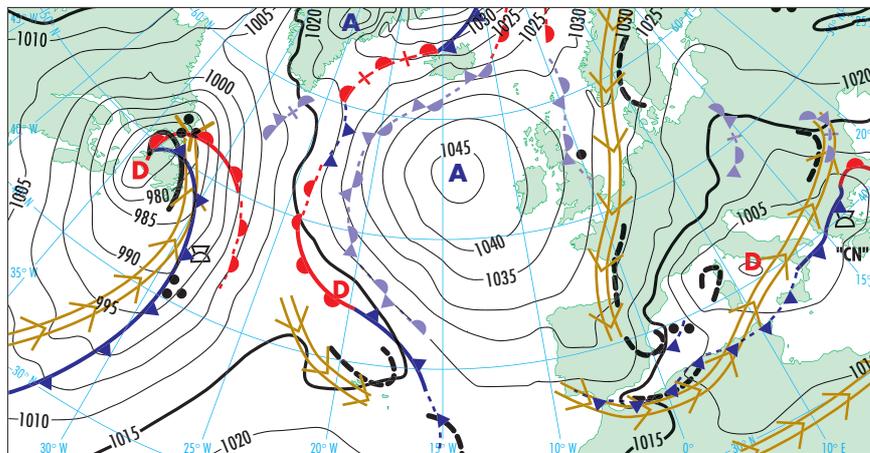


Figure 2 - Carte d'analyse en surface du 25.01.2005 à 0 h UTC. L'anticyclone n'est pas sur le proche Atlantique, mais centré au nord-ouest de l'Irlande (1 030 hPa sur la mer du Nord). Quant à la dépression du golfe de Gênes, elle est bien isolée sur l'est de la Sardaigne. Ce jour-là, le mistral souffle en pointe à 29 m/s à Orange (soit 104 km/h) et la température maximale atteint péniblement 1,8 °C.

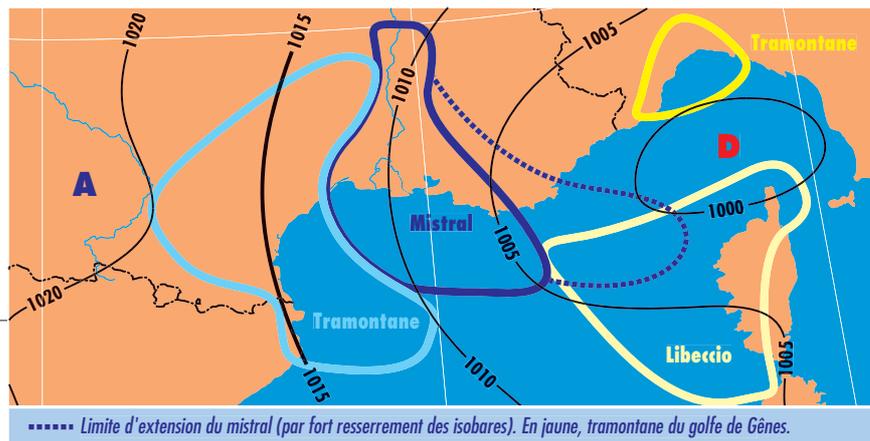
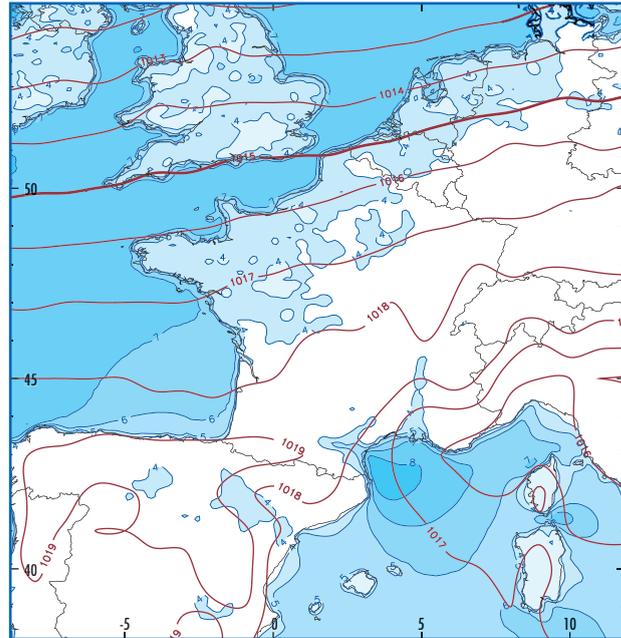


Figure 3 - Carte isobarique d'une situation météorologique classique engendrant tramontane sur le Roussillon et le Languedoc, mistral en Provence et libeccio en Corse.

..... Limite d'extension du mistral (par fort resserrement des isobares). En jaune, tramontane du golfe de Gênes.

Figure 4 - Moyennes des pressions réduites au niveau de la mer (isolignes en rouge) et des vitesses du vent à 10 mètres (en teintes de bleu pour les valeurs supérieures à 4 m/s) obtenues par réanalyse du modèle de prévision numérique Aladin sur la période 1998-2001. Côté pression, on observe bien en moyenne une dépression relative sur le golfe de Gênes (1 016 hPa) et son prolongement vers la mer Tyrrhénienne (en effet, la dépression du golfe de Gênes prend souvent une direction sud-est quand elle est chassée par l'arrivée de l'air froid). Remarque la surpression (dorsale) au vent dominant des chaînes montagneuses (Alpes, Pyrénées, Corse et Sardaigne) et la dépression (talweg) sous le vent. Côté vent, on retrouve les grands axes de vent fort : mistral dans la vallée du Rhône, tramontane contournant les Pyrénées et cierzo dans la vallée de l'Èbre (Espagne). En mer, le golfe du Lion (jusqu'aux Baléares) et la zone située entre Corse et continent sont les plus ventés (plus de 7 à 8 m/s en moyenne). L'effet Venturi est bien visible dans les bouches de Bonifacio et, à plus grande échelle, dans le canal de Sardaigne. Les régions déventées sont particulièrement bien indiquées : golfs de Valence et de Gênes. (Document Météo-France)



violent de nord, dévale alors la vallée du Rhône, puis gagne l'est du golfe du Lion et la Provence. Sur l'est de la Provence, il s'oriente au secteur nord-ouest. Le vent de nord ou nord-est qui dévale la vallée de la Durance porte également le nom de mistral.

