

Travail pratique #11

Formation et évolution des systèmes météorologiques aux latitudes moyennes. Les cartes en altitude

Matériel nécessaire :

- Ce document imprimé
- Des crayons
- Notes de cours

Partie 1 – Cyclones extratropicaux et la théorie du front polaire

Les masses d'air et les fronts

On peut définir une masse d'air comme un grand volume d'air dont les propriétés physiques (température, humidité, densité) sont relativement uniformes dans le plan horizontal.

Naturellement, une telle homogénéité n'exclut pas les variations dans l'espace et dans le temps, mais les changements sont très progressifs.

Les masses d'air migrent de leurs positions d'origine et affectent le temps aux latitudes moyennes.

Exercice 11.1.1



Figure 7.1 : Masses d'air qui influencent le temps dans l'Amérique du Nord.

1. C'est quoi une masse d'air en météorologie?
2. Comment se forment-elles?
3. Quelles sont les propriétés météorologiques qui permettent la classification des masses d'air?
4. Indiquez dans chaque ovale de la figure 7.1 les types de masse d'air qui influencent l'Amérique du Nord.
5. Quelles sont les deux masses d'air qui affectent l'Amérique du nord et qui sont saisonnières?
6. Les systèmes météorologiques aux latitudes moyennes se forment le long du front polaire. Ce front est la surface de séparation entre quelles masses d'air?

Les fronts marquent la frontière entre deux masses d'air de caractéristiques différentes. On identifie les fronts par les caractéristiques suivantes : un grand gradient de température, un grand gradient d'humidité et / ou une variation très marquée de la direction du vent. On catégorise les fronts selon leur déplacement : front stationnaire - quand la vitesse de l'air est parallèle au front; front chaud – quand l'air chaud avance en faisant reculer l'air froid; front froid – quand l'air froid avance en faisant reculer l'air chaud.

La figure 11.1.2 représente une perturbation aux latitudes moyennes où on représente le centre de basse pression, L, et les deux fronts qui lui sont associés. Noter la direction des vents de chaque côté des fronts chaud et froid.

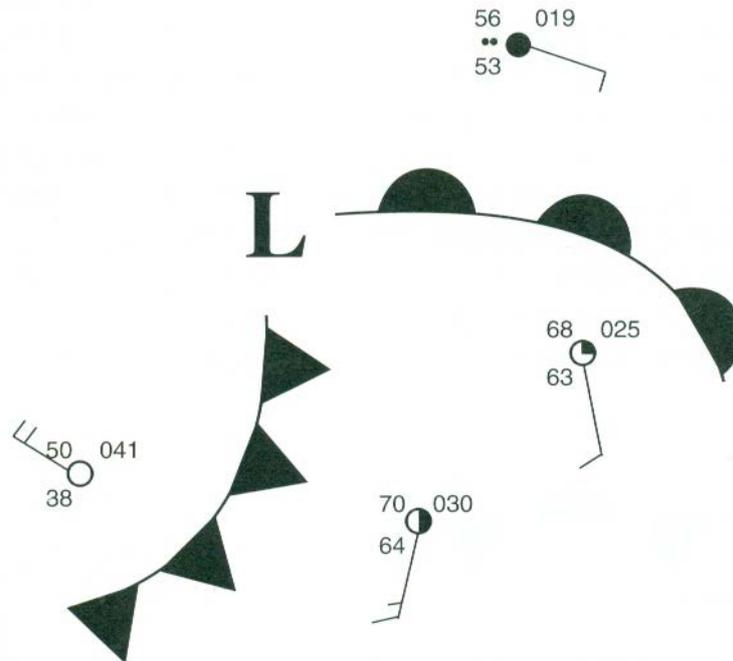


Figure 11.1.2 : système dépressionnaire aux latitudes moyennes. Températures en Fahrenheit.

Théorie norvégienne du front polaire

Commençons par analyser la théorie norvégienne du front polaire, figure 11.1.3. Dans ce modèle, les cyclones se forment le long d'un front stationnaire qui sépare la masse d'air tropicale de la masse d'air polaire. Ces masses d'air ont des densités différentes et se déplacent en directions opposées. Une petite perturbation le long de ce front est à l'origine d'une ondulation. Cette perturbation peut, en certaines conditions, s'amplifier en permettant le transfert d'air chaud vers le nord et d'air froid vers le sud. Ceci développe une dépression le long du front polaire. À ce moment, l'air chaud se soulève le long des fronts et une circulation cyclonique s'établit autour du centre de basse pression. Comme le front chaud se déplace typiquement à une vitesse supérieure au front froid, le secteur chaud est progressivement soulevé de la surface et l'occlusion commence. C'est l'apogée du système, caractérisé par un maximum de couverture nuageuse, de précipitation et une augmentation du gradient horizontal de pression. Au fur et à mesure que le contraste de température entre les deux masses d'air diminue, le système perd sa source d'énergie et le mauvais temps se dissipe.

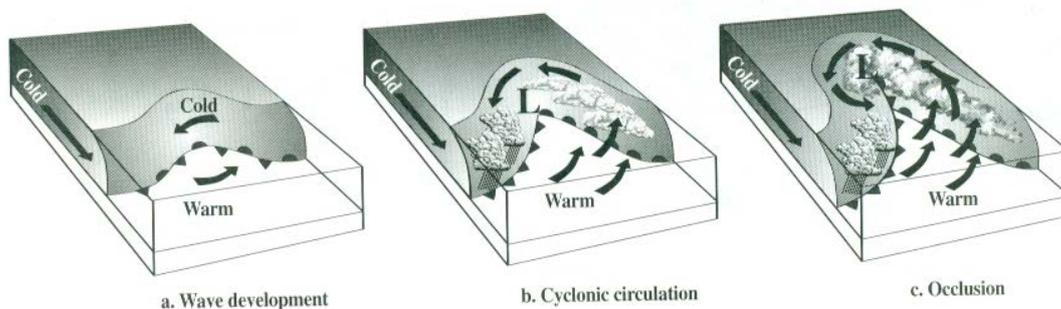


Figure 11.1.3 : développement d'un système dépressionnaire aux latitudes moyennes

Même si le modèle norvégien est une simplification du phénomène réel, il nous donne un point de départ pour interpréter comment ces systèmes de mauvais temps et les fronts qui lui sont associés affectent la température, la température du point de rosée, la pression, les vents, les nuages et la précipitation des régions sur lesquelles ils se déplacent.

