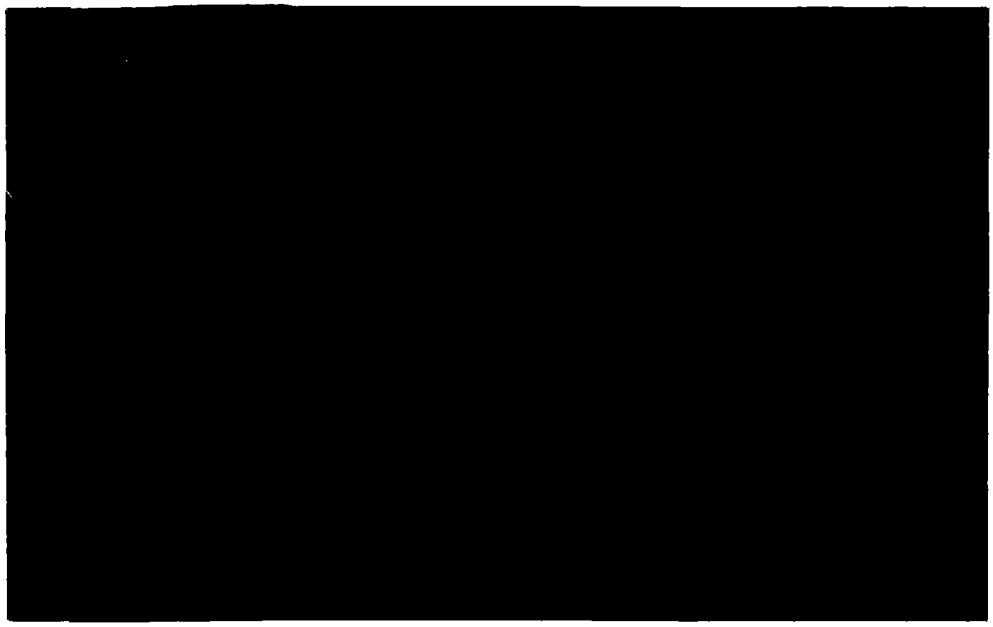


Arbeitsberichte der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt
Rapports de travail de l'Institut Suisse de Météorologie
Rapporti di lavoro dell'Istituto Svizzero di Meteorologia
Working Reports of the Swiss Meteorological Institute

Zürich

52705

No 125

LE BROUILLARD A GENEVE - COINTRIN

par

René Perret, Genève

Septembre 1984

Brouillard 551.575

Résumé

Sur la base des 212 cas de brouillard des années 1974/83, l'auteur établit d'abord une statistique de l'occurence du brouillard au cours de l'année et de la journée, puis cherche à définir les conditions de formation et de dissipation du brouillard, en fonction des données à disposition du prévisionniste dans son service quotidien: observations ASTA de Genève et La Dôle, METAR de Genève, sondage aérologique de Payerne et type de situation météorologique. Il compare ces cas de brouillard avec 293 cas dans lesquels la température a atteint ou outrepassé la température du point de rosée de la veille à 1350 z sans qu'il y ait eu formation de brouillard.

Il constate que les prédicteurs à l'origine du brouillard sont nombreux et souvent équivoques et que seul un traitement numérique permettrait d'établir des règles de prévision précises. Pour l'instant le prévisionniste doit faire un choix qui continue de dépendre étroitement de son expérience et de son intuition.

Zusammenfassung

Für die Jahre 1974 bis 1983 wird anhand von 212 Nebelfällen eine Häufigkeitsstatistik vom Nebelvorkommen im Jahres- und Tagesverlauf erstellt. Der Autor versucht daraufhin, die Bedingungen zur Bildung und Auflösung von Nebel zu definieren. Dem Prognostiker dienen hiezu folgende Unterlagen im Routinedienst: Messwerte der automatischen Station auf dem Flughafen Genf-Cointrin und auf La Dôle im Hochjura, METAR-Beobachtungen von Genf, Radiosondenaufstiege von Payerne und eine Klassifikation synoptisch definierter Wetterlagen. Diese Nebelfälle werden mit

293 Lagen verglichen, an welchen die Lufttemperatur die Taupunktstemperatur von 1350 GMT des Vortages erreicht oder unterschritten hat, ohne dadurch eine Nebelbildung auszulösen.

Der Autor bemerkt, dass die zu einer Nebelbildung massgebenden Prädiktoren zahlreich und oft zweideutig sind. Genaue Vorhersageregeln könnten deshalb nur mit Hilfe numerischer Datenverarbeitung gewonnen werden. Vorläufig muss der Prognostiker eine Auswahl treffen, die stark von seiner Erfahrung und Intuition abhängt.

Riassunto

In base all'analisi di 212 casi di nebbia durante gli anni 1974-1983, l'autore stabilisce dapprima una statistica sulla frequenza della nebbia nel corso dell'anno e del giorno, in seguito cerca di definire le condizioni di formazione e di dissipazione della stessa con l'ausilio dei mezzi a disposizione del previsionista nel suo lavoro quotidiano. I parametri presi in considerazione sono i dati ASTA di Ginevra e di La Dôle, i METAR di Ginevra, i sondaggi aerologici di Payerne e il tipo di situazione meteorologica. L'autore paragona poi i suddetti casi di nebbia con 239 casi nei quali la temperatura ha raggiunto o oltrepassato la temperatura del punto di rugiada delle 1350 z del giorno precedente, senza che vi sia stata la formazione di nebbia.

Ne scaturisce la constatazione che i predittori per la nebbia sono numerosi e spesso equivoci e che solo una elaborazione numerica permetterebbe di stabilire delle regole precise per la previsione. Al momento il previsionista deve ancora fare una scelta che dipende strettamente dalla sua esperienza e dalla sua intuizione.

Summary

The author shows the annual and diurnal frequency distribution of fog, based on 212 cases during the years 1974 to 1983. He then tries to define a relationship between fog formation or dissipation and observed weather elements available to the forecaster such as messages from automatic stations at Geneva and La Dôle, Metar observations from Geneva, radiosonde ascents at Payerne and classified synoptic situations. Those cases are compared to 293 days without fog formation and temperatures equal to or lower than the dew point temperature of the previous day at 13.50 GMT.

It becomes clear that the predictors for fog are plentiful and often ambiguous. Only numerical treatment of the data could establish precise forecasting rules. For the time being the forecaster has to continue to make choices which very much depend on experience and intuition.

Sommaire

Résumé, Zusammenfassung, Riassunto, Summary

Le brouillard à Genève-Cointrin (Introduction) 1

1. Fréquence, durée et répartition du brouillard au cours de l'année 1

2. Situations météorologiques à l'origine du brouillard 6

3. La formation du brouillard 7

a) Température et point de rosée de Genève 7

b) Les données du sondage de Payerne 11

c) Les observations de La Dôle 12

4. Brouillard, brume ou stratus 15

5. La dissipation du brouillard 18

Références 21

Adresse de l'auteur 21

LE BROUILLARD A GENEVE - COINTRIN.

Avec la neige, qui rend problématiques et parfois empêche les mouvements sur l'aéroport, le brouillard reste le principal obstacle à la navigation aérienne. L'introduction de la catégorie III à Genève, en 1983, a réduit le nombre d'heures durant lesquelles l'aéroport est impraticable pour les avions les plus modernes (environ la moitié des mouvements en ce qui concerne Swissair). Pour l'autre moitié et pour la plus grande partie de ceux des compagnies étrangères, le brouillard et par conséquent sa prévision garde une importance de premier plan.

La "Climatologie de l'Aéroport de Genève-Cointrin",de Cyril AUBERT date aujourd'hui de plus de 20 ans. Elle traitait d'ailleurs de tous les éléments du temps, parmi lesquels la réduction de la visibilité et du plafond n'était qu'un aspect de l'ensemble. Elle ne cherchait d'autre part qu'à établir des données statistiques.

Aussi m'a-t-il paru nécessaire, pour une étude qui a aussi l'ambition d'améliorer la prévision de cet élément du climat, de réétablir une statistique plus récente des cas de brouillard, statistique d'autant plus nécessaire que plusieurs données ont changé depuis la décennie 1950-60: Extension de la ville, nette augmentation de la pollution atmosphérique, modifications insensibles du climat, etc.

La présente étude est basée sur les 211 jours de brouillard observés de 1974 à 1983 (Tabelle 1).

Sont définis comme "jours de brouillard" ceux où la visibilité météorologique est descendue au-dessous de 1 km au cours d'au moins deux observations METAR successives. Est considérée comme fin du brouillard l'observation dans laquelle la visibilité remonte à plus d'un km et se maintient ensuite pour quelques heures au moins au-dessus de cette valeur. Dans quelques rares cas, en période de brouillard établi, la visibilité a pu dépasser 1 km au cours de quelques observations réparties sur trois ou quatre heures, sans que la période de brouillard soit considérée comme interrompue. Inversément, une observation isolée donnant moins de 1000 m n'est pas interprétée comme une "période de brouillard".