Quand la couche d'air froid est très épaisse (plusieurs kilomètres) et que le gradient de pression est suffisamment fort, le mistral, vent provençal par excellence, peut s'étendre

dépression est parfois accentué par la présence préalable d'air chaud sous le vent du relief, présence parfois renforcée par les effets de l'ensoleillement de l'arrière-pays de l'est de la Provence ou de la Côte d'Azur ou par une remontée d'air chaud en provenance d'Afrique du Nord.

Une fois le régime de secteur nord-ouest établi, cette dépression « active » ce renforcement particulier au mistral, à la tramontane et au libeccio. Ce phénomène se renouvelle si souvent qu'une cartographie des moyennes des pressions réduites au niveau de la mer met en évidence une zone dépressionnaire quasi permanente (figure 4).

Le mistral : zone d'extension géographique maximale

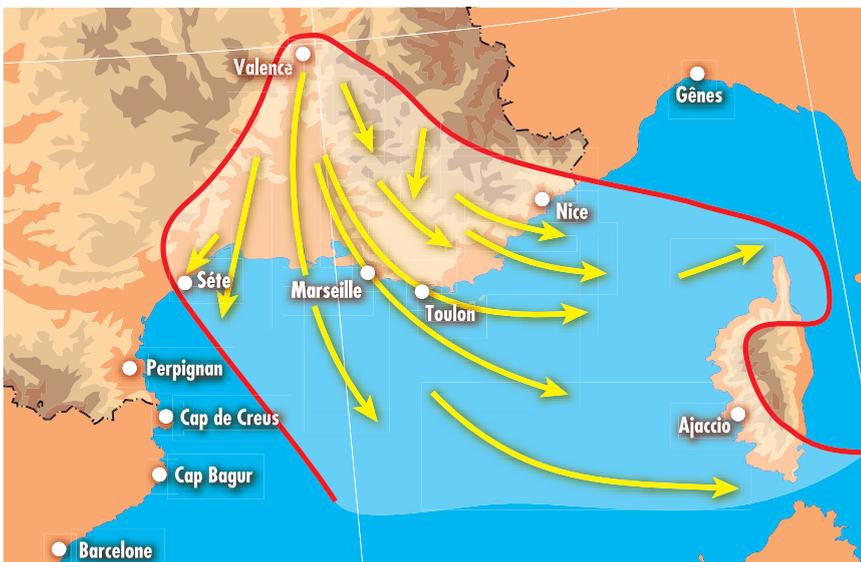
Même si des vents de secteur nord soufflent sur le Massif central ou la région lyonnaise, on ne peut pas les inclure dans la zone d'appellation « mistral ». On peut en effet considérer que les effets du mistral (masse d'air asséchée par effet de foehn, ciel plus dégagé, caractère rafaleux, etc.) se déclenchent au sud des défilés de Condrieu ou de Tain que cite A. Baldit, à partir de la région de Valence. Le mistral, froid et

jusqu'à la Côte d'Azur et en mer (figure 5). Il atteint parfois la Corse où sa direction se confond alors avec celle du libeccio, mais en tirant davantage vers l'ouest, voire le nord-ouest. De même, sur la Côte d'Azur, il n'est pas toujours possible de distinguer le mistral du ponant, vent doux d'ouest à sud-ouest. Le mistral

Des appellations diverses

La figure 5 représente les directions générales du mistral. Mais, sur chaque secteur, les appellations des différents vents sont très variables. Ainsi, à Toulon, le vent peut souffler de plein nord (entre 350° et 010°) avec grande violence. C'est un vent catabatique de type **bora**, associé à de l'air continental très froid qui dévale les Préalpes, puis le relief de la Provence. Il peut localement être appelé mistral ou bien **tramontane varoise**.

Figure 5 - Zone d'extension maximale du mistral et directions principales. Le mistral ne concerne pas systématiquement l'ensemble de cette zone : c'est la configuration isobarique qui détermine à chaque épisode la région concernée.



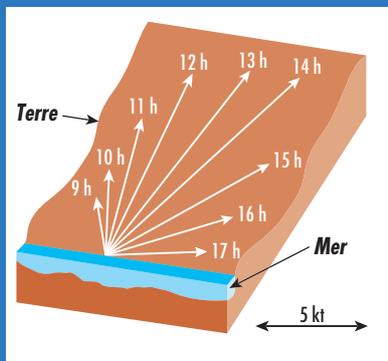
peut également concerner, surtout en fin d'épisode, l'est du Languedoc, soit une bonne partie du département de l'Hérault, un peu au-delà de Sète. Il prend alors une direction nord à nord-est.

