

1.3 Météorologie et climatologie

La connaissance fine des conditions météorologiques et climatiques est importante pour les études d'impact. Elle permet en effet de connaître et de modéliser les déplacements des masses d'air autour des installations et ainsi de pouvoir appréhender la dispersion des rejets atmosphériques (gazeux et particules en suspension).

1.3.1 Généralités

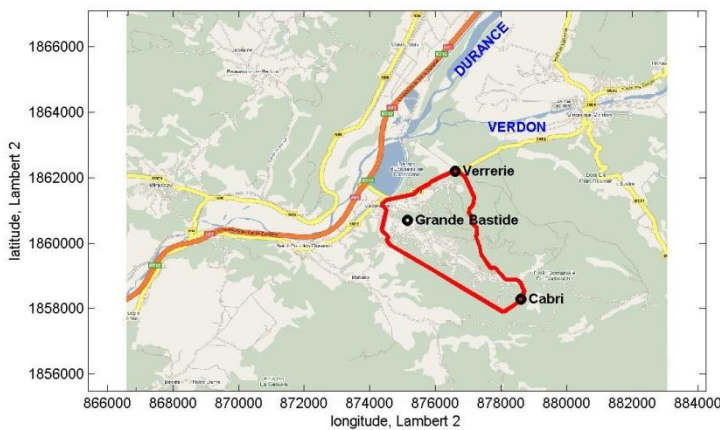
Le site est situé à l'aval de la confluence de la Durance et du Verdon, peu avant un rétrécissement très marqué au niveau du défilé de Mirabeau. La vallée de la Durance y joue un rôle important dans les écoulements de masses d'air. Elle est orientée nord-est sud-ouest au nord de Cadarache et passe est-ouest après le défilé Mirabeau.

Le climat de la région de Cadarache est de type semi-continentale ; il constitue une transition entre le climat méditerranéen et les climats alpin et rhodanien.

D'une manière générale, le climat du bassin de la moyenne Durance est caractérisé par de forts contrastes diurnes et annuels (température, humidité, vent), un air très sec à certains moments de l'année, des vents locaux placés sous l'influence prépondérante du relief (brises de vallées).

La climatologie du site de Cadarache est suivie par trois postes météorologiques : les stations de la Verrerie, de la Grande Bastide (station équipée d'un pylône de 110m) et de Cabri.

Ces mesures sont complétées par celles d'une station météorologique (dite Xaria) exploitée suivant les règles de Météo-France et dont les données sont transmises en continu vers le Centre Météorologique Régional de Marnage. Cette dernière est située au lieu-dit de la Verrerie, à proximité immédiate de celle du CEA.



Implantation des postes météorologiques sur le site de Cadarache (Nord ↑)

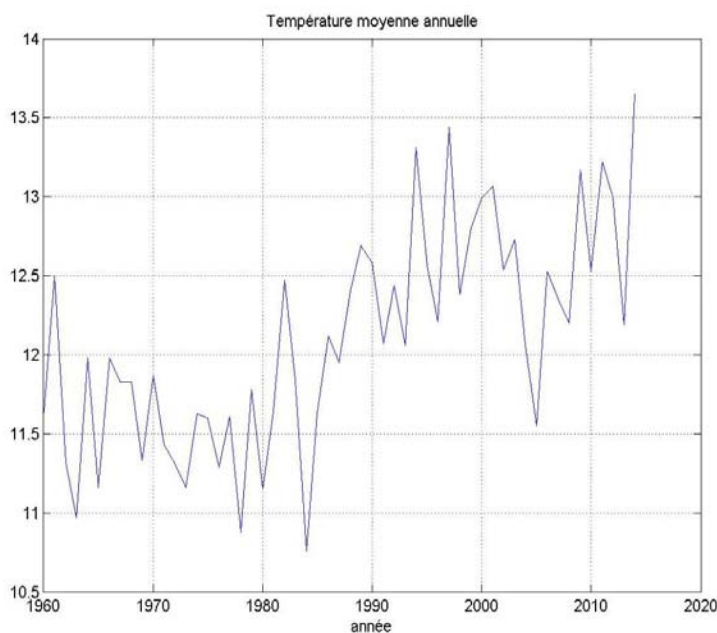


Station Xaria

1.3.2 Températures

On dispose des valeurs mesurées à 2 mètres du sol sur les stations depuis 1960, dans un premier temps archivées sur support papier puis sur support informatique (début des années 90). Elles permettent de calculer des températures moyennes annuelles présentées dans la figure ci-contre.