1. Fréquence,durée et répartition du brouillard au cours de l'année.

Durant ces dix années, le brouillard ne fait totalement défaut qu'au cours des mois de juin et juillet, mais on ne le constate que deux fois une heure en avril (74 et 80), deux fois en mai (1+5 h, en 79/80, deux fois également en août (4+4 h en 78 et 80). Voir tabelle 1a.

TABELLE 1 . REPARTITION DES JOURS DE BROUILLARD DURANT LES ANNEES 1974 - 1983.

Ann.	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	Tot.
Jan.	5,6,7, 12,13,14 22 7	6,7,10 11,12,13 7	7,9,10 3	1,23,24 25 4	8,9,10 3	8,9,23 3	8,20,21 3	25,26 2	1,12,16 17,18,20 21 7	2,6,7, 12,13, 24,25 7	46
Fev.	-	8,9,10 11,12,13 6	4,8,18 19,29 5	-	11,17,24 25,28 5	10 1	25,26 2	1,2,3,8 9 5	5,6,18 3	-	27
Mars	29 1	3,14 2	1 1	-	28 1	19 1	-	-	-	27 1	7
Avr.	1 1	-	-	-	-	-	18 1	-	-	-	2
Mai	-	-	-	2 1	-	20 1	-	-	-	-	2
Août	-	-	-	-	17 1	-	29 1				2
Sept.	-	23 1	23,27,28 3	2,7 2	-	13 1	26,27,30 3	11 1	11,15,27 3	25 1	15
Oct.	-	7,27,28 29,30, 31 6	7,11,12 3	13,14,19 20,22,23 24,26,31 9	8,9,10,11 12,13,14 15,16,25 30,31 12	1,4,9 10,12 5	1,4,5,22 4	16,21,22 23,31 5	-	3,4,24 3	47
Nov.	17,18 2	15 1	-	6,7,8 3	1,8,9,11 12,13,15 19,20,21 10	22,28 29,30 4	23,24 25 3	1,2,3,4 5,20 6	1,2,3,4 5,12 6	3,6,9, 10 4	39
Dec.	22,23,24 3	28,29,30 31 4	18,19,20 21 4	13,22 2	-	1,3 2	25,31 2	22,23 2	6,27,28 3	7,22,30 3	25
TOT.	14	27	19	21	31	18	19	16	27	19	212

Tabelle 1a. Heures de brouillard par mois durant les années 1974 - 1983.

Ann.	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Août	Sept	Oct	Nov	Dec	Tot
74	54		6	1					7	36	104
75	80	64	6				6	74	2	90	322
76	32	40	5				15	7		24	123
77	33				1		2	75	11	27	179
78	34	18	2			4		105	117		280
79	12	3	4		5		2	30	50	10	116
80	12	4		1		4	10	14	42	32	119
81	12	59					4		88	4	167
82	46	23					9	44	91	15	228
83	67		5				3	5	27	25	132
Tot heures	382	211	28	2	6	8	51	354	435	243	1720
Jours	46	27	7	2	2	2	15	47	39	25	212
H. par jour	8.3	7.8	4.0	1	3	4	3.4	7.5	11.2	9.7	8.1

Il n'apparaît que durant 28 heures en mars et une cinquantaine en septembre. Les Mois "normaux" de formation du brouillard vont donc d'octobre à février, avec une fréquence maximum en octobre, novembre et janvier. Alors que le plus grand nombre de jours est constaté en octobre, suivi de janvier et novembre, les heures les plus nombreuses sont en novembre, puis en janvier, suivi d'octobre, la moyenne maximum étant de 11.2 heures par jour en novembre. Les brouillards qui persistent toute la journée ne se constatent que de mi-octobre à fin janvier (dates limites: 8.10.78 et 12.2.75) et ne font complètement défaut qu'en 1977 et 81, encore que dans cette dernière année il y ait deux intervalles de 3 heures seulement entre l'amélioration en fin de matinée et la rechute au-dessous du km (2 et 4 nov.). On compte 27 jours, dont 10 en 1975, durant lesquels la visibilité est restée inférieure au km entre 12 et 16z.

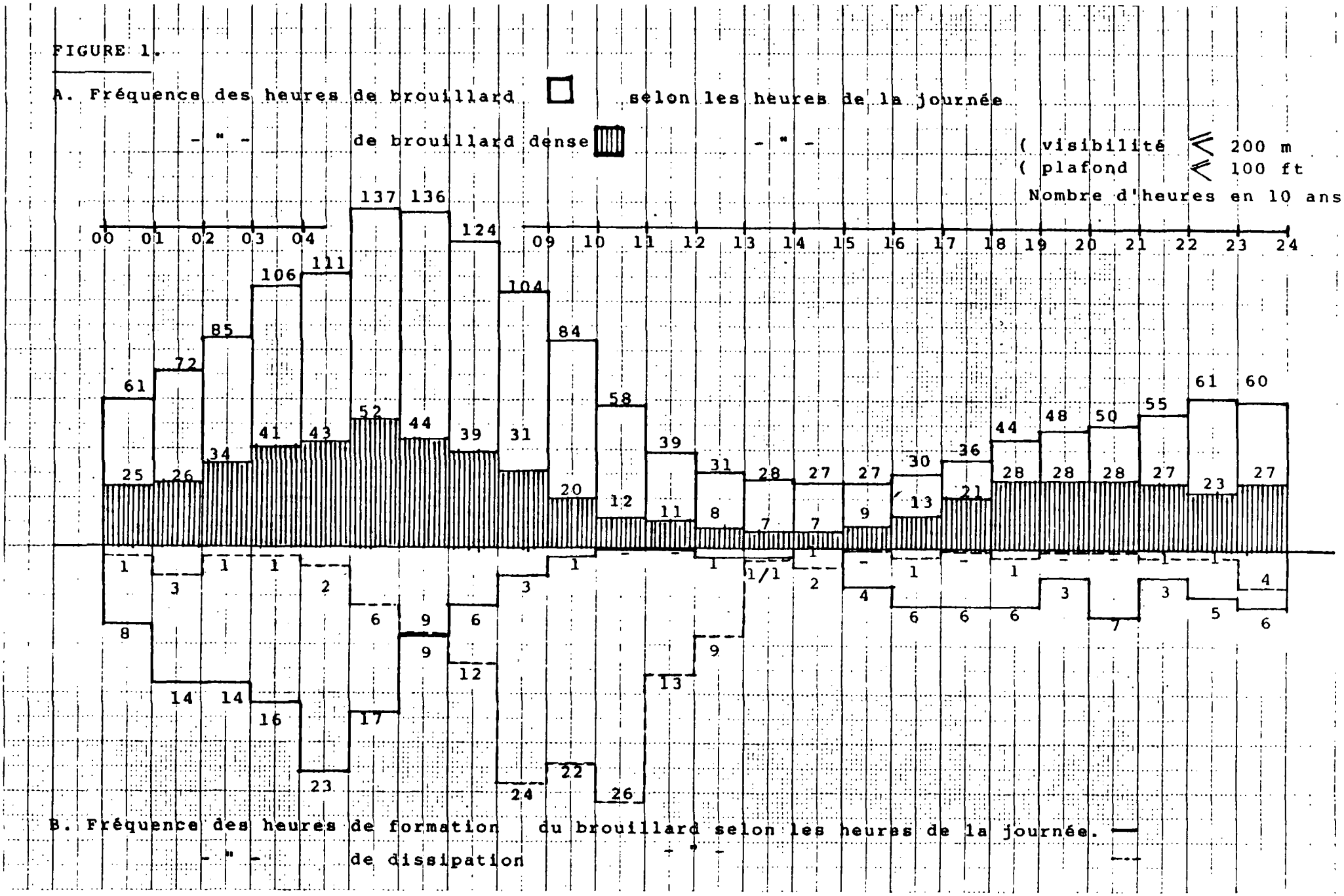
La fréquence maximum au cours de la journée (Fig. 1) se situe entre 3 et 8 heures GMT, avec une nette culmination entre 05 et 07z (137/136 heures en dix ans entre 05 et 06, repectivement 06 et 07, contre 106/111 de 03 à 05 et 124/104 de 07 à 09z). On tombe à environ 30 heures en dix ans de 12 à 17h, pour se tenir entre 30 et 60 heures de 10 à 12z et de 17 à 24z, entre 60 et 90 heures entre 00 et 03z et entre 09 et 10z. Dans l'ensemble, les cas de brouillard représentent 18.4 o/oo des heures de l'année.

La fréquence de formation est la plus grande entre 01 et 06z, avec une nette culmination entre 04 et 05z. L'après-midi, il s'agit le plus souvent d'un rétablissement des conditions minimums après une amélioration temporaire de la visibilité et du plafond. Il intervient dans les plus mauvais cas dès15z, plus souvent entre 16 et 19z, puis plus irrégulièrement entre 19 et 24 z, quelques cas de première formation apparaissant en fin de soirée.