Pour une situation générale donnée, vitesse et domaine du mistral ne sont pas fixes pour autant. En journée, le ciel généralement dégagé va favoriser le réchauffement de certaines plaines ; la nuit, il va favoriser le refroidissement d'autres. La nuit également, lorsque la couche limite se stabilise par refroidissement radiatif, le vent dans les vallées au pied des massifs préalpins peut considérablement faiblir, voire devenir

Brise et mistral

La mer et le sol réagissent très différemment à l'énergie que leur rayonne le soleil. L'eau présente une grande inertie thermique en regard du sol dont l'inertie est faible. Il en résulte, si le ciel est dégagé, que, relativement à la mer, le sol se réchauffe en journée et se refroidit la nuit. Ce contraste se transmet à l'atmosphère qui, près du sol, se met en mouvement du point le plus froid vers le point le plus chaud. Ce mouvement est appelé **brise**.

Le matin, lorsque la brise de mer s'établit sur le littoral, et sauf relief particulier, sa direction est à peu près perpendiculaire au rivage et dirigée vers le point le plus chaud de l'intérieur des terres. Au cours de la journée, dans l'hémisphère nord, la brise est principalement déviée vers la droite par la rotation terrestre. En conséquence, la direction de la brise de mer change. Sur le littoral provençal, cette rotation est plus ou moins régulière et, au fur et à mesure que l'intensité de la brise augmente, sa direction passe du secteur sud au secteur sud-ouest (figure ci-dessous). Dans cette région, l'effet de brise contribue ainsi à rapprocher la direction du mistral de la ligne de côte, puis à en augmenter la vitesse.



Principe d'évolution, au cours d'une journée avec brise, de la direction et de la vitesse de la brise de mer sur la côte provençale (heures UTC).

calme dans les basses couches, alors qu'en altitude, le mistral garde tout son caractère tempétueux. De même, à quelques kilomètres de là, en l'absence de stabilité de l'air froid près du sol, le mistral pourra continuer à souffler.

En journée, l'ensoleillement, associé par endroits à l'effet de foehn, va fortement réchauffer certaines plaines intérieures. Dans le même temps, la mer sur la bordure littorale se refroidit : les eaux chaudes de surface sont chassées au large par le mistral, les eaux froides de profondeur remontent, c'est l'**upwelling**. Ce contraste diurne va être favorable aux brises. Sur l'est de la

Provence et la Côte d'Azur, ces brises vont se combiner au mistral pour en accroître, pendant la journée, la vitesse et en étendre le domaine vers l'est (encadré ci-contre). Cet effet prend une importance particulière au printemps et au début de l'été sur l'ouest de la Provence et le littoral varois ; en effet, le contraste thermique terre-mer est plus important, car la mer peut se refroidir plus rapidement alors que les journées sont longues et favorables au réchauffement à l'intérieur des terres.

Le mistral : un vent sec et turbulent, qui « chasse les nuages »

La grande majorité des perturbations arrive sur la France par l'ouest ou le nord-ouest. En venant buter sur le relief important qui ceinture la région méditerranéenne (Pyrénées, Massif central et Alpes), ces perturbations donnent d'importantes précipitations au vent du relief et arrivent fortement atténuées sur la région sud-est, où les précipitations sont souvent faibles, voire inexistantes. Ce phénomène d'effet de **foehn** explique l'air souvent limpide que l'on rencontre sur les bords de la Méditerranée.

Il arrive parfois que le résidu de la perturbation se limite à des passages de cirrus : dans ce type de situation, le mistral

suit le front froid de la perturbation qui peut passer presque inaperçue. La traîne est inexistante car le mistral subit une subsidence en descendant le relief, cause d'un réchauffement relatif et d'un fort assèchement de l'air. Ainsi, le mistral ne « chasse pas les nuages », il les désagrège dans son domaine jusqu'à les faire peu ou prou disparaître. Les images satellitaires confirment que les nuages réapparaissent aux frontières du territoire du mistral.

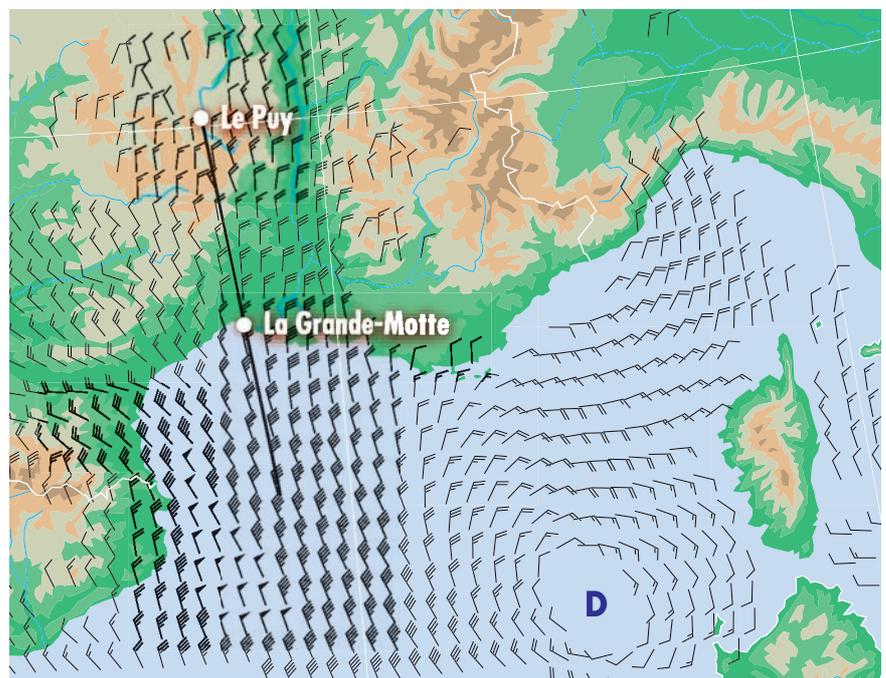
Cet assèchement n'a pas que des effets positifs. Il augmente l'évapotranspiration du couvert végétal et rend la forêt méditerranéenne, par pertes en eau, particulièrement vulnérable aux attaques du feu.