Pour avoir les données représentatives de la situation actuelle, on limite la période étudiée aux 15 dernières années 2000-2014 dans la suite de cette étude. Ceci permet de disposer d'un échantillon de plus de 500 000 mesures de température moyennées sur 10 minutes, dont le tableau ci-après est tiré.

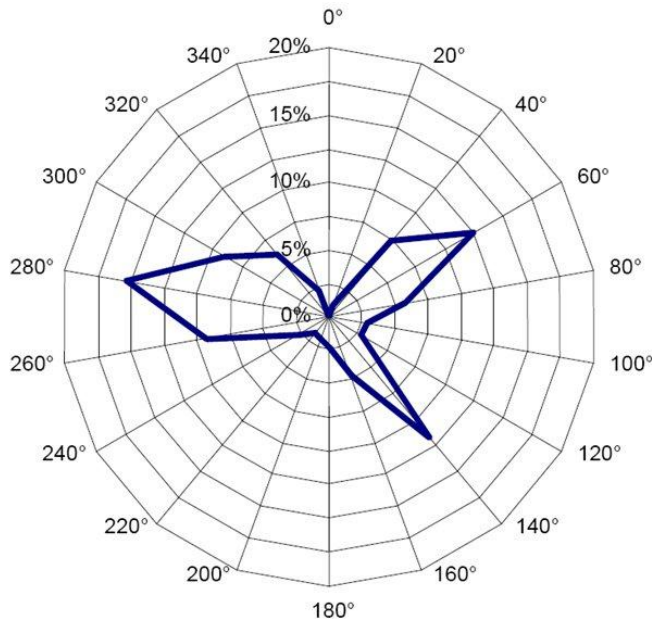


Température minimum	-14.7°C	Le 20/12/2001 à 07h10	
Température maximum	44.5°C	Le 08/08/2003 à 11h40	
Température moyenne annuelle	12.7°C	minimum	maximum
		11.6°C (2005)	13.7°C (2014)
Moyenne janvier	3.3°C	1.2°C (2002)	5.9°C (2001)
Moyenne février	4.3°C	0.5°C (2012)	6.6°C (2002)
Moyenne mars	8.3°C	6.2°C (2005)	10.3°C (2001)
Moyenne Avril	11.8°C	10.6°C (2004)	13.5°C (2007 et 2011)
Moyenne mai	16.1°C	13.8°C (2013)	18.9°C (2009)
Moyenne juin	20.4°C	17.6°C (2007)	23.7°C (2003)
Moyenne juillet	22.7°C	20.6°C (2000)	24.6°C (2010)
Moyenne août	22.1°C	19.5°C (2007)	24.9°C (2003)
Moyenne septembre	17.8°C	16.2°C (2002)	19.5°C (2011)
Moyenne octobre	13.6°C	11.6°C (2003)	16.3°C (2001)
Moyenne novembre	7.8°C	5.4°C (2005)	10.4°C (2014)
Moyenne décembre	3.7°C	0.5°C (2005)	6.6°C (2000)

Températures moyennes et extrêmes de la période 2000-2014

1.3.3 Direction et vitesse du vent

Sur Cadarache, la direction et la vitesse du vent sont mesurées aux trois stations météorologiques de la Verrerie (à 15 m au-dessus du sol), Cabri (à 10 m au-dessus du sol) et Grande Bastide (à 10 et 110 m au-dessus du sol).



Pour lire la rose des vents : un exemple

Le point à 280° est à environ 15%. Cela signifie que 15% des vents viennent de cette direction à +/- 10° (donc entre 270 et 290°).

0° correspond au nord, 90° à l'est, 180° au sud et 270° à l'ouest.

Rose des vents mesurée à 110m à la Grande Bastide

La mesure à 110m est représentative des écoulements qui règnent dans la vallée de la Durance.