La dissipation peut intervenir dès 05z, mais celle due normalement au réchauffement diurne se constate le plus souvent entre 08 et 11z. Dès ce moment et jusqu'à 13z, les cas de dissipation chutent rapidement de 26 à 9 en 10 ans, pour se tenir à 1 - 3 cas entre 13 et 05z. Ces cas isolés sont dus davantage à des changements synoptiques qu'à l'évolution diurne.

Les heures de brouillard dense (RVR $\leq$ 400 m ou plafond $\leq$ 100 ft, le plus souvent les deux en même temps) suivent à peu près la même évolution que les heures totales de brouillard, en se tenant légèrement au-dessus de 1/3 des cas (604 heures sur 1720 pour les dix ans, moyenne 3.2 h par cas). Elles représent à peu près le nombre d'heures où l'aéroport est fermé à tout trafic en-dehors des avions équipés pour la catégorie III (6.9 o/oo des heures de l'année). Quant aux périodes où même ces avions-là ne peuvent pas se poser, il est difficile d'en établir une statistique, les messages

FIGURE 1.


A. Fréquence des heures de brouillard selon les heures de la journée
- " - de brouillard dense - " -
(visibilité ≤ 200 m
(plafond ≤ 100 ft
Nombre d'heures en 10 ans.
00 01 02 03 04 09 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24
61 72 85 106 111 137 136 124 104 84 58 39 31 28 27 27 30 36 44 48 50 55 61 60
25 26 34 41 43 52 44 39 31 20 12 11 8 7 7 9 13 21 28 28 28 27 23 27
1 3 1 1 2 6 9 6 3 1 1 1/1 2 4 1 6 6 6 3 7 3 5 6 4
8 14 14 16 23 17 9 12 24 22 26 13 9
B. Fréquence des heures de formation du brouillard selon les heures de la journée.
- " - de dissipation - " -

METAR n'indiquant les plafonds que par centaines de pieds (00 ou 01). Il est alors bien hasardeux de savoir si les 50 ft de la catégorie III sont atteints ou non, mais les cas de plafonds inférieurs à 50 ft ne doivent guère dépasser 10 ou 20 heures par an.

2. Situations météorologiques à l'origine du brouillard.

Deux groupes de situations sont à distinguer dans la genèse du brouillard: (selon classification Perret, mars 81)

a). Les situations anticycloniques de saison froide, qui provoquent la formation de brouillard de rayonnement. Ce sont:

Tabelle 2.

1a	2a	3a	3b	5a	6b	6c	6d	6e	Tot.
20	20	4	48	3	3	27	5	2	132

b). Les situations cycloniques, où le brouillard se forme dans les intervalles entre perturbations, en général immédiatement après des précipitations, ou parfois accompagnant des chutes de neige ou de pluie (une dizaine de cas en 10 ans). Parfois aussi la pluie met fin au brouillard ou, plus fréquemment, une couverture en Ac ou même en Ci. Ces situations de nature cyclonique sont:

Tabelle 3.

1b	2b	3c	3d	7a	7b	7c	8a	8a'	8a"	8c	8d	9a	9c	9d	Tot.
5	3	11	6	6	5	3	20	5	8	2	1	2	2	1	80

La première constatation surprenante est qu'environ 1 cas de brouillard sur 3 survient lors de temps perturbé, c'est-à-dire de façon presqu'inattendue pour le prévisionniste. Cette constatation doit être un peu atténuée par les 20 situations 8a, où le brouillard s'installe quasiment toujours à la suite d'une situation anticyclonique (passage à l'ouest de la dorsale), avant l'arrivée de la première perturbation de l'Atlantique. Il en va de même pour les plus longues périodes de brouillard en 3c (18 h le 25.12.80) et 8a" (4-5.11.81). A l'exception donc de ces cas de transition vers le mauvais temps, les périodes de brouillard par situations cycloniques ne durent en moyenne que cinq heures, le plus souvent en fin de nuit après des précipitations (même lorsqu'elles ont cessé depuis plus de 12 heures).

La deuxième constatation est que les cas les plus fréquents (et les plus durables) sont liés non pas aux sitations anticycloniques proprement dites (6c,d,e), mais aux situations anticycloniques "marginales", avec advection du sud à l'ouest en altitude (1a, 2a, 3a, 3b), en tout 92 cas sur 120, soit plus des deux tiers, auxquels on pourrait encore ajouter les 20 cas

en situation 8a et quelques-uns appartenant aux situations 3c et 8a". Les situations les plus propres à l'installation du brouillard sont donc celles de sud à ouest sans vent dans les basses couches, ce qui est généralement le cas en saison froide, conjointement avec la formation d'un lac d'air froid sur le plateau. Similairement, en 6c, le centre de l'anticyclone doit être dans un secteur compris au sud du 52e Nord et à l'est du 0° de latitude pour que la formation de brouillard ne soit pas empêchée par la bise.

3. La formation du brouillard.

Pour être utile aux vols à longue distance, la prévision du brouillard devrait pouvoir être faite la veille déjà, lors de la rédaction du TAF 00-18z. Les données dont on dispose à ce moment-là sont la température, le point de rosée et le vent à Genève, ceux de la Dôle et le TEMP de 12z de Payerne, donc on peut raisonnablement déduire celui de 00z à venir, pour autant qu'il n'y ait pas de changement de masse d'air dans l'intervalle. Pour essayer d'établir des corrélations entre ces éléments et la formation de brouillard, j'ai essentiellement retenu:

- du TEMP de Payerne: le vent, la température et le point de rosée à 1000, 1500 et 2000 m, à 12z et 00z, ainsi que l'amplitude de l'inversion, y compris l'altitude de sa base et de son sommet.

- des SYNOP de la Dôle de 12, 18 et 06z: le vent, la température (le point de rosée ne pouvait être calculé qu'à partir de l'humidité relative, calcul assez fastidieux et dont l'utilité n'est pas évidente) et la différence de température entre Genève et la Dôle, plus facilement utilisable que le montant de l'inversion du TEMP, puisqu'on peut suivre son évolution heure par heure. Enfin le sommet du brouillard (quand il est donné et qu'on peut s'y fier).

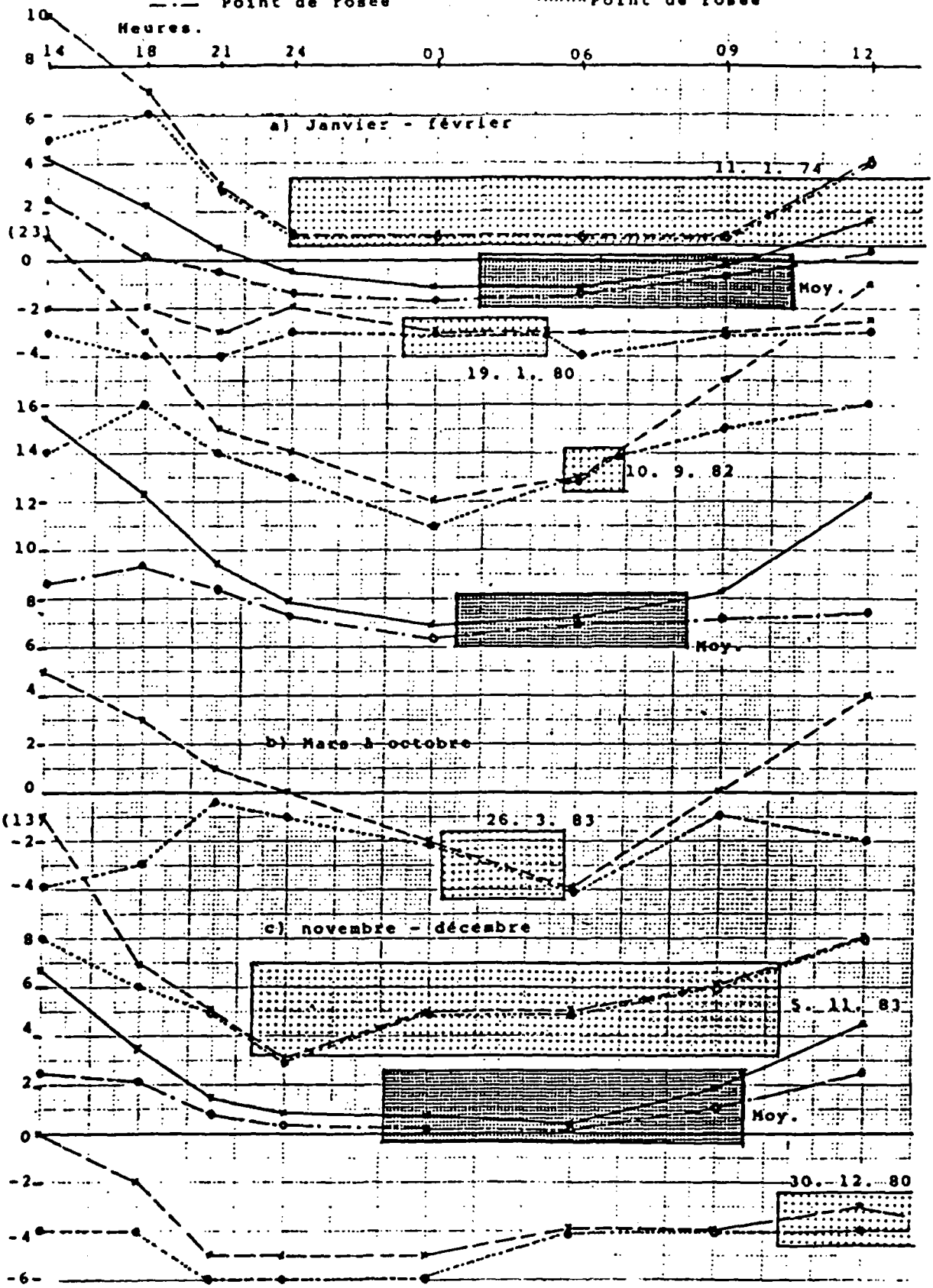
- des METAR de Genève, j'ai retenu essentiellement température et point de rosée, le vent devant par définition être inférieur à 5-6 kt pour qu'il y ait formation de brouillard. Enfin la dernière condition est que le temps soit clair ou peu nuageux (quelques cas pouvant tout-de-même se produire avec un plafond en Ci ou As supérieur à 3000 m). Examinons séparément ces éléments:

a) Température et point de rosée de Genève:

Les valeurs prises en compte sont celles du METAR de 1350z, dernière observation disponible avant la rédaction du TAF 00-18z et heure à laquelle ont atteint d'ailleurs pratiquement le maximum de température de la journée. Il faut ici distinguer deux séries de données: celles de la saison froide, de novembre à février, où la température varie peu et reste toujours assez proche de la saturation et celles du printemps et de l'automne, où les variations sont beaucoup plus amples.

Figure 1a. Formation du brouillard en raison de l'évolution de la température, selon les saisons.

——— Température) Moyennes ––– Température) cas partic.
—·— Point de rosée ····· Point de rosée



En saison froide: le brouillard se forme généralement lorsque la température est égale au point de rosée de 1350 la veille, ou inférieure de 1 à 2 degrés (jusqu'à 6 ou 7 degrés au-dessous, mais alors le plus souvent lorsqu'il s'est produit un changement de masse d'air, généralement lié à la pluie). Ce qui complique fortement le problème est qu'on atteint très souvent juste ce point de rosée ou 1 ou 2 degrés en-dessous sans qu'il y ait davantage qu'une forte brume. Lorsque le point de rosée est de très peu supérieur à zéro, le gel peut empêcher la formation de brouillard jusqu'à plusieurs degrés au-dessous. On note aussi une quinzaine de cas en dix ans où le brouillard se forme à une température de 1 à 4 degrés supérieure au point de rosée de la veille à 1350h. mais il s'agit ici ou de changement de masse d'air ou de différences minimes, sise dans la marge d'imprécision des thermomètres.

Au printemps et en automne, le plus grand nombre de cas de formation se situe entre 0 et 3 degrés au-dessous du point de rosée de 1350h la veille. Les cas sont rares où cette différence atteint 4 degrés, mais ceux où la formation a lieu à une température supérieure à ce pont de rosée sont quasi-inexistants. La figure la indique les températures et les heures de formation et de dissipation moyennes pour chaque saison, en fonction de la température et du point de rosée moyens de la veille à 1350h. Les périodes choisies sont:

a) janvier-février (31 cas)
b) mars à mai et août à octobre cumulés (37 cas)
c) novembre.décembre (26 cas).

Ce nombre est inférieur au total des cas (212) en raison du fait que seul le premier jour de formation est considéré pour chaque séquence (certaines durent jusqu'à une semaine), la variation de température étant ensuite minime et non significative. Les formation de brouillard au cours des chutes de pluie ou de neige ont également été laissées de côté. Pour chacune des saisons, on considère:

- La variation moyenne de la température et du point de rosée ainsi que la période moyenne de brouillard (pour ceux qui durent toute la journée, j'ai admis une limite à 13 heures, pour ne pas fausser complètement la moyenne des autres cas, limités à quelques heures).
- Les deux cas extrêmes de la saison: température la plus élevée et la plus basse de formation du brouillard.

On remarque de prime abord qu'en moyenne le brouillard se forme à une température inférieure de 1 à 4 degrés au point de rosée de la veille à 1350h. D'autre part le brouillard peut se former en automne avec une température maximum atteignant 23 degrés la veille (10.9.82) et un minimum de 12 degrés,alors qu'il peut se produire au printemps avec un maximum de 5 degrés seulement et un minimum de -4 degrés (26.3.83). Ce minimum n'est pas inférieur en janvier et février et seulement un de-

Fig. 2.

Nombre de cas de brouillard à Genève en fonction des vents à 1500 m à Payerne (direct. et force)

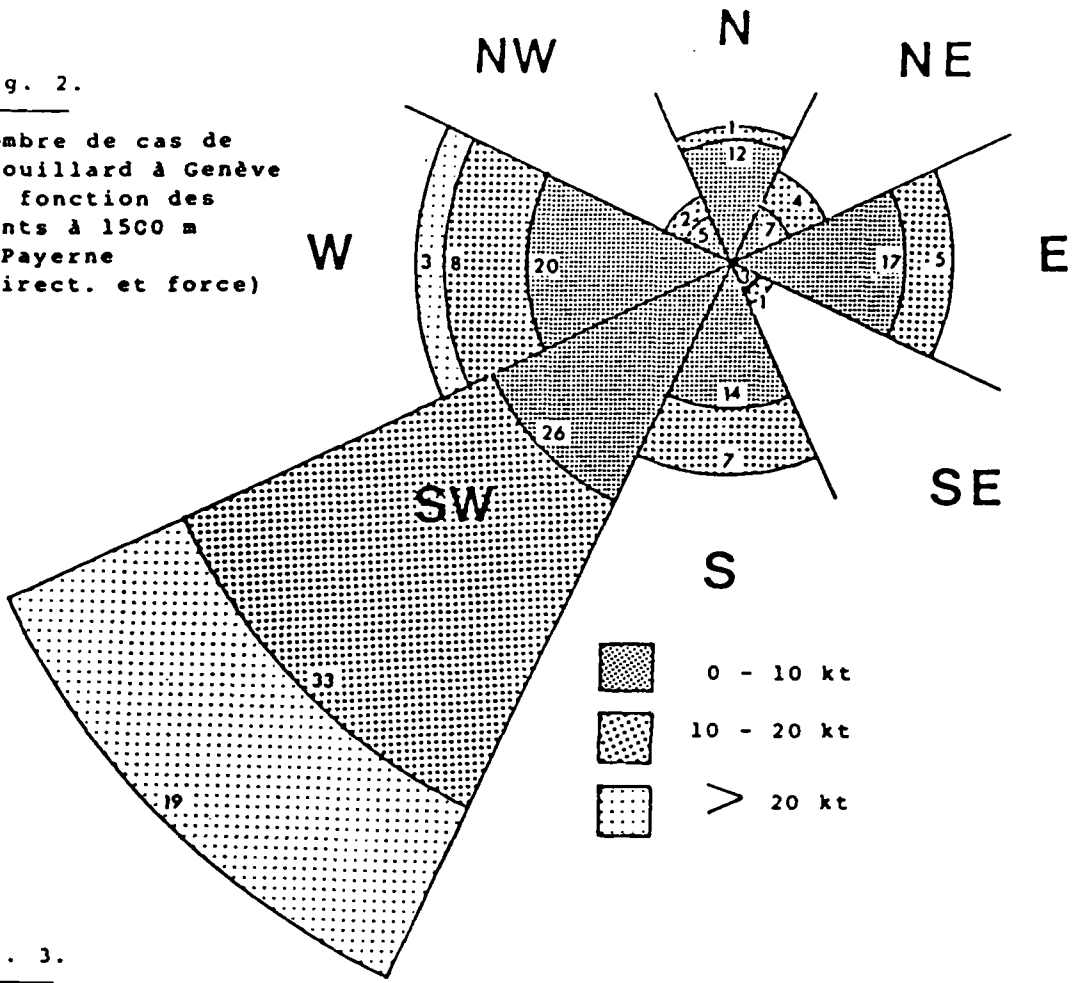
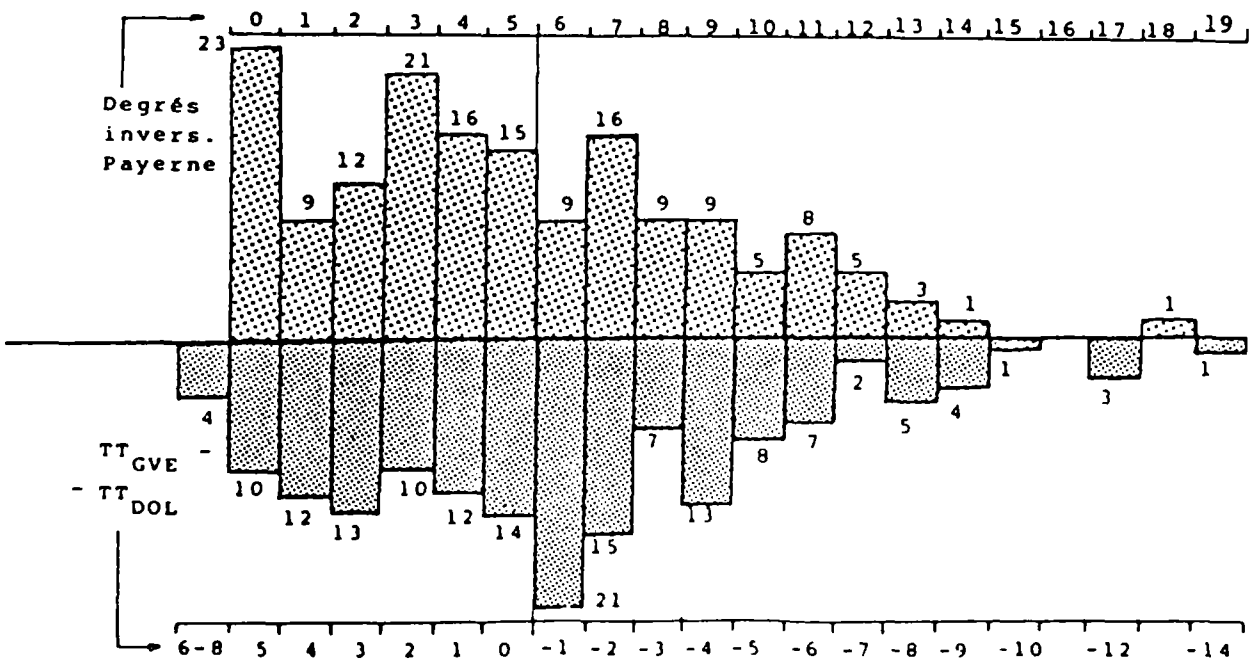