Exercice 11.1.2

Les prévisions énumérées ci-dessous décrivent un passage frontal pendant la nuit. Identifier le type de front qui devrait passer à travers la région

- Refroidissement prévu pour aujourd'hui. Faible pluie accompagné de vents du nord-ouest. Plus chaud demain avec un ciel dégagé et la fin des précipitations. Le vent sera du sud.
- Quelques averses aujourd'hui, température pendant le jour d'environ 23°C. Vents légers du sud-ouest. Risque d'orage en soirée, certaines pouvant devenir très fortes. Demain sera beaucoup plus froid avec les températures autour de 15°C, ciel dégagé et vents passant à nord-ouest.
- Chaud et humide aujourd'hui avec quelques orages. Demain, la température continue d'être élevée avec des conditions plus sèches et un ciel clair. Les vents de la nuit changeront du sud-est au sud-ouest.

Exercice 11.1.3 - Pour résoudre cet exercice vous devez localiser le front froid et le front chaud à partir de l'image satellitaire de la figure 11.1.4.

Nous sommes le mi-février et un cyclone extratropical se développe sur le centre du Kansas comme montre l'image satellitaire de la figure 11.1.4. En quelle région espérez-vous trouver chacun de bulletins météo suivants :

- a. Ciel couvert avec de la pluie verglaçante, humidité relative proche de 100%, vents d'est.
- b. Ciel dégagé, humidité relative = 25%, vents d'ouest.
- c. Orage violent à proximité, humidité relative = 93%, vents du sud-est.
- d. Neige abondante, humidité relative = 100%, vents du nord-est

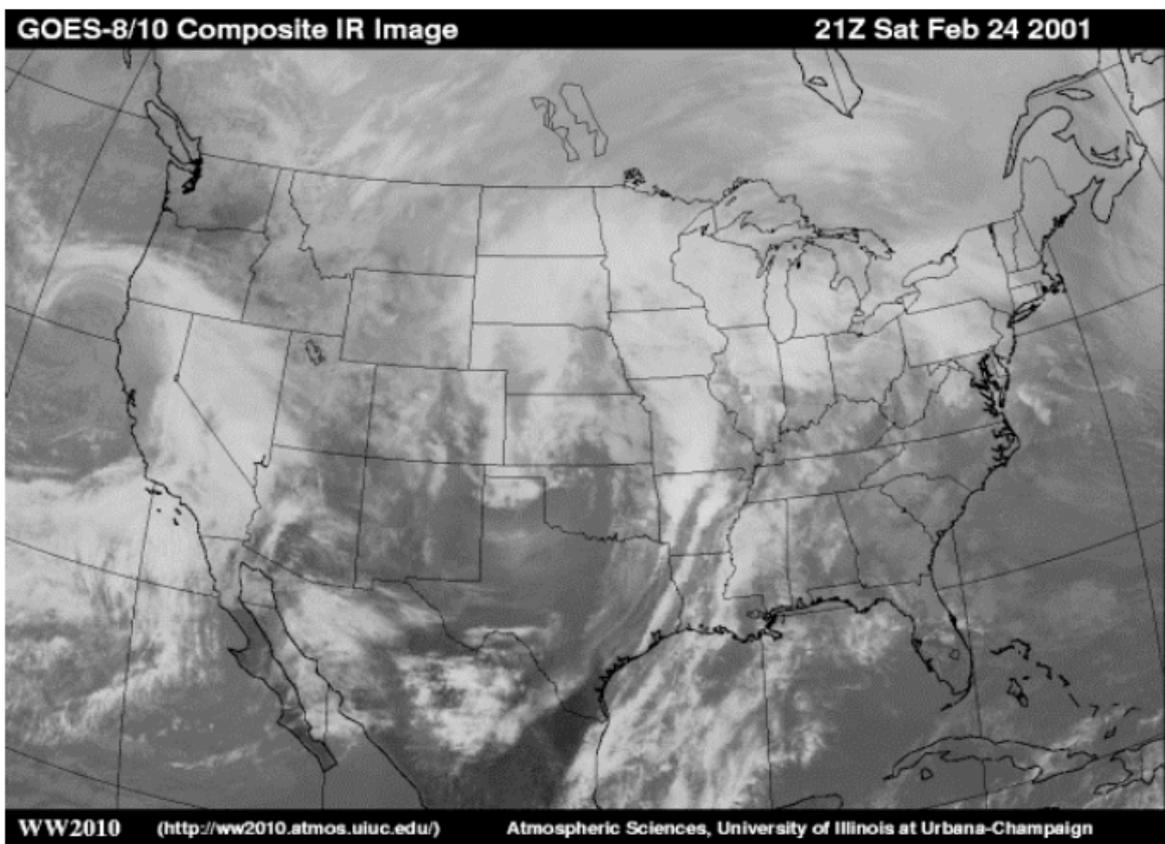


Figure 11.1.4 : image satellitaire infra-rouge, émise le 24 février 2001 à 21Z

Partie 2 - Les cartes météorologiques en altitude

Les cartes météorologiques en altitude montrent les caractéristiques spatiales des variables météorologiques loin de la surface.

1. Par convention, ces cartes sont construites à des niveaux de pression constante plutôt que de hauteur constante.
2. Elles sont émises deux fois par jour, à 00Z et 12 Z.
3. Pour estimer la force de gradient de pression au-dessus de la surface, on utilise le gradient d'hauteur, c'est-à-dire comment la hauteur d'un certain niveau de pression change dans l'espace. Par exemple, on sait que la pression atmosphérique diminue de moitié à la hauteur de 5,6 km. On s'attend donc à ce que la surface de 500 mb soit située autour de cette hauteur. Cependant, la hauteur à laquelle la pression est de 500 mb dépend du profil de la température au-dessous de ce niveau. La relation entre la pression et la température (équation psychrométrique) nous permet de calculer la hauteur au-dessus de chaque station de mesure et la codifier dans les cartes d'altitude.

La figure 11.1 montre le modèle de pointage des stations en altitude (voir l'annexe 11.A1 pour plus de détails).