Cette rose des vents présente 3 directions principales :

- Le vent d'ouest/nord-ouest correspond aux conditions de Mistral et de brise sur Cadarache, il correspond aux vents les plus forts pour le Mistral et est généralement associé à des conditions sèches et diffusives (diffusion normale, DN).
- Le vent de sud-est souvent constaté en conditions de pluie, il est traditionnellement appelé « Marin ».
- Le vent de nord-est qui est spécifique à la vallée de la Durance.



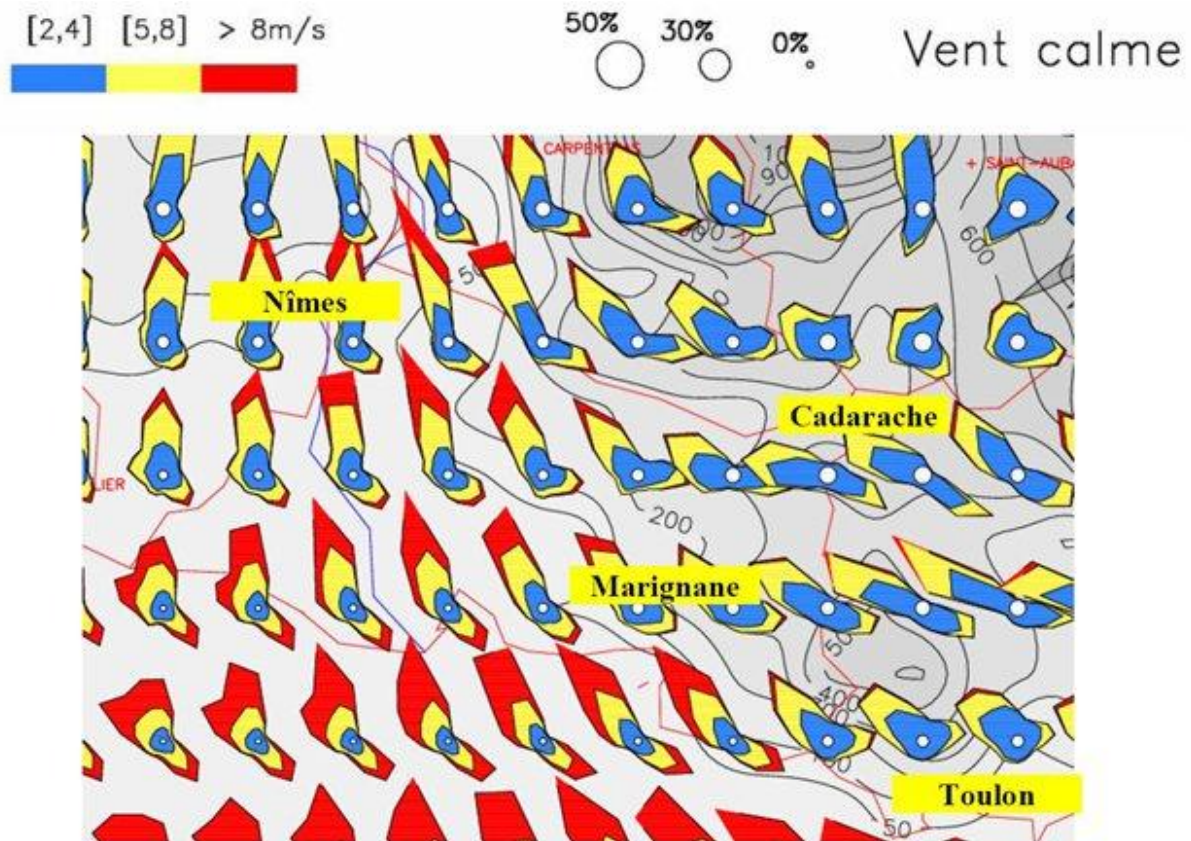
Mât de la grande bastide

Le vent de nord-est est essentiellement constaté de nuit et a très probablement une origine thermique (**vent catabatique**). Ce vent peut changer de direction au voisinage du sol en suivant la ligne de plus grande pente au niveau du sol.

