

No. 160

Analyse des conditions météorologiques des trois années de
mesures intensives effectuées dans le cadre du PNR 14+

par

B. Primault, Zurich

Août 1990

Influence des conditions
météorologiques sur les forêts

551.586:634.228

Dépérissement des forêts

634.0.42

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



No. 160

Analyse des conditions météorologiques des trois années de
mesures intensives effectuées dans le cadre du PNR 14+.

par

B. Primault, Zurich.

Résumé:

Le présent travail est la suite logique d'une étude précédente (Primault et Fankhauser, 1988) établissant quatorze critères chiffrés qui permettent de déterminer si les conditions météorologiques d'une année déterminée ont été préjudiciables au développement des forêts ou non. Sur cette base, on a analysé l'évolution du temps au cours des années 1986, 1987 et 1988, aux stations de référence correspondant aux trois sites de mesures intensives du PNR 14+. Bien que chacune de ces années présente une ou plusieurs phases où l'un ou l'autre des paramètres météorologiques retenus dépasse les limites fixées par l'étude de base, aucune d'entre elles ne doit être considérée comme exceptionnelle. Seuls le départ tardif de la végétation et la brièveté de la période de végétation de 1986, en plaine et dans les Préalpes devront faire l'objet de considérations particulières lors de l'examen des résultats des autres études spécifiques.

Zusammenfassung:

Die vorliegende Arbeit setzt eine frühere Untersuchung (Primault und Fankhauser, 1988) im Rahmen des Nationalforschungsprogrammes 14+ fort. In dieser Studie wurden vierzehn Grenzwerte festgelegt, welche eine Aussage über den Einfluss der Witterung eines bestimmten Jahres auf die Entwicklung des Waldes ermöglichen. Diese Grundlagen dienten nun der Analyse der Witterung der Jahre 1986, 1987 und 1988 an den drei Stationen (Zürich, Einsiedeln und Davos), wo im Rahmen des NFP 14+ Intensivmessungen durchgeführt wurden. Obwohl alle drei Jahre Zeitabschnitte aufweisen, in welchen die Grenzwerte überschritten wurden, ist kein Jahr als ausserordentlich einzustufen. Lediglich der späte Beginn der Vegetationsentwicklung und die damit verbundene kurze Vegetationszeit im Mittelland und in den Voralpen im Jahre 1986 muss bei den Auswertungen anderer Teilprojekte berücksichtigt werden.

Riassunto:

Il presente lavoro è la successione logica di uno studio precedente (Primault e Fankhauser, 1988) nel quale sono stati stabiliti quattordici criteri cifrati che permettono di determinare se le condizioni meteorologiche di un dato anno sono state pregiudizievoli o meno per lo sviluppo delle foreste. In base a questi fattori, in tre ubicazioni differenti è stato analizzato l'andamento degli anni 1986, 1987 e 1988, cioè degli anni di misure intensive del PNR 14+. Benchè ognuno degli anni considerati presenti una o più fasi che superano i limiti fissati dallo studio di base, nessuno può essere definito come eccezionale. Soltanto l'inizio tardivo e la brevità del ciclo vegetativo del 1986 in pianura e nelle Prealpi dovranno essere considerati valutando i risultati di altri studi specifici.

Summary:

This research is the logic continuation of a precedent one (Primault and Fankhauser, 1988) carried out in the frame of the National Research Program (NRP) 14+. In the named study, fourteen numerical criteria have been determined which permit to assess for a given year whether the weather has been detrimental or beneficial on forest development. Along these lines, the weather has been analysed for the years 1986, 1987 and 1988 at the three climatological stations (Zurich, Einsiedeln and Davos) corresponding best to the three ad-hoc stations set up for the needs of the NRP 14+. Although each of these three years shows intervals during which the limits yielded by the basis study have been exceeded, none of them must be considered as exceptional. Only the late beginning and the short duration of the vegetation period of 1986 should be kept in mind for later studies.

Sommaire.