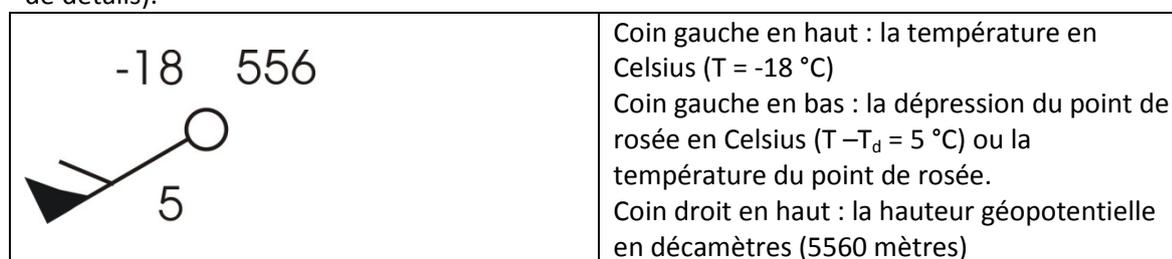


Figure 11.2.1 : Conventions de lecture des cartes en altitude : consultez l'annexe.

Isohypsés

Les lignes de contour d'égale hauteur sont réservées strictement pour les cartes d'altitude et elles connectent des valeurs d'égale hauteur géopotentielle. Le champ obtenu est fonctionnellement équivalent au champ isobarique pour l'analyse des régions de haute et de basse pression. Le tableau 11.2.1 montre la hauteur de référence et l'intervalle de référence pour chaque surface de pression.

Tableau 11.2.1 : Valeurs de référence et intervalle entre les lignes de contour des cartes isobariques.

Niveau de la carte	Valeur de référence	Intervalle
200/250/300 mb	900 dam	12 dam
500 mb	558 dam	6 dam
700 mb	300 dam	3 dam
850 mb	150 dam	3 dam

Cartes de 850 hPa (mb)

Les cartes de 850 mb montrent l'atmosphère au-dessus de la couche limite (couche limite : couche atmosphérique où l'atmosphère est fortement influencée par le cycle diurne de refroidissement et réchauffement de la surface terrestre). On analyse cette carte en traçant les isothermes et les isohypsés. Les météorologistes utilisent la carte de 850 mb pour :

1. Trouver les régions influencées par le mouvement des masses d'air.
2. Trouver les régions où l'advection de température est importante. L'advection d'air chaud existe quand la direction des vents est telle que ceux-ci croisent les isothermes en provenance des régions où les températures sont plus élevées; si les vents croisent les

isothermes en provenance des régions de température plus froide, on est en présence d'advection froide.

Cartes de 700 hPa (mb)

1. Les cartes de 700 mb montrent les isohypses et les isolignes de dépression du point de rosée
2. Les régions dont $T - T_d < 3^\circ\text{C}$ sont associées aux nuages et à la précipitation observée à la surface.

Cartes de 500 hPa (mb)

Les cartes de 500 mb montrent les mêmes variables que les cartes de 850 mb.

1. Les cartes de 500 mb aident à prévoir la direction des tempêtes puisque la vitesse et la direction des vents à 500 mb «guident» leurs trajectoires ;
2. À nos latitudes l'isohypse de 540 dam détermine le type de précipitation pendant l'hiver. Elle sépare la précipitation solide de la précipitation liquide ;
3. En présence d'ondes courtes superposées aux ondes de Rossby (ondes longues), l'écoulement crée des régions où l'advection de température et la divergence du vent contribuent au développement des perturbations de pression à la surface.

Cartes de 300, 250 et 200 hPa

Ces cartes aident les météorologues à identifier le courant jet. Les cartes de 300 mb sont typiquement utilisées pendant l'hiver et les cartes de 200 mb, plutôt en été. Au printemps et à l'automne, certains météorologues utilisent les cartes de 250 mb.

1. Les régions où le vent est supérieur à 60 nœuds sont ombrées et les maximum de vents, les cœurs de jet, entourés.
2. L'identification des régions de divergence et convergence est importante puisque la divergence dans la haute troposphère soutient et développe les dépressions de surface, pendant que les régions de convergence contribuent à combler la dépression de surface (affaiblissement et disparition).

Introduction (concepts importants pour bien comprendre le TP)

Question 11.2.1 : Expliquer comment la pression à une altitude donnée est reliée à la température de l'atmosphère au-dessous de ce niveau.

Question 11.2.2 : Pourquoi la pression atmosphérique varie horizontalement dans l'espace ?

Question 11.2.3 : Des cirrus se déplacent du sud-ouest vers le nord-est. Tracer le champ des isohypses (ou de pression) au niveau des cirrus. Justifier.

Question 11.2.4 : Quelles sont les conséquences de la loi de conservation de la masse (équation de continuité) dans l'atmosphère ?

Question 11.2.5 : Supposer que, dans l'atmosphère, au-dessus d'un anticyclone, la divergence nette est positive. Comment évoluera la pression à la surface ? Pourquoi ?

Question 11.2.6 : Un centre de basse pression situé dans la région de Montréal est au-dessous d'une région de convergence en altitude. Au nord de ce centre, en altitude, on observe de la divergence. En quelle direction se déplacera, probablement, la dépression ? Pourquoi probablement et non certainement ?

Exercice 11.2.1

- a) En utilisant un crayon effaçable, pointez les observations suivantes dans la carte de 500 hPa (figure 11.2.2). Utilisez l'annexe 11.A1 pour localiser les stations aérologiques. (Voir ppt)

ID de la station	Nom de la station	Latitude (°N)	Longitude (°W)	Hauteur (m)	Temp. (°C)	Pt. de rosée (°C)	Vitesse du vent (nœuds)	Direction du vent (°)
ABR	Abderdeen, SD	45,45	98,43	5590	-16,3	-19,2	48,6	235
AMA	Amarillo, TX	35,23	101,70	5740	-11,1	-36,1	44,7	285
BNA	Nashville, TN	36,13	86,68	5770	-12,5	-22,5	15,5	260
EYW	Key West, FL	24,55	81,75	5880	-4,9	-13,9	7,8	95
GGW	Glasgow, MT	48,22	106,62	5470	-30,5	-45,5	9,7	260
GJT	Grand Junction, CO	39,12	108,53	5620	-23,1	-24,6	48,6	255
OTX	Spokane, WA	47,68	117,63	5500	-31,7	-38,7	25,3	305
OUN	Norman, OK	35,22	97,45	5750	-10,9	-31,9	29,1	245
TFX	Great Falls, MT	47,45	111,38	5460	-30,9	-43,9	19,4	230
TUS	Tucson, AZ	32,12	110,93	5800	-9,9	-45,9	17,5	325

- b) Analysez les hauteurs géopotentielles la carte de 500 mb de la figure 11.2.2 en traçant les isohypses à des intervalles de 60 m. Les valeurs acceptées sont 5340, 5400 5460, 5520, etc. Suggestion : Utilisez un crayon effaçable et commencez par la hauteur 552 dam. (Voir ppt)
- c) Marquez les crêtes (ligne rouge en zig-zag, ) et les creux (ligne rouge droite discontinue, )
- d) Observez votre analyse : où observe-t-on les vents géostrophiques les plus forts ? Et les plus faibles ? Vérifiez la relation entre la grandeur des vents et la grandeur du gradient de hauteur.
- e) En général, les hauteurs géopotentielles augmentent ou diminuent-elles vers le nord ? Expliquez pourquoi.
- f) Essayez de faire un lien entre la distribution de la température et les creux et les crêtes.
- g) Pourquoi le niveau de 500 mb a été choisi comme niveau de mesure obligatoire et est un des plus consultés par les météorologues ?