Vent catabatique :

Vent gravitationnel produit par le poids d'une masse d'air froid dévalant un relief géographique. Les vents catabatiques les plus violents et les plus spectaculaires se rencontrent près des Pôles. Néanmoins, ils ne sont pas limités aux régions polaires : il en existe aussi dans les vallées montagneuses lorsque la nuit, l'air d'altitude est refroidi beaucoup plus intensément que celui au fond de la vallée. L'air froid plus dense, sous l'effet de son propre poids, dévale alors rapidement le long des pentes de la vallée.

La rose des vents est représentative des conditions de vent dans l'environnement immédiat (quelques kilomètres) ; à une plus grande échelle les conditions de vent sont très différentes.



Variation de la rose des vents sur la région PACA

On constate sur le schéma ci-dessus :

- la réorientation du Mistral qui passe d'une direction nord dans la vallée du Rhône, à une direction ouest dans le secteur de Cadarache ;
- l'atténuation de la force du vent dans le secteur de Cadarache avec l'augmentation de la probabilité de vents calmes ;
- dans une moindre mesure, l'apparition du vent de nord-est en vallée de la Durance.

Le vent seul ne permet pas d'avoir une perception exacte de la circulation des masses d'air, il faut également connaître le gradient thermique vertical (c'est-à-dire la variation de la température avec l'altitude) qui donne une indication des conditions de stabilité atmosphérique.

On considère que si le gradient vertical thermique est inférieur ou égal à $-0.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, alors les conditions atmosphériques sont diffusives (diffusion normale, DN) et si le gradient thermique est supérieur à $-0.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ les conditions sont stables (diffusion faible, DF).

Les conditions de stabilité atmosphérique pour la zone de Cadarache sont estimées à partir de la mesure du gradient thermique au niveau de la station de la Grande Bastide. Cette donnée est déduite de l'écart des températures mesurées entre le sommet du mât (110 m) et sa base à 2 m.

De manière générale on constate sur Cadarache une forte probabilité de conditions stables, associées à des conditions de vent faible.

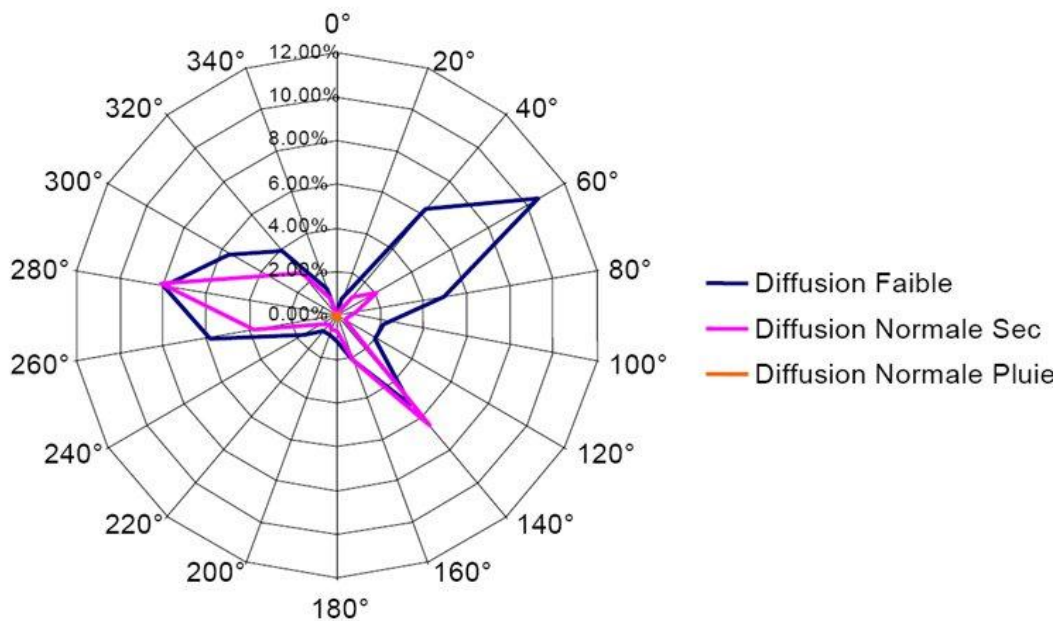
Les mesures indiquent de fréquentes inversions thermiques (la température en hauteur est supérieure à celle au sol), mais la mesure de température n'étant effectuée qu'en deux points distants il n'est pas possible de connaître avec précision la hauteur de la couche d'inversion. L'observation ponctuelle de panache de fumées à proximité du site, permet de confirmer l'existence d'une couche d'inversion de hauteur de quelques dizaines de mètres.