Fig. 3.

Nb. de cas de brouillard - selon importance de l'inversion à Payerne
- selon différence de température Genève / La Dole.



gré plus bas en novembre-décembre, tandis que dans cette période de quatre mois la température moyenne de formation est proche de zéro degré.

Cette constation confirme le fait que le brouillard se forme de préférence dans les masses d'air tropical ou d'air polaire modifié, alors que les masses d'air arctiques y échappent.

b) Les données du sondage de Payerne.

Vents a 1500 m (Fig. 2) Seuls 50 jours sur 212 indiquent des vents des secteurs nord à sud-est, généralement faibles (max. 15 kt, le plus souvent à 2000 m). Il s'agit d'habitude des situations 6e, 6b et 3b/3a, parfois la où Payerne se trouve encore juste à l'est de la dorsale, plus rarement des situations cycloniques (3c, 7a, 8a, 8a", 8c) où les vents sont faibles et variables, sans courant bien établi. Sauf pour ces derniers cas, qui sont peu tranchés et où le brouillard est très passager, il s'agit de situations anticycloniques bien marquées, avec une inversion de température supérieure à 5 degrés et atteignant jusqu'à 20 degrés (30.11.79), due à la subsidence.

Les quelque 120 autres cas sont tous constatés par vents des secteurs sud à nord-ouest, qui augmentent généralement avec l'altitude et peuvent dépasser 40 kt à 2000 m (24.02.78), alors que les vents en plaine restent inférieurs à 5 kt. Les cas de forts vents sont cependant liés à des situations cycloniques (8a, 3c, 2b), exceptionnellement à des configurations anticycloniques: 2a ou 3b (23-24.11.80, 6.12.82, 20-21.11.78, 22-23.12.74, 13.1.75, 5.1.74, 13.1.83). Dans ces cas le vent peut souffler jusqu'à 15-20 kt à 1000 m sans que le lac d'air froid soit détruit dans les bas niveaux. Ici aussi l'inversion de température peut être importante, jusqu'à 10 ou 12 degrés par situation de sud, de SW ou d'ouest, mais le brouillard peut apparaître dans de nombreux cas avec une inversion nulle ou quasi-nulle, située le plus souvent au-dessous de 7-800 m, ou même par simple isothermie. Ces formations sont alors le plus souvent liées à des situations perturbées, après des précipitations (parfois avant), où il y a saturation jusqu'à des niveaux assez élevés (brouillard de mélange).

Les cas où on a passé d'un côté à l'autre de la dorsale, avec basculement des vents du nord-est au sud-ouest entre midi et minuit ne se distinguent guère des autres par la durée ou l'intensité du brouillard, le critère déterminant restant généralement l'importance de l'inversion qui se crée (ou se détruit).

Stratification de la température: La récapitulation de 16 périodes de brouillard persistant, totalisant 69 jours, soit

plus du tiers des jours constatés durant ces dix ans, montre que l'inversion est presque toujours égale ou supérieure à 5 degrés (elle peut aller jusqu'à 20 degrés) dans ces périodes prolongées, mais qu'elles peuvent commencer ou perdurer avec des inversions peu marquées, ou temporairement seulement une isothermie, lors de situations perturbées (23-25.1. 77, sit. 3d et 3c). Par sol mouillé ou neige gisante (surtout fondante), la saturation sur une certaine épaisseur, liée à une absence complète de turbulence, suffit à provoquer la formation d'un brouillard dont la durée est pratiquement impossible à déterminer. Seule la statistique permet d'affirmer que ces formations ne donnent généralement que quelques heures de brouillard et que ce cas de fin janvier est vraiment une exception. Les figures 3 et 5, commentées plus loin, établissent une statistique des cas de brouillard selon l'importance et l' épaisseur de l'inversion de température du sondage.

c) Les observations de La Dôle.

Les observations SYNOP ont l'avantage d'être plus fréquentes que les TEMP de Payerne. Le sommet du brouillard mesuré à La Dôle est malheureusement très approximatif, en raison du fait que le pied du Jura ne peut être observé directement de la station et que Voirons et Salève sont déjà assez lointains. Une différence atteignant 200 m entre le sommet observé de La Dôle et celui qui apparaît sur le TEMP de Payerne est assez fréquente, sans qu'on puisse savoir si la différence est réelle ou résulte de mauvaises évaluations. L'épaisseur de la couche ne peut de ce fait être estimée que très grossièrement, sauf si on dispose de sommets précis mesurés par les avions, qui ne sont malheureusement pas ensuite archivés. Déterminer des critères de durée et de dissipation en raison de l'épaisseur de la couche est très aléatoire. D'autre part, la valeur de l'inversion entre le sommet de la couche (compris généralement entre 700 et 1200 m par brouillard au sol, les sommets d'inversions plus élevés n' étant constatés qu'avec des inversions de températures très importantes) et l'altitude de 1700 m qui est celle de La Dôle, est difficile à établir, de sorte que la différence de température entre Dôle et Genève doit être considérée avec une certaine circonspection en qu'on ne peut en tirer des conclusions absolues. Le fait de disposer d'une évolution heure par heure de ces deux températures est cependant de première importance et les changements dans la situation synoptique peuvent être décelés par La Dôle bien avant qu'ils apparaissent sur le TEMP de Payerne. C'est souvent par les modifications de température de La Dôle plus que par leur valeur absolue qu'on peut prévoir la formation ou la dissipation du brouillard à Genève.

De façon générale, on peut constater ceci:
On aura stabilité si la différence de température est inférieure à 0.5 degrés par 100 m, soit sur les 1300 m de diffé-

rence d'altitude un écart de température de 6.5 degrés ou moins. S'il y a saturation entre ces deux niveaux, une isothermie sur les 200 m inférieurs peut suffire à provoquer le brouillard, la différence entre les deux stations étant alors réduite à 5 degrés. C'est ce que nous constatons dans les cas extrêmes de brouillard d'advection, par sol mouillé (29.3.74, 9.1.75, 4.2.76, 22.12.81, 1.1.82, 2.1.83).

Cet écart peut même aller jusqu'à 7-8 degrés (3.3 et 14.3.75), mais dans des cas exceptionnels de brouillards très passagers. Déjà, lorsque la différence atteint 5 degrés, on peut être assuré que la dissipation interviendra à bref délai. Lorsque la différence est comprise entre 1 et 4 degrés il s'agit presque toujours de brouillard de mélange avec sol mouillé et saturation de la masse d'air jusqu'à des niveaux assez élevés, la Dôle étant généralement dans les nuages.

Les brouillards les plus persistants sont notés avec des différences Genève moins La Dôle allant de 0 à -14 degrés, des valeurs positives n'étant jamais constatées.

En cas de brouillard établi, l'évolution de la température de La Dôle est donc à surveiller de très près. Les figures 3, 4 et 5 donnent, en fonction de la température à Genève, la différence de température avec La Dôle et le montant de l'inversion à Payerne.