Exercice 11.2.2

Outre la carte de 500 mb, les cartes de 850 mb, 700 mb et 300 mb (ou 250 mb) sont analysées par les météorologistes dans le but de comprendre l'atmosphère à trois dimensions. Les figures 11.2.3, 11.2.4 et 11.2.5 montrent les cartes isobariques de 850 mb, 700 mb et 300 mb respectivement. La figure 11.2.6 montre la carte de surface au même jour et à la même heure. Utilisez l'ensemble des cartes pour répondre aux questions qui suivent.

- a) La carte de 850 mb est utilisée fréquemment pour déterminer la quantité d'humidité disponible pour la formation des nuages et de la précipitation. En quelle région des États Unis se situe l'air le plus sec au niveau de 850 mb ? Où se situe l'air le plus humide ?
- b) Utilisez la carte de 700 mb et un crayon vert pour entourer et ombrer les régions où la dépression du point de rosée ($T - T_D$) est inférieure à 3°C. Dans ces régions, l'air est très humide et la probabilité d'existence de nuages est très élevée. La carte de 700 mb est utilisée conjointement avec la carte de 850 mb pour analyser la quantité d'humidité (vapeur d'eau) disponible pour la formation de nuages et la précipitation.
- c) Si vous étiez un pilote avec permission de «vol à vue» («visual flight rule»), en quelles régions des États-Unis vous serait-il très probablement interdit de voler (le 17 octobre 1996, 0000 UTC)?
- d) Quelle est la direction du vent géostrophique à 700 mb au nord-ouest des États Unis ?
- e) En supposant que les vents sont quasi géostrophiques et en tenant compte du champ de température, prévoyez la variation de température au Colorado, due à l'advection, dans les 12 prochaines heures.
- f) La carte de 300 mb est utilisée fréquemment pour l'analyse des vents, ce qui permet la localisation et l'intensité du courant jet ainsi que son influence sur les systèmes météorologiques. Dessinez, dans la carte de 300 mb, une ligne bleue, épaisse, là où vous pensez que le courant jet se situe. Le courant jet doit être parallèle à l'écoulement et s'étendre de gauche à droite de la carte.
- g) Comparez les cartes de 700 mb, 500 mb et 300 mb. Quelle est la situation géographique relative des 3 creux ?
- h) Comparez la carte de 500 mb avec la carte de surface. Décrivez la situation géographique des creux et crêtes à 500 mb par rapport à la situation géographique des dépressions et des anticyclones à la surface.