Inversion thermique au-dessus du bassin de Cadarache

La condition de vent doit aussi être corrélée à la présence ou à l'absence de pluie, qui modifie la stabilité atmosphérique et influence le dépôt au sol.

En tenant compte de ces éléments, on obtient les roses des vents présentées ci-après.



Rose des vents à la Grande Bastide 110m présentée par condition de stabilité

Ce sont ces roses des vents qui sont utilisées dans les calculs d'impact des rejets gazeux.

1.3.4 Précipitations

1.3.4.1 Pluie

Cadarache connaît un régime de pluie correspondant au climat méditerranéen, avec des étés secs et les plus fortes pluies à l'automne. Les pluies sont le plus souvent intenses et brèves.

Les hauteurs de précipitation sont mesurées par :

- un relevé journalier et manuel d'un pluviomètre à lecture directe ;
- l'enregistrement automatique des basculements d'un pluviomètre automatique à coupelle.



Pluviomètre à coupelle

A gauche pluviomètre à lecture directe

Le pluviomètre à coupelle donne également des indications sur le débit de pluie, mais il est moins fiable que le pluviomètre à lecture directe (perturbations en cas d'orage, bouchage, etc.). Ces deux moyens sont donc complémentaires.

Le tableau suivant donne les hauteurs de pluie mois par mois à la station de la Verrerie pour la période 2000-2014 (relevé journalier) :

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
2000	2	9	83	114	38	61	31	20	108	83	167	53
2001	88	86	61	36	115	4	6	3	49	41	27	8
2002	42	55	38	37	222	77	48	49	98	39	188	38
2003	56	12	12	73	25	2	0	42	57	103	100	114
2004	37	26	10	29	21	12	0	50	35	98	17	62
2005	7	0.5	32	71	55	73	9	16	112	55	56	58
2006	69	27	35	17	12	3	80	41	93	30	25	85
2007	15	29	17	41	78	73	2	13	12	21	50	23
2008	56	34	27	87	128	73	1	19	73	94	112	188
2009	52	39	38	107	62	44	2	17	92	46	53	101
2010	83	72	72	43	59	113	1	38	38	139	70	64
2011	30	30	71	45	6	93	66	22	75	60	272	12
2012	27	0	0	102	99	8	15	17	45	160	145	38
2013	38	20	149	81	96	3	78	21	34	48	36	109
2014	167	123	31	28	21	49	47	52	37	72	149	21
moyenne	51	38	45	61	69	46	26	28	64	73	98	65

Hauteur de pluie mensuelle (en mm/mois)

On constate de fortes variations d'une année sur l'autre, avec globalement un maximum de précipitations entre septembre et décembre.

La pluie peut entraîner un dépôt au sol accéléré d'éléments qui se trouvent en suspension dans l'air. Pour les calculs d'impact des rejets atmosphériques, il est donc important de connaître avec précision le débit de pluie instantané et la durée de la pluie.

1.3.4.2 Phénomènes électriques associés aux précipitations

D'une manière générale, les phénomènes orageux sont fréquents dans la région. Les renseignements fournis par Météorage permettent de comparer le site de Cadarache, avec les moyennes observées pour le reste de la France (base de données allant de 1988 à 1993).

Le nombre d'impacts de foudre par an dans un rayon de 10 km est de 567 dans la région de Cadarache, deux fois plus que la moyenne française. Le nombre d'impacts de très forte intensité (> 100 000 A) est de 16 à comparer à 11 pour la moyenne nationale.