Le mistral noir

Il arrive cependant que le mistral soit accompagné de précipitations ; on parle alors de **mistral noir**. Celui-ci peut s'observer lorsqu'une perturbation associée à de l'air très froid et instable dévale la vallée du Rhône. On le rencontre aussi par retour d'est, quand les nuages et la pluie gagnent la zone encore touchée par le mistral : la vallée du Rhône.

La subsidence généralisée de l'air dans le domaine du mistral (figure 8) explique aussi son caractère violent, irrégulier, turbulent. Les accélérations du vent ne sont pas simplement l'effet des canalisations horizontales dues au relief, mais aussi l'effet de la

Figure 6 - Champ de vent à 10 mètres prévu par le modèle Aladin le 10.04.2005 à 6 h UTC. Le trait noir matérialise le plan de la coupe verticale de la figure 8.



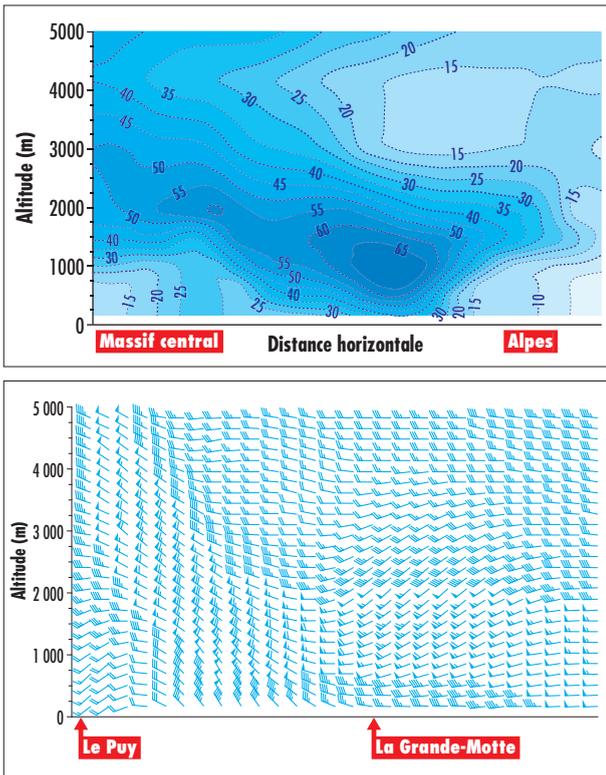


Figure 8 - Vents prévus par le modèle Aladin le 10.04.2005 à 6 h UTC : vitesse et direction selon la coupe verticale réalisée dans l'axe du vent représenté sur la figure 6. On observe bien la formidable subsidence lors du passage sous le relief du Massif central et le renforcement particulièrement rapide du vent lorsque l'altitude croît dans les basses couches.

confluence verticale qui dirige le vent fort d'altitude vers le sol, favorisant un vent violent près du sol, les rafales et la turbulence.

À une échelle plus petite, chaque passage du relief par le vent va être l'occasion d'une mise en oscillation verticale de l'atmosphère (comme la surface d'un torrent, comme des vagues sur la mer). Celle-ci va accentuer ponctuellement la canalisation de grande échelle, jusqu'à plusieurs dizaines de kilomètres sous le vent de chaque massif, et multiplier les occasions de renforcement et de rafales près du sol. Ce phénomène, appelé **ondes de gravité**, est parfois rendu visible par des nuages lenticulaires, alignés et immobiles dans le vent certains jours de mistral.

Comme le signalait Baldit, au sol, c'est sous le vent de chaque relief, de chaque défilé, que ces effets sont généralement le plus sensibles. Mais qu'il s'agisse alors des ondes de gravité et de leurs nuages lenticulaires, des perturbations et de leurs nuages de pluie, ce ne sont pas les nuages qui conditionnent le vent, mais le vent qui organise les nuages.

Grâce aux modèles numériques, les représentations de l'atmosphère en trois dimensions permettent aujourd'hui de

Figure 7 - Vents prévus par le modèle Aladin le 10.04.2005 à 6 h UTC : isotaches (en nœuds, symbole kt) dans un plan vertical coupant transversalement la vallée du Rhône à hauteur d'Orange (1 nœud = 1,852 km/h).

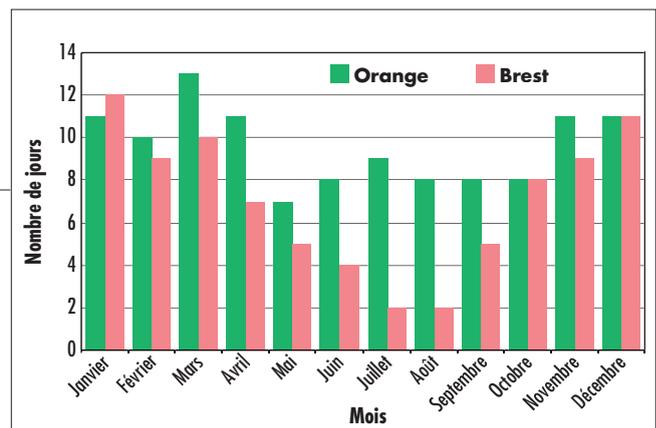
visualiser cet effet particulier de mouvement général de l'atmosphère vers le bas dans le domaine du mistral, cette subsidence à l'origine à la fois :

- d'un effet de foehn qui assèche l'air : le domaine du mistral est ainsi matérialisé par un ciel particulièrement dégagé ;
- d'une canalisation verticale de l'écoulement qui crée un tube de vent fort particulièrement proche du sol. En règle générale, l'écoulement de l'air est freiné par le frottement sur le sol

et le vent est plus intense à quelques centaines de mètres d'altitude. Dans le cas du mistral, la subsidence et les ondes de gravité contraignent le vent fort d'altitude vers le sol avec pour conséquence des rafales violentes et un renforcement vertical du vent rapidement sensible.