1. But de la présente étude.....	5
2. Données utilisées.....	5
3. Les trois années dans le contexte climatologique classique.....	7
4. La période de végétation.....	9
5. Les "saisons" et les critères qui s'y rapportent.....	9
5.1. Généralités.....	9
5.3. Le renouveau.....	13
5.4. L'accumulation de réserves.....	15
5.5. L'aoûtement.....	17
6. Conséquences pour la végétation.....	19
6.1. Considérations générales.....	19
6.2. En 1986.....	19
6.3. En 1987.....	20
6.4. En 1988.....	20
7. Analyse de quelques cas particuliers.....	21
7.1. Considérations statistiques.....	21
7.2. cas d'espèce.....	22
7.2.1. Période du 22 au 27 décembre 1986.....	23
7.2.2. Période du 18 au 23 mars 1987.....	24
7.2.3. Constatations d'ordre général.....	24
8. Conclusions.....	25
9. Bibliographie.....	26
Légendes des tableaux et figures.....	28
Tableaux.....	29
Figures.....	31

Analyse des conditions météorologiques des trois années de mesures intensives effectuées dans le cadre du PNR 14.

1. But de la présente étude.

Avant même la mise en place des stations spéciales dont les relevés devaient servir de base à des études de l'influence de certaines pollutions atmosphériques sur le développement et la santé des forêts, il nous avait paru indispensable de faire une étude séparée, indépendante de la première, pour voir si les trois années prévues étaient "normales" du point de vue climatologique ou non. En effet, les résultats qui seraient obtenus n'auraient une signification pratique que si les conditions météorologiques ayant régné durant la dite période ne s'éloignaient pas de façon significative des conditions courantes, c'est-à-dire de l'"amplitude utile" (voir la définition des amplitudes dans Primault, 1978).

Par conséquent et indépendamment de la mise en place et de l'exploitation des stations spécialisées, nous avons entrepris une étude parallèle, uniquement climatologique celle-là. Dans une publication précédente (Primault et Fankhauser, 1988), nous avons proposé quatorze critères ou conditions météorologiques particulières pouvant influencer défavorablement soit le développement, soit l'état sanitaire des forêts, voire les deux à la fois.

Ayant ensuite défini une période climatologique de référence, ces critères ou plus exactement leurs limites ont été chiffrées.

On dispose donc d'indications précises pour dire dans quelle mesure une année déterminée et, a fortiori, chacune des trois années de mesures intensives, correspond à des conditions "normales" de temps ("amplitude normale" selon Primault, 1978) ou, au contraire, s'en écarte quelque peu ("amplitude utile", ibidem) ou de façon significative. Ainsi, partant des relevés climatologiques, il s'agit ici de transposer selon les mêmes critères, le déroulement du temps en 1986, 1987 et 1988 et de comparer ce déroulement aux limites établies dans l'étude de base citée.

2. Données utilisées.

La disposition et la dotation des stations de référence et les programmes de mesure en vigueur durant la période climatologique de référence (1931-1970) ne sont, pour beaucoup d'entre elles, plus les mêmes aujourd'hui. Par conséquent, une première réflexion a pour but de

déterminer dans quelle mesure les relevés actuels peuvent être utilisés pour des comparaisons d'ordre climatologique.

La première difficulté provient du fait que deux des trois stations climatologiques de référence (Davos et Zürich) ont été déplacées durant la période 1931-1970. Pourtant, les séries climatologiques qui en découlent ont été adaptées à la nouvelle situation par des calculs statistiques établis sur la base de périodes de mesures comparatives effectuées simultanément à l'ancien et au nouvel emplacement.

Entre 1970 et 1985, ces deux stations ont en outre été complètement transformées et font actuellement partie du réseau automatique de mesures de l'ISM (ANETZ). Les mesures y sont donc effectuées non plus trois fois par jour seulement, mais toutes les dix minutes, de jour comme de nuit.

A Einsiedeln par contre, la station est restée au même endroit, sa dotation n'a pratiquement pas changé et son programme de mesure est resté le même.

De ce fait et à première vue tout au moins, nous avons à disposition pour une station des données absolument comparables, pour les deux autres des données différentes tant en ce qui concerne l'emplacement, les heures d'observation d'une part que la dotation instrumentale et la disposition des appareils d'autre part.