Episode de février 2002

1.3.4.3 Neige

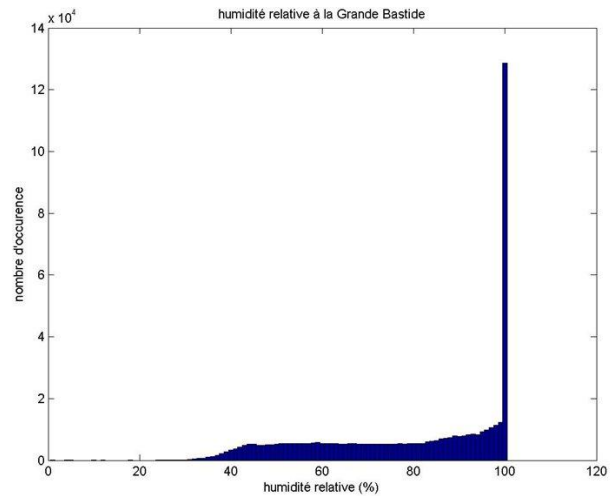
Dans la région PACA, on recense 40 épisodes neigeux à une altitude inférieure à 500 m pour la période 1970-2002. Seize de ces épisodes ont donné une hauteur de neige supérieure à 10 cm.

Pour les années postérieures, à Cadarache, des épisodes neigeux ont été relevés en janvier et février 2003, en décembre 2004, en février et décembre 2005, en janvier 2006, en novembre 2007, en janvier et décembre 2009, en janvier et février 2010 (données issues d'une étude spécifique réalisée par Météo-France).

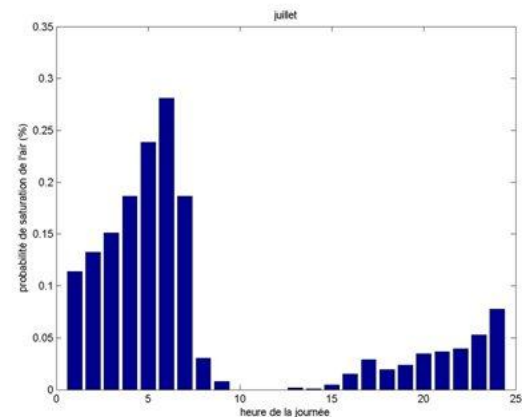
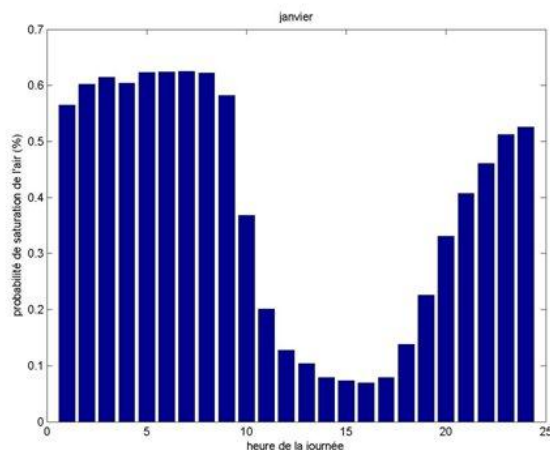
La densité moyenne de la neige est voisine de 0,1 c'est-à-dire que 1 cm de neige équivaut à 1 mm de précipitation. La densité de la neige atteint 0,2 dans le cas de neige collante.

1.3.4.4 Humidité relative

La figure ci-contre présente l'histogramme d'humidité relative mesurée à la station de la Grande Bastide pour la période 1999 à 2009. On y constate une forte probabilité (environ 24% du temps) de conditions saturées qui peuvent correspondre à des conditions de brouillard. Cette situation est souvent liée aux conditions d'inversion thermique qui sont propices à l'apparition de brouillard dit « de rayonnement ». En se refroidissant au contact du sol l'air atteint son point de rosée entraînant la formation d'une nappe de brouillard. Cette situation est particulièrement fréquente au niveau de la Grande Bastide du fait de sa position en fond de vallée.

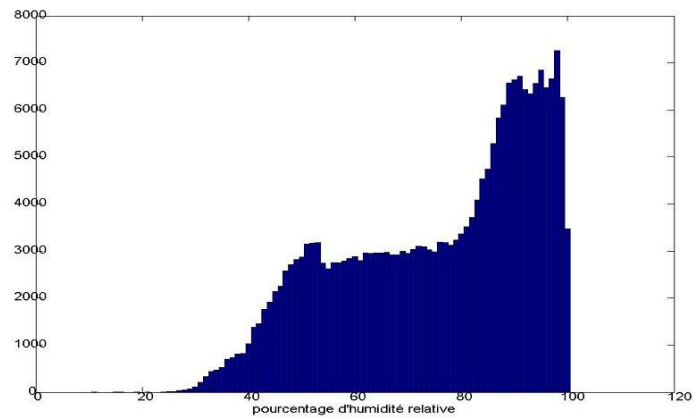


La probabilité d'atteindre des conditions saturées en humidité est variable pendant l'année, elle est maximale (de l'ordre de 40 %) pour les mois d'automne. De même, la probabilité de saturation de l'air en humidité, suit un cycle journalier. Les deux diagrammes journaliers ci-dessous présentent les situations des mois extrêmes.