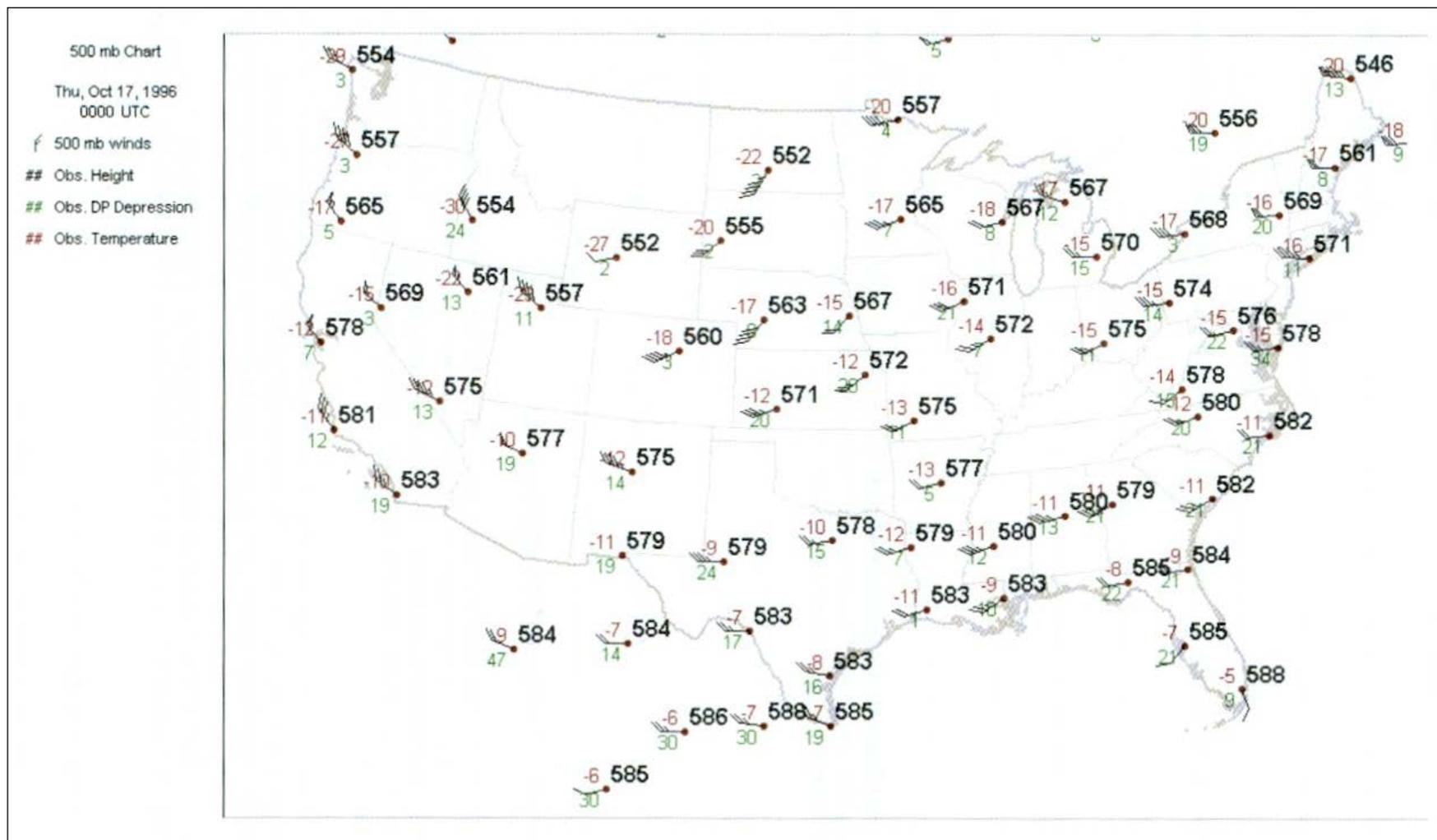


Figure 11.2.2 : Carte de 500 mb, le 17 octobre 1996, 0000 UTC.

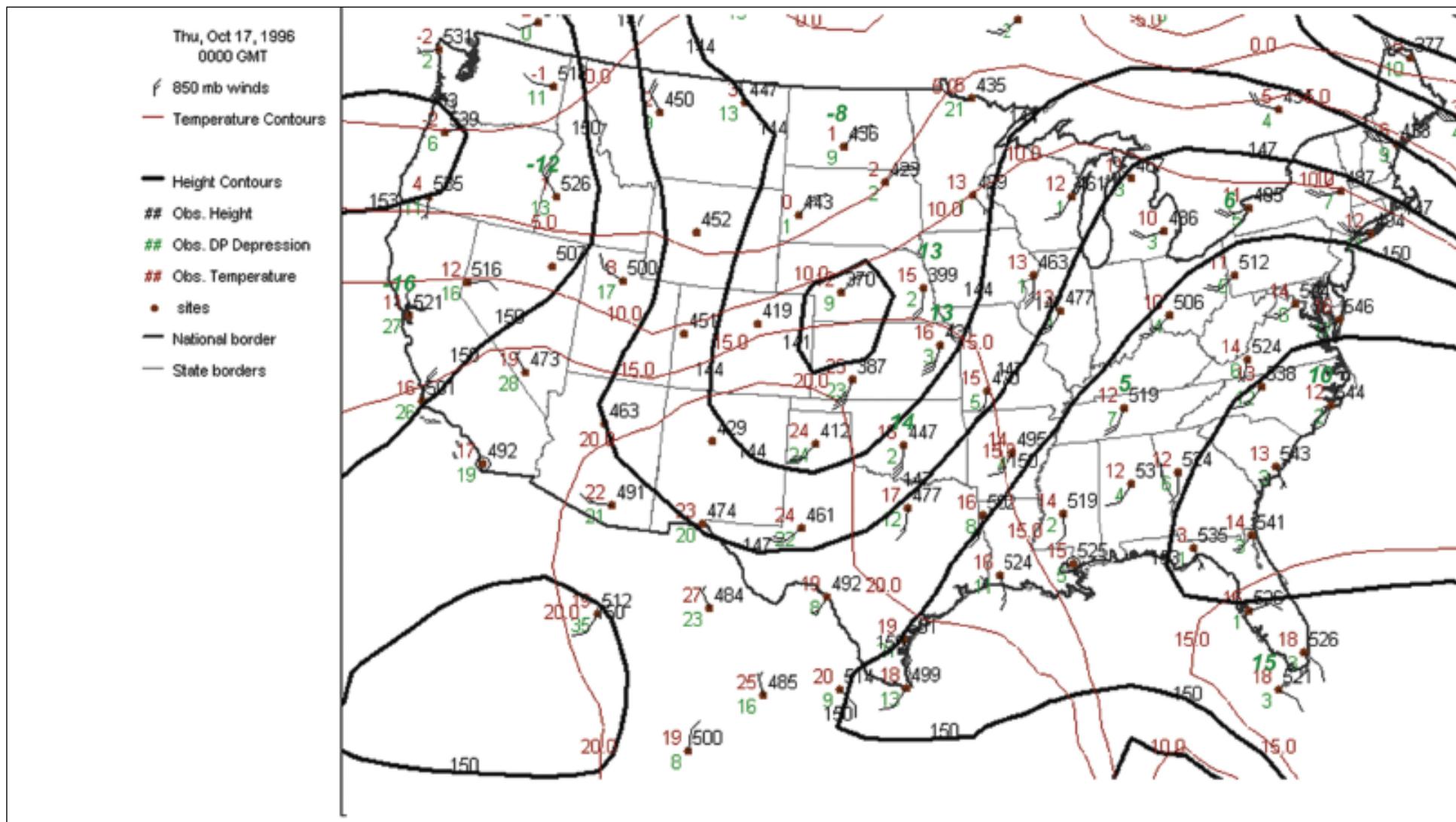


Figure 11.2.3 : carte de 850 mb, le 17 octobre 1996 à 0000 UTC. Lignes noires, épaisses et continues : les isohypses ; lignes rouges continues : les isothermes