Ce phénomène peut être illustré par la récente situation de mistral des 9 et 10 avril 2005 (figure 6). Le 10 à 8 h 15 UTC, la rafale maximale de la journée en vallée du Rhône a été observée à Tarascon avec 35 m/s, soit 126 km/h. La figure 7 présente les lignes d'égale vitesse de vent (**isotaches**) selon une coupe transversale perpendiculaire au couloir du Rhône. En altitude (5 000 m), on observe des vents de vitesse

Figure 9 - Comparaison pour chaque mois du nombre moyen de jours avec apparition de rafales de vent dépassant 16 m/s, soit environ 60 km/h (vent fort), à Brest et à Orange sur la période 1981-2000.



moyenne voisine de 30 kt (55 km/h) et dans les basses couches (entre 500 et 2 000 m) un noyau de vent de vitesse moyenne supérieure à 60 kt (110 km/h), témoin de la prodigieuse accélération du vent près du sol au niveau du resserrement du relief, à cet endroit entre le Massif central et les premiers contre-forts des Alpes. Ce maximum de vent dans les basses couches n'est pas systématique ; il est surtout observé lors de mistral rhodaniens.

Le mistral, violent et sec, donne une impression de froid, parfois plus intense que celle que l'on peut rencontrer dans le nord de la France dans des conditions anticycloniques avec des températures pourtant bien plus basses. En utilisant la formule canadienne de calcul du refroidissement éolien (*windchill*), pour une température extérieure de -3 °C, si le vent souffle à une vitesse moyenne de 60 km/h, l'indice de refroidissement éolien, c'est-à-dire la température ressentie, est de -13 °C. Le froid apparent devient sibérien lors de vagues de froid pouvant toucher la Provence. Par exemple, le 8 janvier 1985, le mistral s'est déchaîné avec des rafales de plus de 100 km/h alors que les températures maximales de la journée avoisinaient -6 à -4 °C, soit une température ressentie de l'ordre de -18 °C !

Le mistral : quelques chiffres

Les régions de France les plus ventées sont, d'une part la Bretagne et le littoral de la Manche, d'autre part le littoral méditerranéen du Roussillon à la Provence et, en Corse, la Balagne et les extrémités nord et sud de l'île. Mais, malgré les idées reçues, le vent est plus souvent fort en vallée du Rhône que sur les côtes bretonnes (figure 9) : on relève, en moyenne sur une année,

Figure 10 - Nombre moyen et maximal de jours de mistral par mois à Orange sur la période 1981-2000 (jour de mistral = jour avec apparition de rafales dépassant 16 m/s et comprises entre les directions 320° et 030°).

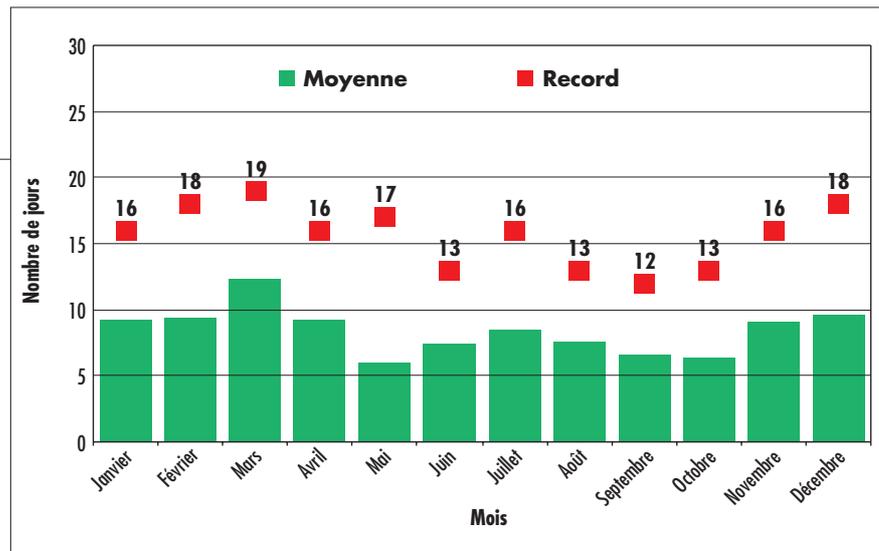
84 jours de vent fort à Brest contre 115 à Orange (dont 101 de secteur nord, donc de mistral, soit presque 1 jour sur 3 !). Ces deux grandes régions présentent cependant une différence significative dans la répartition des vents forts : – en Bretagne et sur le littoral de la Manche, ceux-ci apparaissent surtout durant l'automne et l'hiver et présentent un minimum très marqué en été ; – sur les régions méditerranéennes, les vents forts se répartissent tout au long de l'année de manière bien plus complexe avec un maximum d'hiver et un minimum d'été moins tranchés.

La tramontane en Roussillon

Le littoral du Roussillon est un secteur encore plus venté. À Perpignan, on dénombre 134 jours par an de vent fort (rafales supérieures ou égales à 60 km/h), dont 115 jours de **tramontane** (rafales \geq 60 km/h de direction comprise entre 300 et 360°), sur la période 1981-2000. La tramontane peut largement dépasser les 130 km/h en rafales (janvier 1981, février 1984, janvier 1995). La valeur maximale des vingt dernières années (140 km/h) a été mesurée lors d'une des deux tempêtes de décembre 1999. La tramontane peut souffler sans arrêt pendant longtemps : jusqu'à 17 jours en continu du 13 au 29 mars 1992 et du 19 février au 7 mars 1993.