Evolution de la probabilité de saturation de l'air en humidité (Grande Bastide)

Cette situation est liée au positionnement en fond de vallée de la station. On ne constate pas le même phénomène au niveau de la station de Cabri (située sur une colline) où la probabilité de saturation en humidité n'est que de 6 %. En effet, en l'absence de vent, et donc de turbulences qui auraient tendance à brasser la masse d'air, l'air froid, plus dense, sédimente en fond de vallée (brise de pente), on parle alors d'inversion de subsidence.



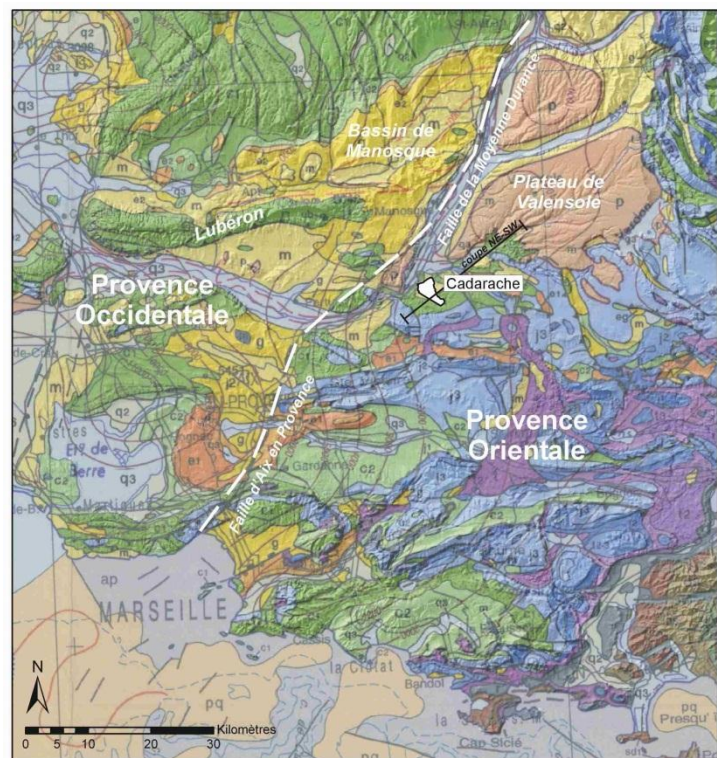
Humidité relative à la station météorologique de Cabri

L'humidité relative moyenne est d'environ 80%, en raison des fortes chutes de température nocturnes, des phénomènes de condensation peuvent se produire.

1.4 Géologie

1.4.1 Contexte général

A l'échelle régionale, le site de Cadarache se déploie en bordure ouest de la « Provence Orientale » au sens géologique du terme, c'est-à-dire à l'est de la Moyenne Durance. L'épaisseur des sédiments déposés et préservés depuis le début de l'ère secondaire, est d'environ 250 millions d'années, est d'environ 2 km. Cette caractéristique contraste fortement avec la « Provence Occidentale » (ouest de la Moyenne Durance) où cette épaisseur sédimentaire pourrait atteindre, voire dépasser, les 10 km. La transition entre ces deux domaines, aux comportements mécanique et tectonique différents, se fait par le système de failles de la Moyenne Durance. Ce système de failles, majeur à l'échelle régionale, se localise à quelques kilomètres à l'ouest du site de Cadarache.



Carte géologique de la Provence

A une échelle intermédiaire, en analysant une coupe NE-SW, le site de Cadarache se situe entre deux plis de rampe : les chevauchements de Vinon-Gréoux au nord (déversés vers le nord) et le pli de la Vautubière au sud (déversé vers le sud).