Nous disons bien "à première vue", car les services de climatologie de l'ISM ont, dès la création du réseau automatique, pressenti cette difficulté. Afin de disposer de valeurs comparables, ces services ont établi leur banque de données sur un schéma standard, calqué sur les programmes de mesure antérieurs à l'établissement du nouveau réseau. Les moyennes journalières de température, les sommes de précipitations, les délais particuliers retenus dans notre étude climatologique y sont donc parfaitement respectés.

En ce qui concerne les instruments de mesure et leur protection contre les effets du rayonnement tout autant que les délais d'observation, citons les travaux de de Montmollin entrepris sous l'égide du "Fonds National de la Recherche Scientifique". Pourtant, malgré l'incertitude qui en découle, nous n'avons pas hésité à utiliser, telles que, c'est-à-dire sans modification aucune, les données se trouvant dans la banque de données de l'ISM pour nos calculs comparatifs.

Comme nous l'avons signalé déjà, la station de Davos a été déplacée entre temps. Il se peut donc que les chiffres utilisés ne soient pas absolument relevants, surtout en ce qui concerne la formation d'un lac d'air froid déjà signalé par Schüepp (1948). Une étude plus spéciale de ce

problème particulier est en cours ailleurs. Selon les résultats obtenus, nos conclusions concernant cette station devront éventuellement être révisées et adaptées.

Pour terminer, signalons que les services de climatologie de l'ISM effectuent régulièrement divers calculs de plausibilité et des comparaisons entre stations. Sur cette base, les données contenues dans la banque de données de l'ISM sont modifiées au besoin selon les constatations faites lors de ces comparaisons. Par conséquent, il se peut que des études postérieures à la nôtre et basées apparemment, mais alors apparemment seulement, sur les mêmes données conduisent à des conclusions quelque peu différentes. Il faudra alors se documenter sur d'éventuelles adaptations des chiffres de base utilisés dans les deux cas.

3. Les trois années dans le contexte climatologique classique.

Malgré notre réticence à utiliser le calendrier civil dans les recherches de biométéorologie, nous avons tout de même pris en considération les données climatologiques classiques afin de voir dans quelle mesure les trois années de mesures intensives correspondaient à des années normales.

Dans la pratique climatologique, on a en effet l'habitude de nommer "normal(e)" toute année, saison ou mois dont une ou plusieurs valeurs correspondent à la moyenne longue de l'élément considéré. Dans nos études précédentes, nous avons maintes fois souligné que la moyenne d'un paramètre météorologique n'était qu'une vue de l'esprit et qu'elle devait être remplacée dans toute utilisation pratique par des considérations basées sur des répartitions fréquentielles. Nous avons démontré ailleurs les différences d'interprétation qui en découlent et proposé une représentation graphique des dites répartitions fréquentielles (cf. Primault, 1978).

Tout en respectant dans ces premières considérations la division de l'année en mois civils, nous avons établi graphiquement les fluctuations auxquelles deux des éléments principaux du climat avaient été soumis durant la période de 1901 à 1960. La période de référence n'est donc pas ici celle qui a servi de base à l'étude principale, à savoir 1931 - 1970, c'est-à-dire celle prise en considération dans Primault et Fankhauser (1988). Nous la retenons cependant ici, car elle montre combien les deux éléments retenus (température mensuelle moyenne et somme mensuelle des précipitations) peuvent varier. Sur ces graphiques, nous avons reporté les valeurs correspondantes des trois années de mesures intensives.

La figure 1 montre dans quelle mesure la température s'est comportée durant ces trois années en comparaison des fluctuations constatées durant la période de référence.

A la figure 2, nous avons procédé de la même manière pour les précipitations:

Au tableau 1, nous résumons les constatations que l'on peut tirer de ces deux premières figures.

Les conclusions qui s'imposent peuvent être résumées comme suit:

En 1986, février fut froid, janvier très arrosé, septembre par contre très sec.

En 1987, mars et mai furent très froid et froid, septembre et octobre par contre chauds. En juin et juillet, on note un excédent marqué de précipitations.

En 1988, janvier et octobre furent chauds, mars abondamment arrosé.