Figure 3: Ce graphique montre que, statistiquement, le nombre de cas de brouillard est à peu près symétrique si l'on considère qu'une différence de zéro degré entre Genève et La Dôle correspond à une inversion moyenne de 5 degrés au sondage de Payerne, le cas extrême d'inversion (19°) correspondant à une différence Genève - La Dôle de -14 degrés. Le sommet de l'inversion est en effet, dans les cas de brouillard au sol, quasiment toujours au-dessous de l'altitude de La Dôle (le plus souvent entre 1000 et 1500 m), de sorte que la température de cette station est inférieure de quelques degrés à celle du sommet de l'inversion. Le nombre particulièrement élevé de cas d'isothermie à Payerne (23) comprend tous les brouillards d'advection ou de mélange. Quinze jours n'entrent pas dans la statistique. Il s'agit des jours de brouillard persistant où les conditions n'ont pas varié par rapport à la veille ou au lendemain et de quelques cas de brouillard très temporaire, où il n'y avait même pas isothermie.

Figure 4: En ordonnée, positivement, les cas où la température de La Dôle excède celle de Genève; négativement les cas inverses, par températures décroissantes à Genève. On constate que les cas de brouillard sont nombreux par température de La Dôle inférieure jusqu'à 4 degrés à celle de Genève. Ils sont beaucoup plus rares (une douzaine) entre 4 et 5 degrés. Au-delà de cet intervalle, on ne constate plus que 5 cas. Dans deux tiers du total des cas cependant, il y a isothermie ou température supérieure à La Dôle qu'à Genève. La

Fig. 4 Cas de brouillard selon la différence de température GVE - DOL en fonction de la température à Genève

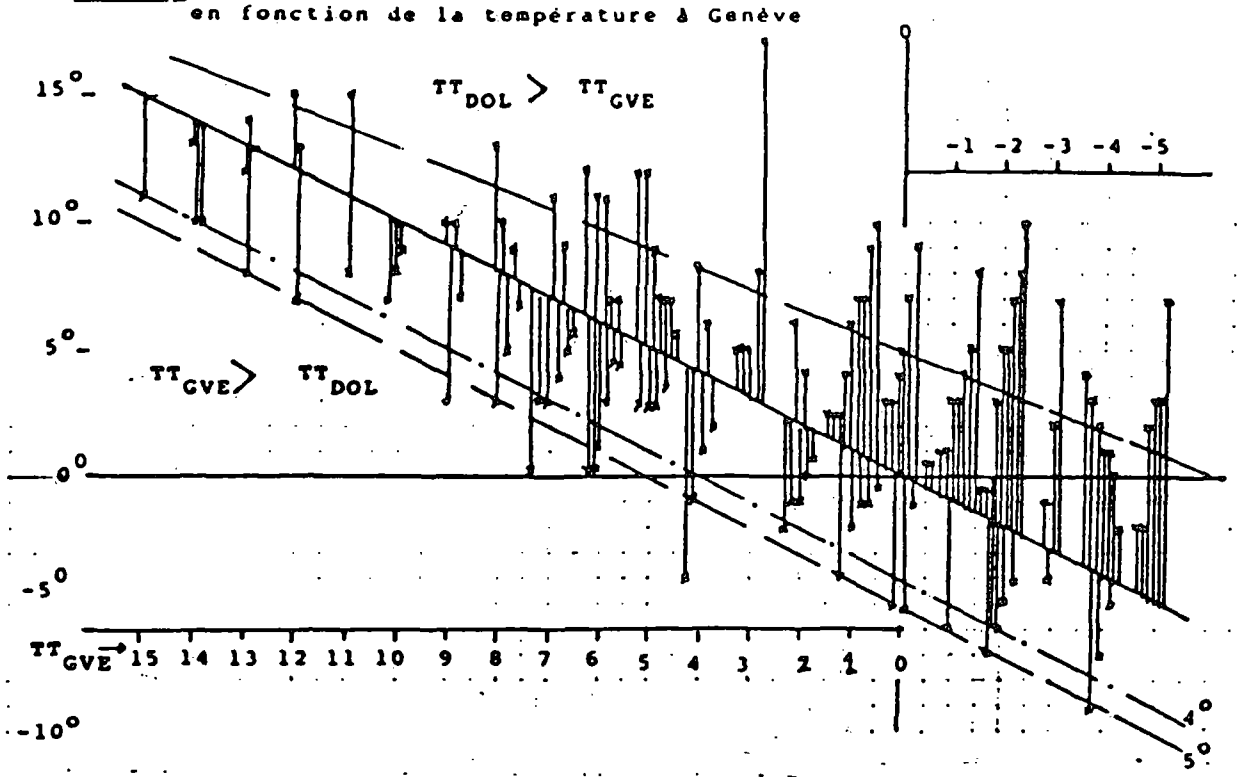


Fig. 5a) Epaisseur de la couche d'inversion à Payerne, selon TT_{GVE}

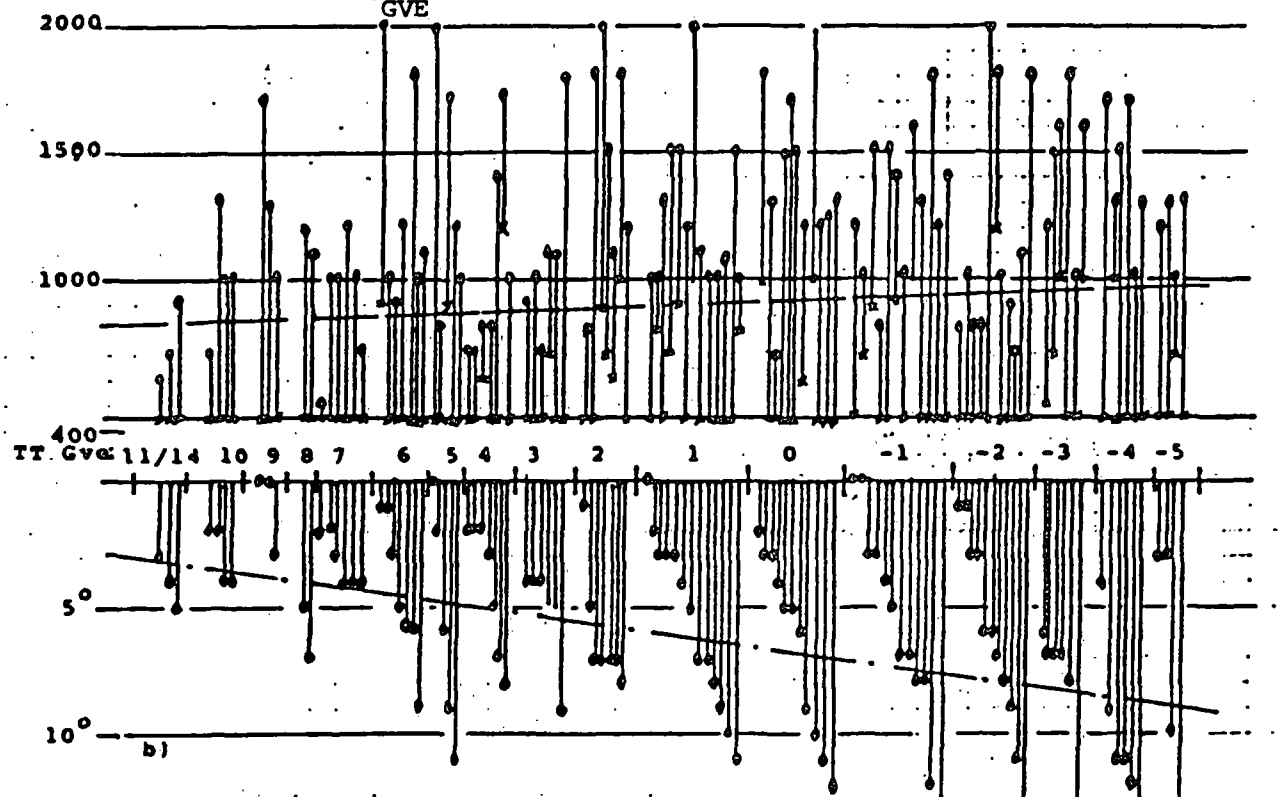


Fig. 5 b) Montant de l'inversion de température en fonction de la température à Genève (données du sondage de Payerne de 00z)

15°

droite de régression supérieure, calculée à partir de la moyenne des différences pour chaque degré de température à Genève, montre qu'aux températures élevées la différence Genève - Dôle négative (c'est-à-dire l'excès de température de La Dôle par rapport à Genève) ne dépasse guère deux degrés. On atteint un excès de 3 degrés en moyenne pour +10 à Genève, 4 degrés pour +5, 5 degrés pour zéro et 6 degrés pour -5 à Genève. Autrement dit les inversions les plus marquées existent toujours par basses températures à Genève (situations anticycloniques d'hiver).

Figure 5: Selon la même échelle décroissante de la température de Genève en abscisse est portée en ordonnée positive l'épaisseur de chaque inversion (les doublets partent d'une base uniforme de 450 m quand l'inversion commence au sol). Le brouillard peut cependant se former avec une base de l'inversion comprise entre 600 et 1200 m (25 cas). Négativement est portée l'ampleur de l'inversion (isothermie dans 6 cas). On constate que le sommet moyen de l'inversion a tendance à s'élever par temps froid (anticyclones d'hiver), mais de façon assez peu marquée: jusqu'à +6 degrés à Genève on peut trouver des sommets jusqu'à 1800-2000 m.