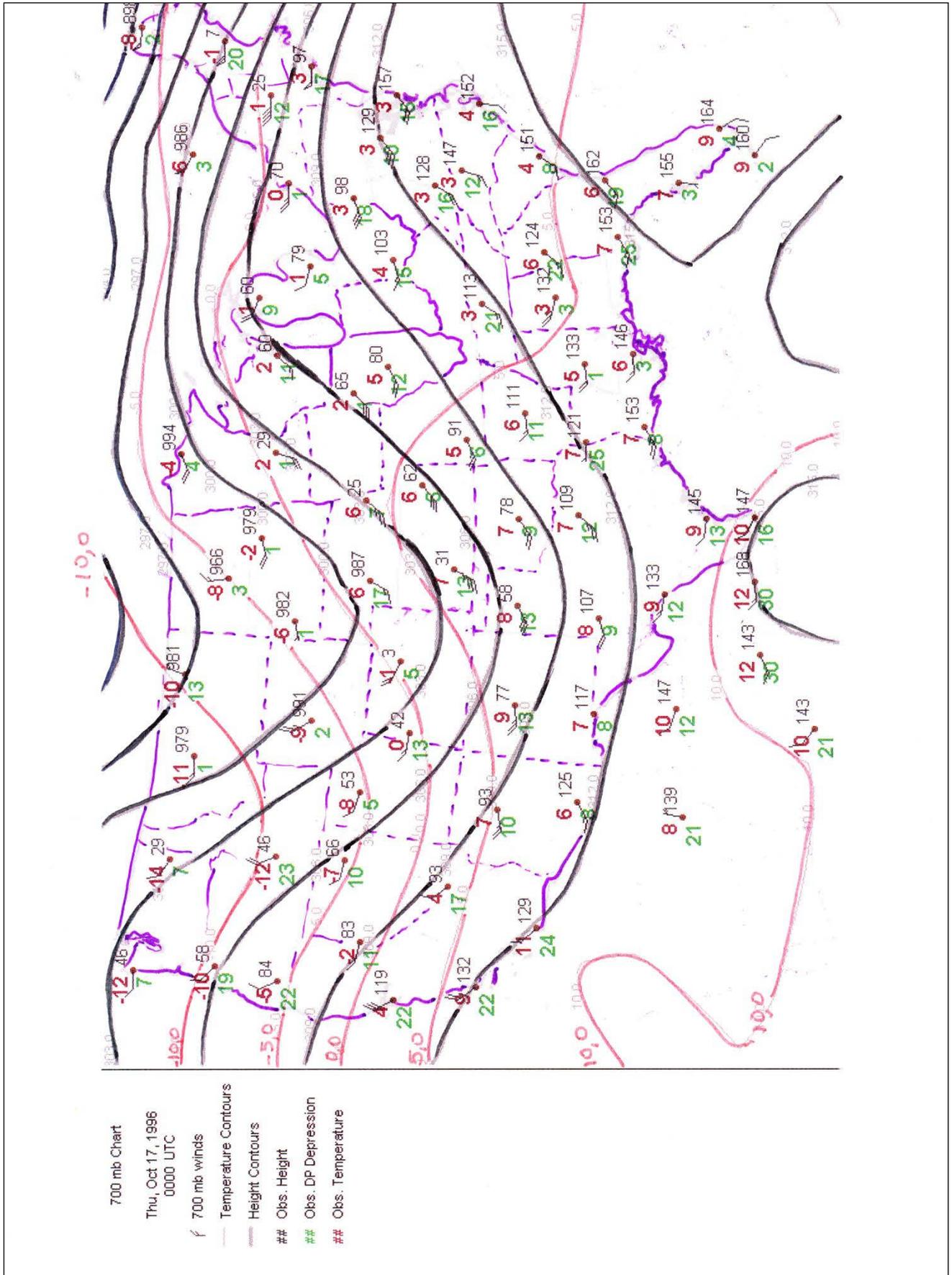


Figure 11.2.4 : carte de 700 mb le 17 octobre à 0000 UTC. Analyses: isohypses en gris, isothermes en rouge, contours des états en mauve.

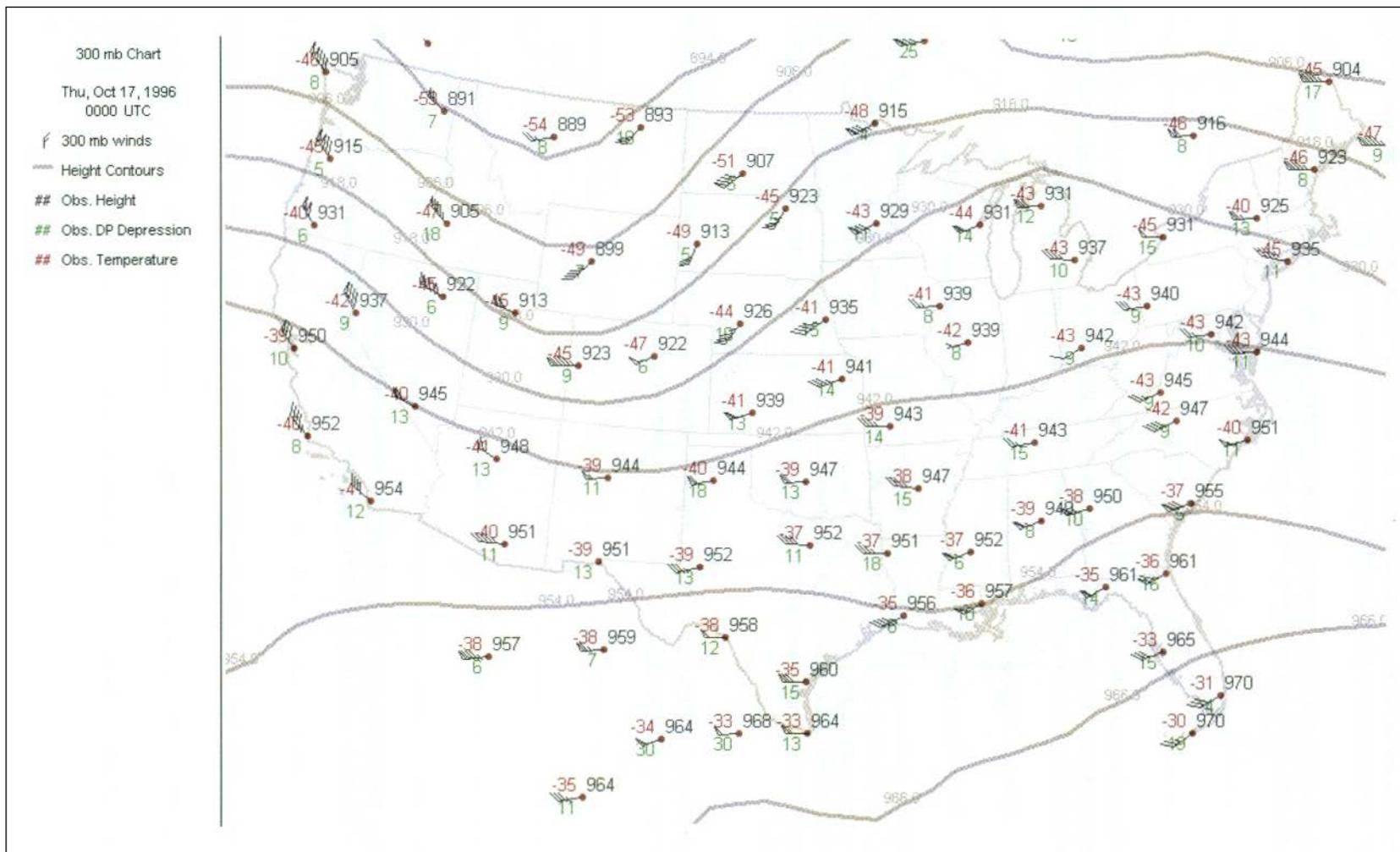


Figure 11.2.5 : carte de 300 mb, le 17 octobre 1992 à 0000 UTC. Analyse : isohypses.