De ces premières constatations, on peut tirer que seule l'année 1987 présente, pour la végétation, des conditions pouvant avoir eu des conséquences fâcheuses. En effet, tant en 1986 qu'en 1988, les grandes différences d'avec une année "normale" ou voisine de cet état (dans l'étude principale, Primault et Fankhauser, 1988, nous avons écrit que seules des valeurs dépassant l'"amplitude utile" ou les 80% médians seraient retenues) se rencontrent en hiver ou en fin de la saison de croissance. Cette dernière est mal définie dans des considérations de ce genre. Dans la littérature spécialisée, on trouve souvent deux termes pour rendre de telles variations: une "petite" période de végétation qui englobe les mois de mai, juin, juillet et août et une "grande" période de végétation qui s'étend d'avril à octobre (cf. à ce propos la bibliographie citée dans Primault, 1972).

En 1987 par contre, mars (préparation) et surtout mai furent froids, juin frais et surtout très arrosé, juillet enfin arrosé en plaine et à moyenne altitude. On peut donc en tirer que cette année-là, les forêts ont eu un accroissement ralenti. En outre, de telles conditions seraient à retenir lors de l'évaluations des études spécifiques.

Pour nous cependant, ce qui compte avant tout est la réaction des plantes aux impacts météorologiques survenant non plus à des moments préétablis de l'année, mais lors de phases précises du développement des arbres. Ces phases correspondent en outre à des états physiologiques

typiques (débourrement, allongement, floraison, maturation des fruits, coloration ou chute des feuilles, etc.).

4. La période de végétation.

Comme nous l'avons relevé à plusieurs reprises déjà (Primault, 1954, 1972, Primault et Fankhauser, 1988), toute démarche concernant les relations entre le développement de la végétation, donc des forêts, et les conditions météorologiques doit s'écarter délibérément du calendrier usuel ou civil. Seule l'évolution des conditions météorologiques, en particulier de la température, devraient entrer en considération ici. C'est ainsi qu'a été définie la "période de végétation".

Partant des définitions décrites dans l'étude de base, nous avons établi pour nos trois stations et pour les trois années 1986, 1987 et 1988 le début et la fin de la dite période.

Comme nous l'avons relevé déjà dans l'étude de base, les conditions météorologiques de l'hiver précédant jouent un rôle non négligeable dans l'évolution de la végétation d'une période de végétation déterminée. Ainsi, nous avons également pris en considération la fin de la période de végétation de 1985, obtenant ainsi des indications sur le "repos hivernal" 1985-1986 qui constitue en fait le point de départ de l'année 1986.

Les valeurs ainsi obtenues sont consignées à la figure 3.

De là, nous tirons les premières conclusions concernant l'impact de ces données sur la longueur des différentes "saisons" de nos trois années en comparaison de la période climatologique de référence (cf. tableau 2.).

5. Les "saisons" et les critères qui s'y rapportent.

5.1. Généralités.

Dans notre étude de base (Primault et Fankhauser, 1988), nous avons déjà souligné l'importance de la "saison morte" précédant une période de végétation. Pour ne pas susciter dans l'esprit du lecteur le sentiment que les arbres se trouvent alors dans un état de léthargie, donc presque sans réaction aucune, nous avons baptisé cette période "repos hivernal". Ainsi, on sentait mieux cet état de préparation que subit la végétation au cours de l'hiver.

La période de végétation elle-même avait été divisée en trois parties et, faute de mieux, nous avons repris pour chacune d'elles, les termes usuels de: "printemps", "été" et "automne".

De tels termes peuvent cependant prêter à confusion. Pour certains lecteurs, ils se rapportent aux cycles de trois mois civils tels qu'on les connaît en climatologie classique. C'est la raison pour laquelle, dans ce travail, et nous pensons à l'avenir aussi, nous leur préférons des dénominations qui reflètent effectivement ce qui se passe dans la nature. Il s'agira alors de phases spécifiques du développement physiologique de plantes pérennes.