En revanche l'amplitude de l'inversion est nettement plus accusée dans les températures basses que dans les plus élevées (même constatation qu'avec les différences Genève - La Dole).

L'examen de ces trois figures montre qu'il y a une très grande dispersion dans les conditions de formation et qu'il est bien difficile d'établir des corrélations utiles à la prévision.

4 . Brouillard, brume ou stratus.

La seconde étape de ce travail a été d'essayer de distinguer, en fonction de la saturation à la température du pont de rosée de la veille à 1350 h (ou quelques degrés plus bas), les cas où le brouillard se forme et ceux où il n'apparaît que de la brume, éventuellement du stratus.

Pour ce faire, j'ai repris pour ces dix années (par temps clair ou N $<$ 3/8 Sc ou Ac, ou N $<$ 5/8 Ci):

- Les seuls cas où il y a formation de brume (VV 1-8 km), lorsque la température tombait au niveau du point de rosée de 1350 h, ou 1 à 2 degrés plus bas.
- Tous les cas où la température est descendue tris degrés ou davantage au-dessous du point de rosée de la veille à 1350 h.

Ont donc été éliminés:

- Tous les cas, très nombreux, où la température est tombée jusqu'à 2 degés au-dessous du point de rosée de 1350 h et où la visibilité n'est pas en même temps descendue au-dessous de 8 km. Il s'agit presque toujours de situations d'advection du nord au sud-est.

- Tous les cas ou la nébulosité totale était de 3/8 ou plus en nuages bas ou moyens, ou 5/8 ou davantage en Ci. Bien qu'il y ait de nombreuses occurrences de brume ou même de forte brume (VV: 1-3 km) avec un plafond en St, Sc ou Ac/As, ces situations n'entrent pas dans le cadre de la présente étude et ont été laissées de côté (Seuls les cas pouvant provoquer le brouillard étant envisagés).
- Tous les cas où il y a eu changement de masse d'air dans l'intervalle.

Les cas retenus sont au nombre de 293, qui comprennent 3 groupes:

- 108 cas où la visibilité est restée supérieure à 8 km, bin que la température ait atteint:
  - dans 3 cas le point de rosée ou jusqu'à 1 degré au-dessous
  - dans 38 cas 2 ou 3 degrés au-dessous.
  - dans 67 cas 4 degrés ou plus au-dessous.
- 79 cas où la visibilité a été comprise entre 3 et 8 km, bien que la température soit tombée:
  - dans 31 cas de 2 à 3 degés au-dessous du point de rosée de 1350 h.
  - dans 48 cas de 4 degrés ou plus au-dessous.
- 106 cas où la visibilité a été comprise entre 1 et 3 km (parfois inférieure à 1 km pour une observation isolée), bien que la température ait baissé:
  - dans 16 cas de 0 à 1 degré au-dessous du point de rosée de 1350 h.
  - dans 43 cas de 2 à 3 degrés au-dessous de cette valeur.
  - dans 47 cas de 4 degrés ou plus au-dessous.

Les cas où il y a eu formation initiale de stratus bas (< 1000 pieds) au lieu de brume ou de brouillard sont rares: on en compte 9 au cours de ces dix années, dont 3 en situation 3b et 2 en 8a, surtout de juin à octobre. Ceux où il s'est formé du Sc (entre 1000 et 3000 ft) sont moins nombreux encore (8) et se situent presqu'uniquement en automne. Il s'agit le plus souvent de la reformation d'une couche préexistante, après une éclaircie complète en fin de nuit.

En résumé, il y a largement plus de 3/5e des cas (en tenant compte de tous ceux qui ont été négligés dans cette statistique), où la température descend jusqu'au point de rosée de 1350 h ou plus bas sans qu'il y ait formation de brouillard. Seul un tiers de ces cas (106 sur plus de 300) voit la visibilité tomber à 1-3 km.

La corrélation entre situation synoptique et formation de brume est aussi élevée que pour la formation du brouillard. Les situations favorables sont:

TABELLE 4. Situations anticycloniques.

1a	2a	3a	3b	4a	5a	6a/b	6c	6d	6e	6f	Tot.
5	18	15	61	2	14	7	32	11	10	5	180

TABELLE 5. Situations cycloniques.

2b	3c/d	4b	5b	7a	7b	7c	8a	8a'	8a"	8b	8d	9a/c/d	Tot.
6	13	9	7	6	3	2	29	2	22	5	2	7	113

Grosso-modo, la proportion de 2 situations anticycloniques pour une cyclonique (ou 3 pour 2) reste conservée et les situations les plus "sensibles" restent les mêmes: en tout premier lieu 3b, 6c et 8a (mêmes proportions environ), puis 2a, qui devient proportionnellement moins fréquente. Enfin la tombe en proportion à 1/5e seulement de sa propension au brouillard, tandis que la part des situations 8a" augmente nettement. Enfin il apparaît que certaines situations ne donnent quasiment jamais lieu à du brouillard, échappant même à la formation de brume épaisse (1-3 km). Ce sont:

Sans brouillard: Anticycl: 4a, 6a, 6b, 6f (exceptionnelement 5a, 6d, 6e)
Cycl: 4b, 5b, (+7b,7c,8c, 8d, 9a, 9b, dans lesquelles il ne se forme qu'en cas de pluie ou neige)
exceptionnellement: 1b, 2b, 9c, 9d.

Sans forte brume (1-3 km): Anticycl.: 4a, 6a, 6b, 6f (exceptionellement 3a, 5a)
Cycl.: 1b, 2b, 5b, 7c, 8d 9a, 9c, 9d (except. 4b, 7a 7b, 8a', 8b)

Enfin il n'y a que quatre situations où une forte brume apparaît lorsque la température descend jusqu'au point de rosée de 1350 h ou jusqu'à 1 degré au-dessous de cette valeur: 3b, 6c, 6d et 8a, alors que dans les mêmes conditions le brouillard peut apparaître en 1a, 2a, 3c/d, 5a, 6c, 6d/e, 7a 8a et 8a".

Il y a donc nettement des situations (1a, 2a, 3c/d, 5a, 6e, 7a et 8a") ou c'est "le brouillard ou rien". A part les cas où il se forme par sol mouillé, les raisons de ce phénomène n'apparaissent pas clairement.

En ce qui concerne la température absolue à laquelle se forme le brouillard ou la brume, il y a une très grande dispersion. Pour essayer d'établir des différences, j'ai distingué 5 classes de températures: "normal" de 0 à +4 degrés, "doux"de 5 à 9 degrés, "chaud pour 10° et > "frais" de -0 à -4, "froid" au-dessous de -5.

Il apparaît ainsi, mais de façon très grossière et avec de nombreuses exceptions, que les situations 1a et 3b sont plutôt sujettes au brouillard par température normale ou fraîche. Par temps doux ou chaud il faut déjà une assez forte baisse de température pour le provoquer en 1a, la brume ne se formant pas, tandis que nous trouvons plutôt de la brume en 3b.

Inversément, les températures douces ou chaudes sont plutôt favorables au brouillard en situations 2a, 6c, 8a et 8a", également à la brume en 3c/d, 6d 8a et 8a", tandis que le temps froid amène plus facilement de la brume en situations 2a et 6c. Les cas de brouillard ou de brume paraissent répartis arbitrairement pour les autres situations.

La tabelle 6 donne un condensé des cas de formation de brume et de brouillard, en fonction de l'évolution de la température à partir de la saturation, d'une part, des situations météorologiques d'autre part. Elle ne peut avoir qu'une valeur indicative, le nombre des prédicteurs étant trop élevé pour tenir compte de toutes les causes de formation de brouillard et de brume (vent en altitude, épaisseur et valeur de l'inversion, différence de température avec la Dôle, etc.) Seul un traitement par ordinateur, au moyen de l'analyse discriminante ou, selon M. AMBUEHL, par l'élaboration d'un système "EXPERT" (qui pourrait par ailleurs s'appliquer à d'autres éléments de la prévision) permettrait de tenir compte de tous les facteurs à l'origine de ce phénomène. Ce traitement est envisagé à notre Centre, mais nécessitera certainement plusieurs années.

Dans cette tabelle, les situations ayant le plus grand nombre de cas (5 ou plus) dans chaque classe de visibilité sont soulignées, tandis que celles qui ne sont représentées que par des cas isolés (1 ou 2), sont entre parenthèses.

La plus grande difficulté de prévision est soulevée par les situations 3b, 6c, 8a et 8a", qui apparaissent quasiment dans tous les groupes, souvent avec un grand nombre de cas. La seule distinction que j'ai pu établir, dans le cadre d'un traitement "manuel", est le pourcentage de probabilité d'apparition des quatre classes de visibilité, pour chacune de ces situations, en cas de baisse de la température jusqu'au point de rosée de la veille à 1350 h, ou au-dessous de cette valeur. On constate que le brouillard est prédominant pour les situations 3b, 6c et 8a, tandis que dans presque la moitié des cas il n'y a pas d'aggravation en 8a".