À Orange, la fréquence mensuelle du mistral est de 6 à 12 jours (figure 10). Parmi les mois record, on citera février et décembre 1999 (18 jours), mars 1998 et 2004 (19 jours) et novembre 2001 (22 jours), en notant que la figure 10 ne présente les records que jusqu'en 2000.

Le mistral peut souffler sans discontinuer pendant plusieurs jours. « *Sur les côtes de Provence et le littoral méditerranéen, il est admis que le mistral dure 3, 6 ou 9 jours* » : déjà en 1925, A. Baldit démontre, à partir de deux ans de mesures seulement, que cette croyance



– toujours aussi vivace de nos jours chez les Provençaux – est erronée. La figure 11 présente les durées des séquences de mistral à Orange : toutes les classes de durée de 1 à 9 jours sont représentées. La durée des épisodes de mistral peut même largement dépasser 10 jours. Par exemple, pour Orange, on a enregistré :

- 12 jours consécutifs du 6 au 17 avril 1995 et du 23 janvier au 3 février 2005 ;
- 14 jours consécutifs du 12 au 25 mars 1998 ;
- 16 jours consécutifs du 6 au 21 décembre 1988 et du 5 au 20 novembre 2004.

Les rafales de mistral dépassent régulièrement les 100 km/h. Les deux derniers épisodes mémorables, avec des rafales supérieures à 130 km/h, voire à 140 km/h en basse Provence, datent de novembre 2004 et de février 2002 et ont provoqué de nombreux dégâts ou perturbations, notamment sur les transports aériens, maritimes et ferroviaires et sur le réseau EDF.

Une autre idée couramment répandue est que le mistral souffle toujours plus fort en journée que la nuit, voire qu'il s'arrête totalement la nuit pour reprendre le lendemain. Cette croyance se vérifie souvent car, pour un mistral modéré, le refroidissement nocturne est suffisant pour créer une pellicule d'air stable dans les basses couches. En revanche, l'intensité du mistral varie peu au-dessus de la couche limite nocturne, à quelques centaines de mètres d'altitude.

Mais tout dépend de la puissance de l'alimentation en air froid, régie par le contexte synoptique général, qui peut éventuellement pénétrer les couches stables de surface. Dans le cas de la situation récente des 9 et 10 avril 2005 (figure 12), l'observation montre qu'à Tarascon, en basse vallée du Rhône, les rafales les plus fortes se sont produites indifféremment de jour comme de nuit (avec deux rafales maximales de 35 m/s, soit 126 km/h, l'une en pleine journée, l'autre en milieu de nuit).

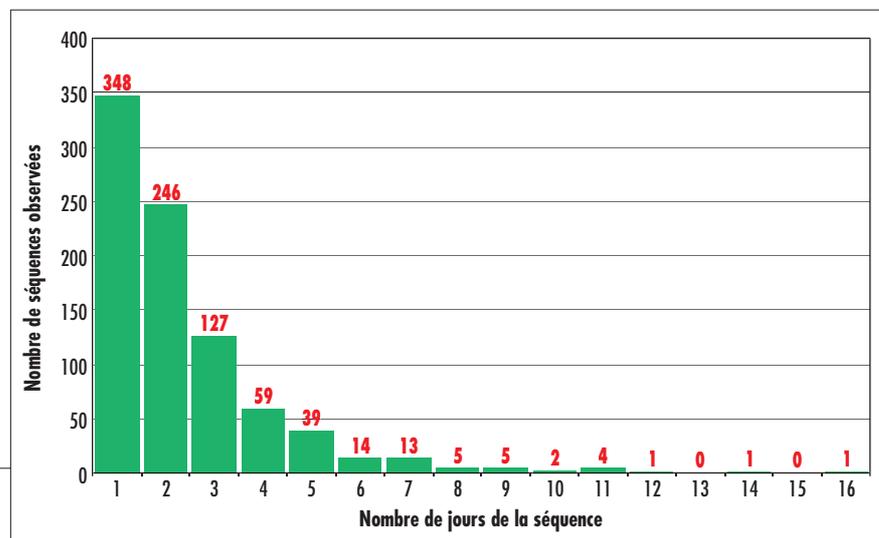


Figure 11 - Nombre de séquences de mistral observées à Orange en fonction de leur durée sur la période 1981-2000.