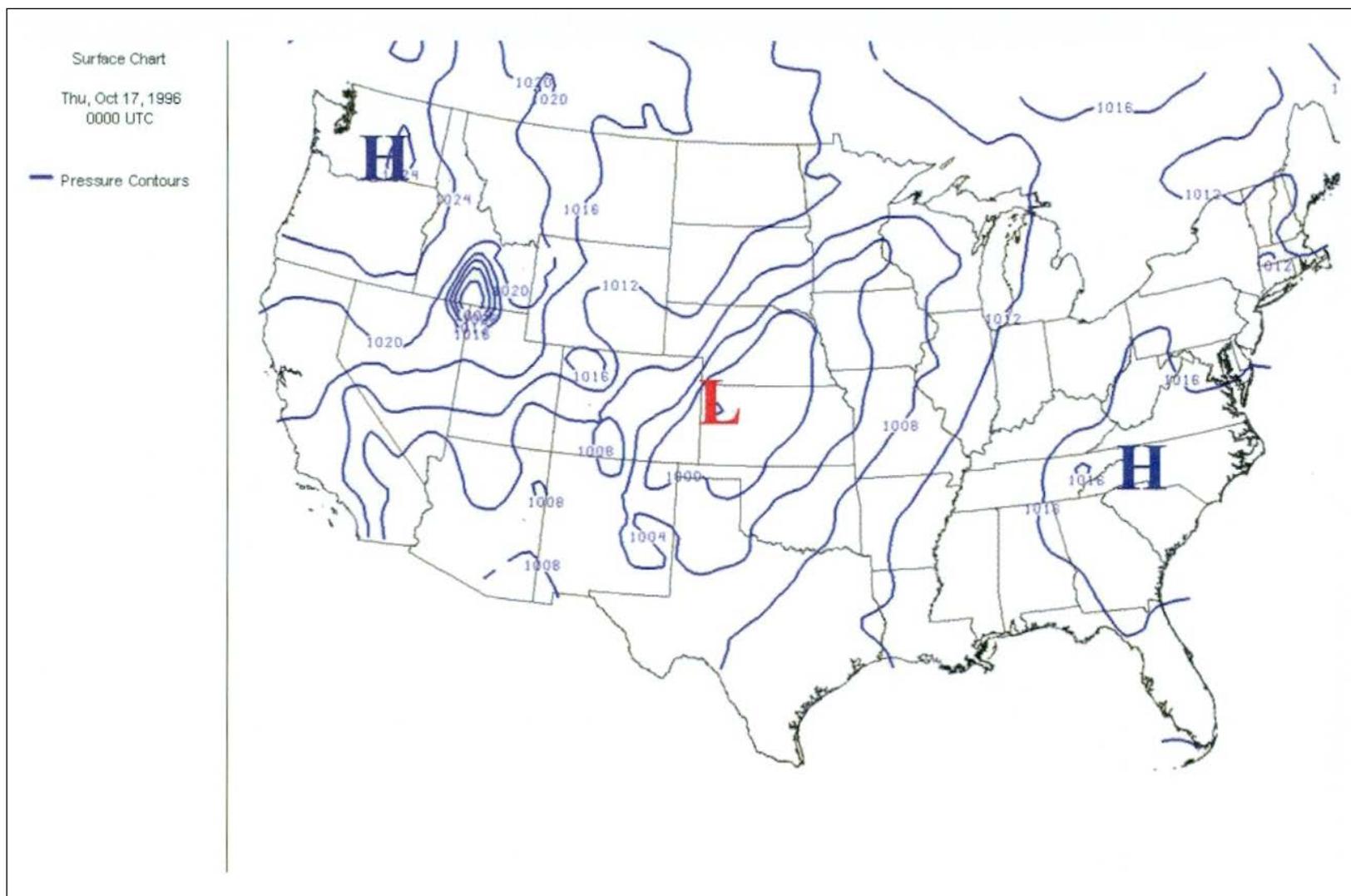


Figure 11.2.6 : Carte de surface le 17 octobre 1996. Analyse : isobares.

ANNEXE 11.2.A

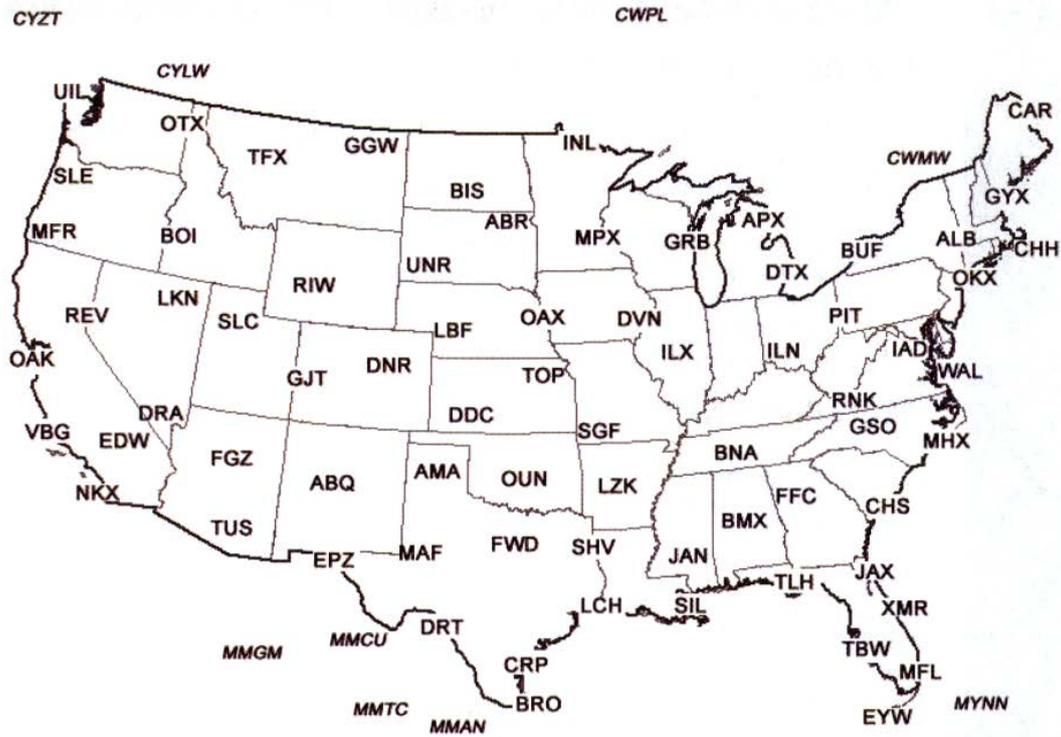


Figure 11.2.A.1.a : Sites aérologiques
 Les Etats-Unis d'Amérique : une fédération de 50 Etats