Le début de la période de végétation est marqué par le débourrement des bourgeons et cela aussi bien pour les arbres à feuilles caduques que pour les résineux aux aiguilles persistantes. Une fois les feuilles étalées, l'activité de l'arbre se concentre en majeure partie sur l'allongement des rameaux et des branches. Tous ces phénomènes sont visibles pour l'observateur, averti ou non. Nous avons donc choisi comme terme général pour cette première phase végétative: **LE RENOUVEAU.**

Cette "saison" ne s'achève généralement pas de façon abrupte. Chaque individu réagit différemment aux impacts qu'il reçoit du milieu ambiant. De ce fait, il est très difficile, voire impossible, de définir, météorologiquement parlant, la fin de cette première phase et, partant, le début de la suivante. On aurait pour cela pu retenir l'apparition d'un certain état phénologique, comme, par exemple, la floraison d'une essence particulière. Pourtant, un tel procédé aurait supposé que l'on disposât de données phénologiques précises, données ayant une valeur climatologique (30 ans au minimum). Or, de telles informations font très souvent défaut comme nous avons l'intention de le démontrer ailleurs.

Pour l'observateur non averti, la deuxième phase du développement annuel de la végétation est beaucoup moins spectaculaire que la première. Les arbres sont verts et semblent en repos complet. Ce n'est qu'en observant attentivement les couronnes que l'on remarque que l'arbre fleurit et que ses fruits se développent lentement. Dans la plupart des cas, le processus de maturation ne se termine pas durant cette phase spécifique. Elle réclame même parfois plusieurs années.

L'activité principale des plantes consiste alors à mettre à profit les hautes températures que l'on rencontre généralement chez nous à ce moment-là de l'année. L'activité cellulaire est de ce fait intense et la plante accumule alors des réserves. Une bonne partie des sucres produits est transformée en cellulose dans le tronc et les branches: il y a un accroissement non plus tellement en longueur comme lors du renouveau, mais bien en épaisseur (cf. Primault, 1954). Pour ces différentes raisons, nous parlerons ici d'**ACCUMULATION DE RESERVES.**

Comme dans le cas précédent, le passage de cette phase physiologique à la suivante est ici graduelle et surtout individuelle, bien que dépendante, elle aussi, des conditions météorologiques du moment. Il ne nous fut cependant pas possible de donner une définition du passage de l'une à l'autre et ne découlant que de l'évolution du temps.

La troisième période de la vie annuelle des plantes est destinée à préparer la période de végétation suivante. C'est à ce moment-là que les bourgeons prennent leur forme définitive, qu'ils se différencient entre bourgeons à feuilles et bourgeons à fruits. Certes, le bourgeon est déjà présent dans un état latent depuis une année, au moins. Pourtant, ce n'est qu'à ce moment qu'il reçoit sa destination définitive. C'est aussi à ce moment de l'année que la plupart des semences atteignent leur maturité. Elles sont alors prêtes à germer. Leurs propriétés germinatives se déterminent en majeure partie aussi à ce moment-là. Enfin, c'est sous l'influence de la baisse générale de la température, tout autant que sous l'influence de la diminution de la lumière (jours de plus en plus courts; modifications qualitative et quantitative du rayonnement, donc de l'énergie reçue au cours de la journée) que la cellulose prend sa forme définitive dans les troncs. Tous ces phénomènes vitaux peuvent se résumer en un seul terme: **L'AOUTEMENT.**

En utilisant systématiquement ces nouveaux termes pour dénommer les trois subdivisions principales de la période de végétation (il y en aurait une multitude d'autres), nous espérons dissiper tout malentendu quant aux laps de temps considérés.

Ici, comme dans l'étude principale d'ailleurs, ces laps de temps sont variables d'un endroit à l'autre et d'une année à l'autre. Dans l'impossibilité actuelle d'en définir météorologiquement le début ou la fin, force nous est d'adopter ici les mêmes définitions qu'alors, à savoir un tiers de la période de végétation. Pour ce qui est du renouveau et pour tenir compte de l'état de l'humidité dans le sol, nous y avons ajouté dans tous les critères concernés par les précipitations les 15 jours précédant la dite période (le repos hivernal est alors écourté d'autant).

Examinons maintenant l'évolution du temps durant les années 1986, 1987 et 1988 selon les différents critères se rapportant à ces "saisons" et tels qu'ils ont été définis dans l'étude principale (cf. Tableau 2).