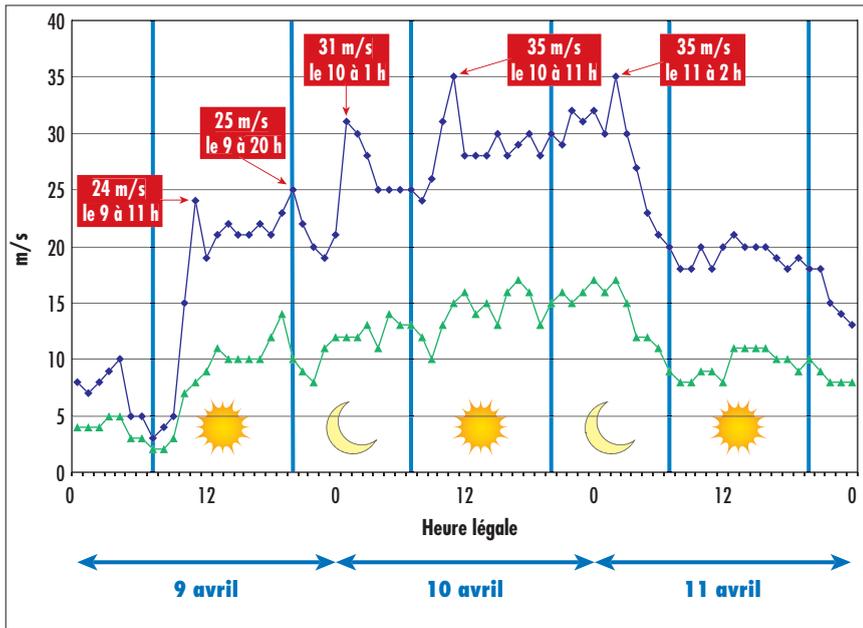


Figure 12 - Vitesses maximales horaires (m/s) du vent instantané (en bleu) et du vent moyen sur 10 minutes (en vert) mesurées à Tarascon (Bouches-du-Rhône) du 09.04.2005 à 0 h légales au 11.04.2005 à 24 h légales. On notera que le vent instantané a atteint des valeurs (rafales) de 35 m/s (126 km/h), alors que le vent moyen sur 10 minutes n'a pas dépassé 17 m/s (61 km/h).

Mistral et incendies de forêts

La période de prédilection pour le mistral se situe en hiver ; cela est surtout vrai pour le mistral rhodanien et ne doit pas occulter le fait que ce vent souffle aussi en été. Dans la basse vallée du Rhône, dans le Var et en Corse, les effets de brise entretiennent un mistral fort avec la même fréquence tout au long du printemps et jusqu'au début de l'été. Sous l'action du vent, la vitesse de propagation d'un incendie est alors très importante : elle peut dépasser 1 500 m/h. Aussi, pour la sécurité des marcheurs,

l'accès aux massifs forestiers peut être interdit pendant la période estivale. En outre, le mistral crée des conditions très turbulentes au voisinage des reliefs, rendant les interventions des canadais difficiles. Enfin, le vent peut emporter des brandons à plusieurs centaines de mètres, créant de nouveaux foyers d'incendie.

Exemple d'épisode estival : une tempête de tramontane, de mistral et de libeccio des plus remarquables s'est produite les 7, 8 et 9 juillet 1996, avec des rafales atteignant presque 120 km/h sur le littoral de l'Aude, 100 km/h en Provence intérieure et plus de 140 km/h sur la côte

varoise, les rafales les plus violentes (150 à 180 km/h) s'étant produites en Corse sur la Balagne et le cap Corse, mais également dans le sud de la plaine orientale de l'île.

Les feux les plus dévastateurs se produisent le plus souvent au cours d'étés extrêmement secs conjugués à un fort mistral (figure 13). Malgré l'importance des moyens de lutte contre les incendies mis en place, les surfaces brûlées peuvent dépasser 3 000 hectares sur un seul départ de feu. En juillet 1997, 3 450 ha ont été brûlés près de Marseille (massifs de l'Étoile et du Garlaban). Ce jour-là, le mistral soufflait en rafales à plus de 100 km/h dans les Bouches-du-Rhône. La vitesse (calculée) de propagation de l'incendie a été de 1 800 m/h.

Y avait-il plus de mistral autrefois ?

On entend souvent les Provençaux affirmer qu'il y a moins de mistral qu'auparavant. Seule une étude de l'évolution de la fréquence annuelle des épisodes de mistral en Provence peut apporter une réponse objective à cette question.

Même si les données de rafales de vent sont disponibles sur plus de cinquante ans pour les stations météorologiques synoptiques

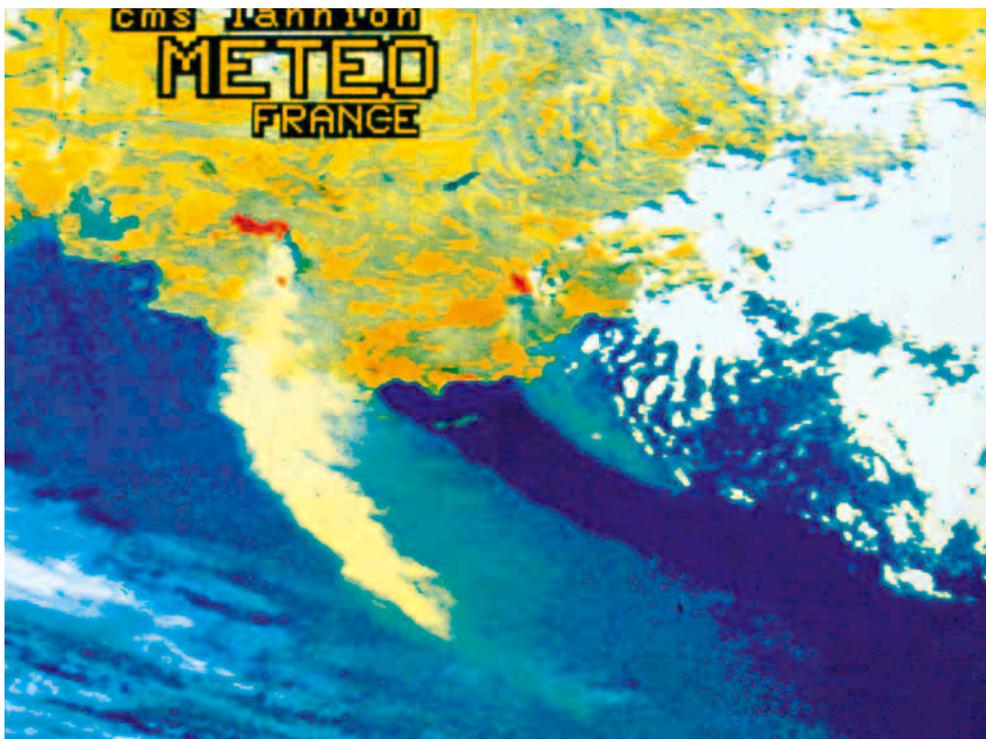


Figure 13 - Image du satellite NOAA 11 du 28.08.1989 à 12 h 52 UTC sur la Provence. On observe le panache de fumée issu de l'incendie du massif de Sainte-Victoire (Bouches-du-Rhône), panache qui suit le trajet du mistral jusqu'en Méditerranée. On distingue plus à l'est un autre foyer sur le Var. Ce jour-là, le mistral soufflait en rafales atteignant 100 km/h sur les Bouches-du-Rhône et 4 500 ha de forêts ont été brûlés à partir d'un seul départ de feu. (Photo Météo-France, DP/CMS/ Lannion)