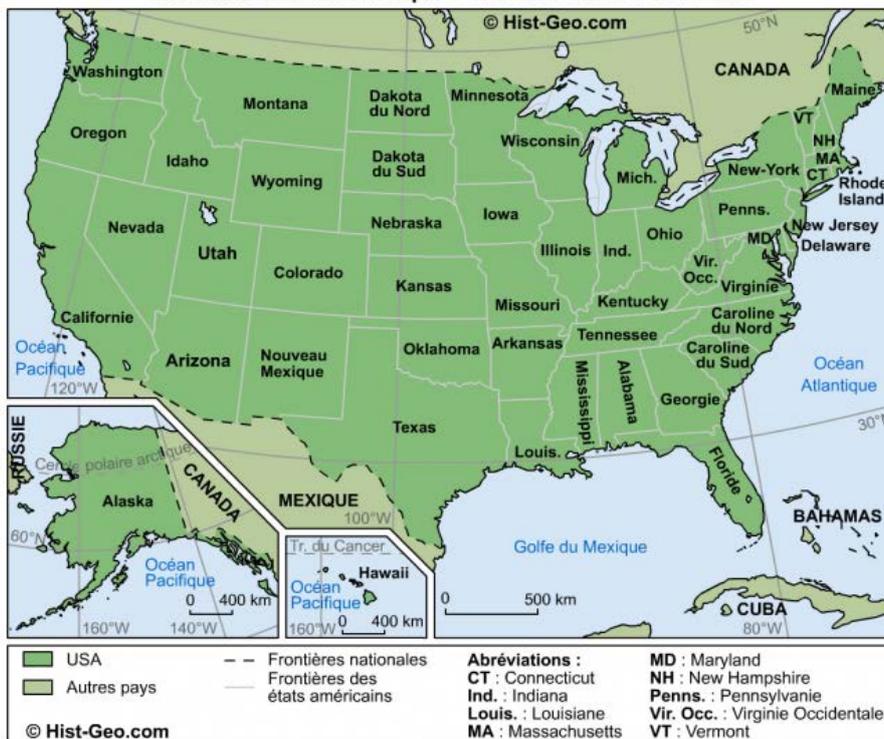


Figure 11.2.A.1.b – États-Unis de l'Amérique

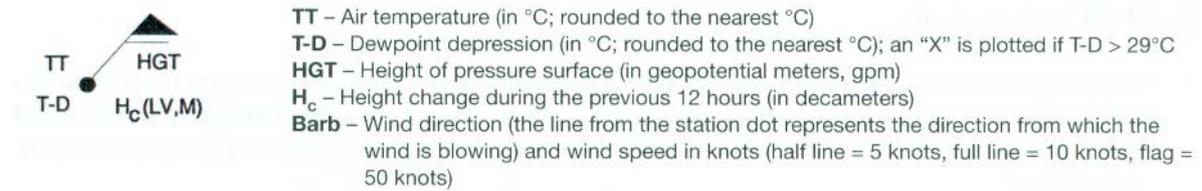


Figure 11.2.A.2 : modèle de station en altitude

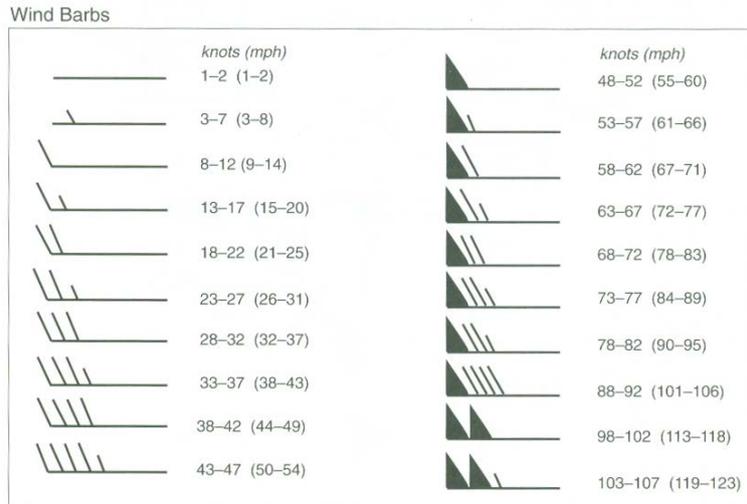


Figure 11.2.A.3 : symboles du vent.

Tableau 11.2.A.1 : Comment décoder les valeurs de la hauteur

Niveau de pression	Hauteur standard (m)	Hauteur codée	Hauteur décodée (m)	Procédure
850 hPa	1500	479	1479	Additionner 1000 m
700 hPa	3000	129	3129	Si > 500 additionne 2000 m Si ≤ 500 additionne 3000 m
500 mb	5500	558	5580	Multiplier par 1000
300 hPa 250 hPa 200 hPa	9000 10400 12000	919	9190	Si > 500, multiplier par 10 Si ≤ 500 multiplier par 10 et additionner 10000

Wind	Light and Variable	010/20 kts	210/60 kts	270/25 kts	240/30 kts	Missing
TT	22°C	9°C	-19°C	-46°C	-55°C	-60°C
T-D	4°C	17°C	>29°C	not plotted	not plotted	not plotted
Dew Point	18°C	-8°C	Dry	Dry	Dry	Dry
HGT	1,479 m	3,129 m	5,580 m	9,190 m	10,370 m	11,910 m
H _c	not plotted	- 30 m	+ 30 m	+ 100 m	+ 10 m	not plotted

Figure 11.2.A.4 : Exemples de pointages en altitude. De gauche à droite : 850 hPa ; 700 hPa ; 500 hPa ; 300 hPa ; 250 hPa et 200 hPa. H_c = tendance d'hauteur, la variation de la hauteur dans les dernières 12 heures en décimètres.