Pour terminer ces remarques générales, notons que lors des décomptes des périodes de sec comme des périodes avec précipitations, on peut en rencontrer plusieurs dépassant 10 jours durant une même fraction de l'année ou "saison". Comme nous n'avons pas établi de distinction annuelle dans l'étude principale les diagrammes des répartitions fréquentielles donnent une information globale de ces phénomènes.

5.2. Le repos hivernal.

A la figure 4, nous donnons pour chacune de nos trois stations de référence, le décompte des jours auxquels la température du matin (07h 30) a été inférieure à 0°C (critère A). En effet, ce sont des froids intenses, durables et répétés qui portent préjudice au développement futur des arbres. Si les périodes de repos hivernal de 1985/1986 et de 1986/1987 présentent effectivement un nombre plus important de jours très froids que la période de référence (surtout à Einsiedeln), leur nombre ne semble pas avoir mis en péril le développement futur des arbres par congélation des sucs cellulaires du cambium. Leur nombre est en effet trop peu important pour cela.

Ce qui frappe par contre c'est le petit nombre de jours froids (température inférieure à 0°C à 07h 30) du repos hivernal 1987/1988, tel qu'il apparaît à la deuxième ligne du tableau 2. Ceci démontre que la dite période a été particulièrement douce, ce qui a pu poser aux plantes quelques problèmes lors du débourrement (voir plus loin au chapitre 6.4. ce que nous disons de la levée de dormance).

Nous avons vu déjà, et Turner (1988) l'avait très bien démontré avant nous, que de fortes baisses de température suivies de hausses importantes portaient un préjudice certain aux arbres, principalement aux résineux dont les aiguilles pouvaient alors geler. A la figure 5 (critères B et B1), nous donnons l'évolution de ces trois périodes spécifiques. Il en ressort que 1986/1987 et à Einsiedeln seulement présente un désaccord significatif d'avec la période de référence. Nous y reviendrons d'ailleurs plus en détails au chapitre 7. Malgré le nombre inusité (beaucoup plus important que dans aucune des 40 années de référence) de telles baisses de température, il ne nous semble pas que cela ait eu des conséquences tragiques pour la végétation de la région. Pour cela deux raisons sont à souligner. Tout d'abord, il s'agit d'événements isolés les uns des autres, donc pas d'un phénomène répétitif comme ce fut le cas lors des faits étudiés par Turner (ibidem). En outre, la hausse de température précédant et surtout suivant l'événement sont, pour le gel des aiguilles, particulièrement importantes. Elle fait généralement défaut ici. En effet, toutes ces baisses spectaculaires de la température d'un jour à l'autre sont dues ici à des afflux d'air polaire et non à des fluctuations successives du niveau supérieur de la couche de stratus (inversion thermique) qui recouvrait le Moyen Pays suisse. Il n'y eut donc jamais baisses et hausses successives plusieurs fois en un seul jour, comme l'avait constaté Turner dans son étude. Il s'agit donc ici de conditions météorologiques tout à fait différentes.

Durant les trois périodes de repos hivernal prises ici en considération, on ne rencontre à nos trois stations aucune période de sec particulièrement prolongée, ainsi qu'en témoigne la figure 6 (critère D).

Il n'en va pas de même en ce qui concerne les périodes avec précipitations. A la figure 7 (critère H), on remarque pour Zürich et Einsiedeln une à deux périodes situées dans la partie supérieure de la répartition fréquentielle. De ce fait, on peut s'attendre à ce que l'approvisionnement en eau du sol y était bien suffisant au départ de la végétation. A Davos, on reste dans l'amplitude normale, ce qui prouve qu'il n'y eut pas de surplus d'humidité marqué durant le repos hivernal.

5.3. Le renouveau.

Le gel est certainement l'élément météorologique le plus préjudiciable à la végétation lors de son renouveau. C'est d'ailleurs pour cette raison qu'un service spécial est mis sur pied chaque année par l'ISM afin d'aviser les arboriculteurs, viticulteurs et horticulteurs d'un danger de gel imminent et, ainsi, de leur permettre de prendre des mesures adéquates pour protéger leurs cultures. Dans le cas qui nous occupe soit la végétation naturelle, aucune protection n'est possible. La végétation est donc exposée directement à ce phénomène naturel.