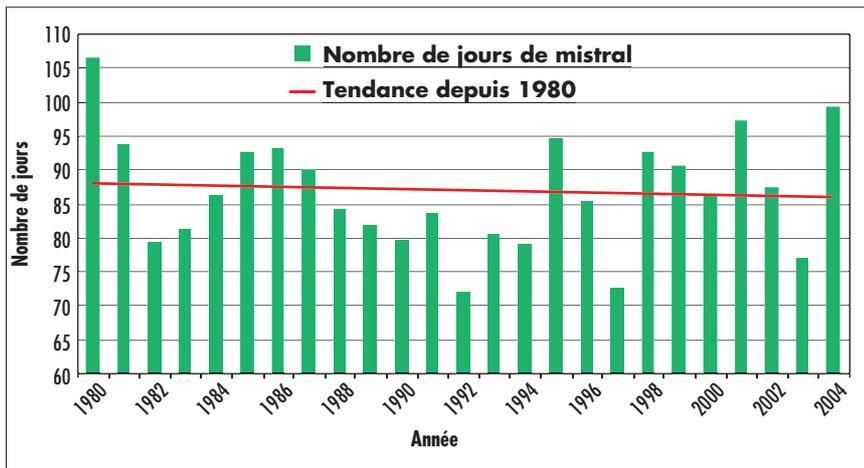


Figure 14 - Moyenne annuelle régionale (période 1980-2004) du nombre de jours de mistral selon le critère de sélection suivant : est considéré comme jour de mistral un jour où la rafale maximale dépasse 16 m/s à Montélimar, Orange, Istres, Marignane ou Toulon, avec des directions comprises respectivement entre 320° et 040°, 320° et 030°, 300° et 010°, 300° et 010°, 260° et 340°.

comme Montélimar, Orange, Istres, Marignane ou Toulon, celles-ci ne peuvent être étudiées, dans le cas qui nous intéresse, que sur la période commune aux cinq stations pendant laquelle les conditions de mesure du vent (notamment le type d'anémomètre et le pylône) n'ont pas changé. Celle-ci débute en 1980.

On a choisi d'étudier la fréquence annuelle du nombre de jours de mistral

à l'aide de l'occurrence du mistral sur les cinq stations citées ci-dessus. Il apparaît (figure 14) que les années avec beaucoup d'épisodes et les années avec peu d'épisodes sont dans l'ensemble bien réparties autour de la moyenne, qui est de 87 jours par an. Parmi les années avec peu de mistral (moins de 75 jours), on peut citer 1992 et 1997. Les années avec beaucoup de mistral (plus de 95 jours) – 1980, 1995, 1998, 2001 et 2004 – sont bien distribuées

dans le temps. La variabilité interannuelle peut être très importante : seulement 77 jours en 2003 contre 99 en 2004.

Sur la figure 14, la courbe rouge représente la tendance linéaire correspondante. On ne constate pas d'évolution notable sur les vingt-cinq années. Malgré tout, la fréquence du mistral semble être un peu plus élevée ces dernières années (2001, 2002 et 2004), en comparaison avec les années 1988 à 1994 caractérisées par une faible variabilité autour de la moyenne annuelle (tableau 1).

Conclusion

Depuis 1925, grâce aux progrès de la météorologie dans le domaine de la prévision et dans celui de la climatologie, qui s'appuie désormais sur un réseau beaucoup plus dense et sur de longues séries de mesures, la connaissance du mistral et sa prévision à l'échelle synoptique se sont considérablement améliorées. Les outils de la prévision sont cependant encore insuffisants pour appréhender les phénomènes d'échelle beaucoup plus petite, pour lesquels l'expertise du prévisionniste demeure irremplaçable.

	Nombre moyen par an de jours avec mistral	Valeur minimale (année)	Valeur maximale (année)
Montélimar	85	71 (1997)	109 (1986)
Orange	101	79 (1997)	117 (1985 et 1995)
Istres	84	63 (1992)	99 (1995)
Marignane	74	48 (1992)	89 (1981)
Toulon	81	66 (1989)	96 (1999)

Tableau 1 - Nombre annuel de jours avec mistral : moyenne, minimum et maximum sur la période 1981-2000. Depuis 2000, l'année 2004 a été très ventée (record à Orange et Marignane avec respectivement 129 et 95 jours de mistral). À Montélimar, Istres et Toulon (respectivement 97, 97 et 78 jours), 2004 n'est pas une année record.

Bibliographie

- Baldit A. et E. Rougetet, 2005 : Le mistral (article de 1925). *La Météorologie* 8^e série, 50, 26-29.
- Hontarrède M., 2003 : Les caprices du vent. *Met Mar*, 199, 3-6.
- Mondon B., 2004 : *Petite anthologie du mistral*. Éditions Équinoxe, Saint-Rémy-de-Provence, 144 p., photographies de Steffen Lipp.