5 . La dissipation du brouillard.

Au cours des dix années étudiées, aucun cas de dissipation ne peut être attribué au vent. Ce facteur mis à part, quatre causes peuvent provoquer la dissipation du brouillard:

a. Une élévation de température suffisante à faire "décoller" la température du point de rosée.

Ici encore, il faut faire une nette distinction entre la saison froide, où ces variations sont minimes et souvent insensibles et les saisons intermédiaires où elles sont nettes et déterminantes, du moins dans les cas de brouillards d'inversion. Une élévation de 1 degré dans les cas de brouillard mince et de 2 à 4 degrés au-dessus du minimum dans les autres cas (exception: 7 degrés le 4.10.80) est suffisante à améliorer la visibilité au-dessus du kilomètre (élévation, mais pas nécessairement dissipation de la couche). En revanche, lorsqu'il s'agit de brouillard de mélange, l'amélioration peut intervenir de façon aussi inattendue que la formation, sans variation de la température (2.9.79, 3.3.75, 14.3.75).

En saison froide, on trouve de très nombreux cas (30 sur 68) d'élévation du plafond et de la visibilité sans hausse de la température, ou même avec une baisse, tandis que l'amélioration se produit "normalement" avec une élévation de 1 à 3 degrés de la température (30 cas également) ou de 4 à 7 degrés (8 cas). Ces cas ne comprennent pas ceux où l'élévation ou la dissipation peuvent s'expliquer par d'autres causes. Dans les cas de brouillard givrant (surtout à température peu inférieure à zéro), une élévation au-dessus de zéro de la température peut produire la fonte du givre et maintenir au sol une humidité qui empêche la dissipation, ne permettant qu'une élévation temporaire de la couche. On le constate dans les cas de brouillard persistant des 23-24.12.74, 1o-13.1, 9-12.2 et 28-31.12.75, 29.2 au 1.3.76, 8-9.1.78,8-9.1 et 28-30.11.79, 27-28.12.82, 30.12.83 (ce qui n'empêche pas la persistance de brouillards à des températures constamment positives ou négatives).

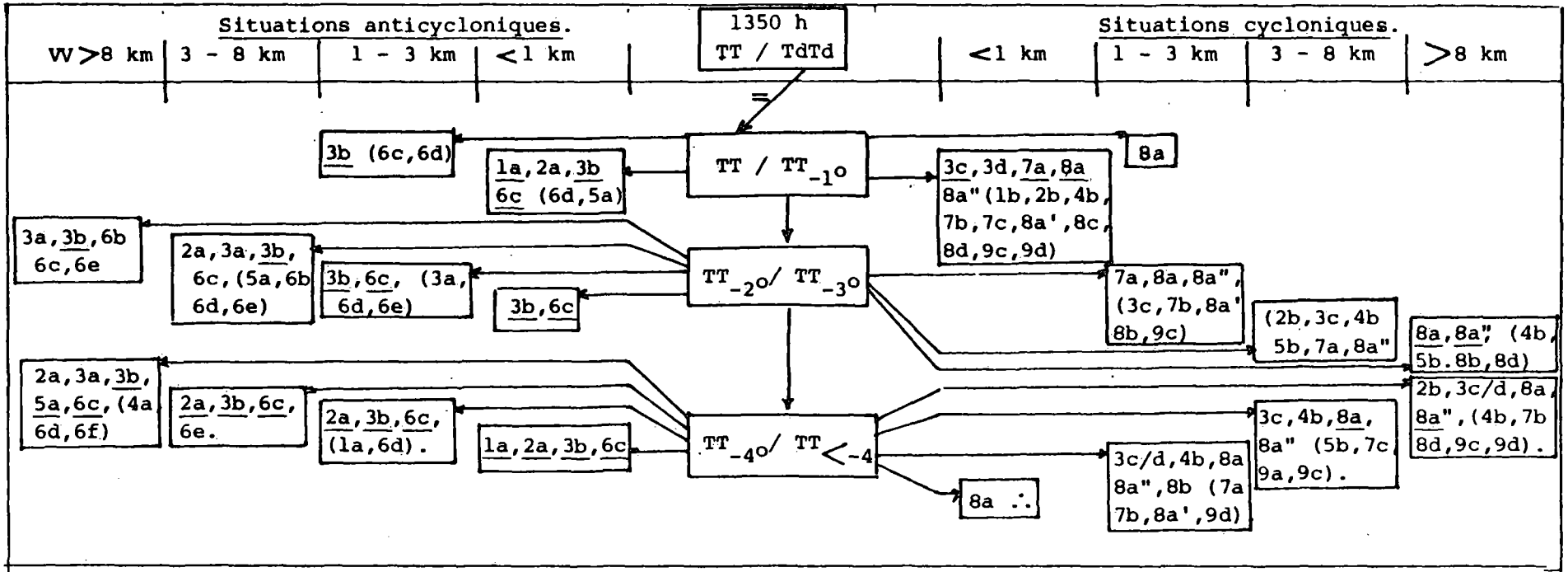
b. Une couverture en Ac, (plus rarement en Ci) au-dessus du brouillard. La saison ne semble pas ici jouer de rôle et l'heure à laquelle intervient la dissipation est quelconque. Elle suit généralement de très peu l'apparition de la couverture en moyens.

c. Dans les cas (assez rares) où le plafond en moyens n'a pas dissipé la couche, l'amélioration peut débuter lorsqu'il commence à pleuvoir (1o.2.79, 22.10.77, 28.9.76, 12.2.75) ou avec la persistance de la pluie ou de la neige (8.2.78, 9.2.79, 7.11.77, 4.2.76).

d. La destruction de l'inversion ou de l'isothermie par arrivée froide en altitude (air froid atteignant la Dole avant Genève: 13.1.74, 22.1.74, 10.1.76, 10.1.78, 19.11.78, 1.12.79, 25.11.80, 31.12.80, 5.11.81, 28.12.82, 7.12.83). L'examen plus détaillé de ces cas montre qu'à part ceux où le refroidissement s'accompagne d'une couverture nuageuse, il suffit d'une baisse de température de 2 à 5 degrés à La Dole pour provoquer la dissipation, quelle que soit par ailleurs la valeur de l'inversion entre les deux stations. On n'oubliera pas cependant que la Dole peut subir des variations diurnes assez amples et que cette baisse n'est significative que si elle ne peut pas être assimilée à la variation normale (c'est-à-dire si elle se produit après 18z ou avant 15z).

e. Un rayonnement assez important peut traverser en partie la couche de brouillard. Une règle empirique de M. ALTHERR, citée dans le Manuel des Prévisionnistes établit que lorsque le rayonnement global mesuré à Genève atteint le 30% de celui de La Dole (dans la dernière heure ou la somme des dernières heures), il y a dissipation du brouillard ou du stratus dans les 3.5 à 4.5 heures. Une étude resterait à faire sur le quotient relatif de ce rayonnement nécessaire à passer du brouillrd au stratus, mais ne suffisant pas à une dissipation complète.

TABELLE 6. Formation de brume ou de brouillard selon la baisse de température au-dessous du point de rosée de la veille à 1350 h.



Pourcentage de probabilité d'apparition de brume ou de brouillard en cas de baisse de la température jusqu'au point de rosée de 1350 h ou au-dessous de cette valeur, pour les situations 3b, 6c, 8a et 8a" .

19	15	23	43	← 3b (1o7 cas)	8a → (44 cas)	34	23	16	27
12	15	28	55	← 6c (58 cas)	8a" → (29 cas)	24	17	14	45

Heures de dissipation (fig. 1)

Les cas de dissipation ou d'élévation de la couche augmentent très fortement à partir de 08z et jusqu'à 11z. Dès cette heure-là et bien qu'on n'ait pas encore atteint le maximum de température, la probabilité de dissipation tombe très fortement.

La conjonction des différents facteurs à l'origine du brouillard est résumée dans la tabelle 4 : mois, heure, situation synoptique, température à l'aéroport, différences de température entre Genève et La Dole, montant de l'inversion au sondage de Payerne, direction et force des vents à 1500 m y figurent par ordre de fréquences décroissantes à partir de la ligne médiane. La conjonction de plusieurs de ces éléments est généralement nécessaire à la genèse du brouillard, sans qu'il soit malheureusement possible de n'en sélectionner que deux ou trois pour rédiger une prévision correcte.

Juin 1984

Références:

(1) PERRET, R. Manuel des Situations météorologiques, mars 1981
Tome I. Etude statistique des situations
Evolutions des situations 1a - 5b.
Tome II. Evolutions des situations 6a - 9d.
(Non publié, tirage interne Centre Météo Genève)

(2) AUBERT, C. Climatology of Geneva-Cointrin Airport. Zurich 1963.

Adresse de l'auteur: R. Perret, Centre Météorologique.
Aéroport, 1215 GENEVE-COINTRIN.