A la figure 8 (critère C), nous donnons par décade le nombre de jours où la température de 07h 30 a été inférieure aux quatre seuils critiques de 0°, -3°, -6° et -10°C. Rappelons ici que les températures considérées sont celles mesurées sous abri. Dans le cas de la lutte contre le gel, on se sert cependant d'une autre information: celle donnée par un thermomètre à alcool placé horizontalement et rayonnant librement. On a en effet constaté qu'une telle mesure indiquait de façon très proche de la réalité la température des végétaux. C'est ce qu'on a dénommé "température VAHx" (cf. pour cela Primault, 1962).

Pour être préjudiciables à la végétation, les gels du printemps doivent cependant se produire après que celle-ci ait pris son essor. C'est d'ailleurs pour cette raison péremptoire que le service d'avertissement de gel de l'ISM ne débute que lorsque les observations effectuées à un réseau spécialisé de stations phénologiques ont apporté la preuve que la végétation a atteint un point tel que des gels pourraient lui être préjudiciables. Dans nos considérations initiales, nous n'avons pas tenu compte de ce phénomène. De ce fait, si des gels, même sévères, se produisent avant le début de la période de végétation, nous n'en tiendrons pas compte dans notre appréciation spécifique.

Ainsi, bien que l'année 1986 présente à nos trois stations un nombre important de gels durant la décade du 11 au 20 avril et 1987 à Davos durant le début de mai, il ne nous paraît pas que cela ait dû avoir des conséquences particulières, car la végétation n'avait pas encore débourré à ce moment-là (début de la période de végétation).

Ajoutons pour être complet que Schüepp (1948) avait déjà montré l'importance des gels de printemps pour la culture de la pomme de terre dans la région de Davos. Il avait souligné à ce propos que cette région était souvent sous l'influence d'un lac d'air froid. Comme nous l'avons déjà relevé, les données climatologiques dont nous disposons ne permettent pas une appréciation précise de ce phénomène particulier. Il se peut donc que, vu la différence de niveau entre la station de référence et le site de mesures intensives, on puisse constater des divergences considérables entre les chiffres publiés ici et ceux découlant de la station de site.

Le sec est particulièrement préjudiciable à la végétation à cette phase de son développement. En effet, les arbres ont de très gros besoins en eau pour satisfaire une transpiration abondante. Les températures se relevant peu à peu nécessitent une compensation continue du déficit de saturation de l'air. En outre, la constitution des nouveaux tissus (feuilles et rameaux en particulier) consomme des quantités importantes de sucre (amidon, puis cellulose). Ce sucre est formé à partir du gaz carbonique de l'air et d'eau. Aucune de nos trois années et à aucune de nos trois stations on ne dépasse la répartition normale quant à la durée des périodes de sec, ainsi que le montre la figure 9 (critère E).

Si le sec est à craindre à ce moment de l'année, un sol détrempé ne l'est pas moins. A la figure 10 (critère I), nous donnons le nombre de jours des périodes avec précipitations dépassant 10 jours. Seule l'année 1987 présente un excédent notable et cela à Zürich seulement. Partout ailleurs, les valeurs relevées se maintiennent dans l'amplitude normale ou au-dessous.

Des précipitations de courte durée, mais très abondantes peuvent mener au même résultat (saturation du sol) qu'une période prolongée avec précipitations. A la figure 11 (critère II), nous donnons le décompte des jours ayant présenté des précipitations particulièrement abondantes. Si certaines années se démarquent à ce propos, on n'en retiendra cependant aucune qui puisse avoir eu des conséquences fâcheuses pour le développement des arbres.

Nous avons noté plus haut que le renouveau était caractérisé par des températures qui se relevaient de jour en jour. La température joue donc certainement un rôle prépondérant dans le développement de la végétation, surtout à cette époque de l'année. C'est pour cette raison que le

critère définissant le début de la période de végétation est basé uniquement sur la durée de dépassement d'un seuil de température.

Mais des températures très élevées sont aussi à redouter, car elles mettent en péril l'équilibre métabolique de l'arbre. En effet, sous l'action de températures très élevées de l'air, (qui s'accompagnent généralement d'un déficit de saturation élevé lui aussi), les feuilles transpirent énormément. Si l'apport par les racines ne suit pas (sol encore froid par exemple), les feuilles ne peuvent maintenir leur turgor. Pour lutter contre une trop forte déperdition d'eau, elles ferment alors leurs stomates. Par ce mouvement, elles diminuent, voire annulent complètement l'arrivée dans les tissus du gaz carbonique indispensable à l'assimilation, la formation des sucres en particulier. De ce fait et malgré une activité accrue des sucres cellulaires, il n'en découle pas d'accroissement particulier. Au contraire, cette forte activité peut, du fait de la combustion de réserves qui s'ensuit, diminuer les réserves en sucre de la plante, bien que le CO₂ produit par la dite combustion est aussitôt retransformé en sucre sous l'action du rayonnement (énergie) reçu.

A la figure 12 (critère L), nous donnons les décomptes des jours chauds (température à 13h 30) de cette "saison". Il en ressort que l'année 1986 a connu un renouveau particulièrement chaud à Zürich et à Einsiedeln. Il en va de même de 1987, mais à Einsiedeln seulement.

Comme 1986 se signale tant à Zürich qu'à Einsiedeln par un début très tardif de la période de végétation, cela signifie que les températures s'y sont relevées de façon spectaculaire au cours du renouveau. Une telle configuration a certainement eu des répercussions sur le développement des arbres en ce sens que le débourrement tardif a été brusquement activé par les dites hautes températures et que, partant, un déséquilibre hydrique s'est produit, déséquilibre qui aurait pu conduire à une assimilation réduite par rapport à ce que l'on pourrait attendre d'une étude basée sur des températures cumulées comme la préconisait Réaumur en 1735 déjà.

5.4. L'accumulation de réserves.

Une fois les feuilles déployées et l'allongement principal passé, l'arbre diversifie ses activités. Les températures ne sont alors plus si basses qu'elles puissent compromettre le développement, aussi le métabolisme général tend vers la production de réserves. Celles-ci sont de nature très diverse selon l'essence et selon le stade phénologique atteint.

Ce qui nous intéresse plus spécialement ici c'est l'accroissement. Sous ce terme, nous entendrons principalement l'augmentation du diamètre aussi bien du tronc que des branches maîtresses.

Pour cela, l'arbre fabrique des sucres dans sa couronne (aiguilles ou feuilles caduques). Ces sucres sont alors transportés vers le cambium où ils sont transformés en amidon d'abord, puis en cellulose, donc en bois.

Sous nos climats, la température et l'énergie nécessaires à cela sont en général suffisantes. En effet et comme nous l'avons relevé au début de ce chapitre, les températures ne descendent plus au-dessous d'un niveau qui mettrait en péril une assimilation durable. Certes, des retours de froid peuvent, en montagne surtout (Davos), inhiber momentanément le développement, c'est-à-dire se situer au-dessous du "zéro de végétation". De ce fait, on peut assister quelques fois à des arrêts de développement, mais ces arrêts ne sont que de courte durée (quelques jours au plus).

Le facteur limitant la fabrication des sucres est alors l'eau disponible. Par suite d'une sécheresse prolongée et de températures élevées, un déséquilibre se produit aux étages supérieurs de la plante: ses pertes vers l'atmosphère ne sont plus intégralement compensées par les apports par les racines. Comme nous l'avons déjà mentionné, la plante réagit à une telle situation par la fermeture de ses stomates. Cela réduit certes les pertes d'eau vers l'extérieur par transpiration, mais diminue, voire empêche par là les échanges gazeux, en particulier la consommation de gaz carbonique, élément de base pour la fabrication des sucres.

A la figure 13 (critère F), nous reproduisons la durée des périodes de sec dépassant 10 jours. Aucune de nos trois stations ne présente de telles périodes durant les trois années de mesures intensives. Par conséquent, nos peuplements forestiers n'ont subi aucune préjudice par suite d'un manque de pluie.

De longues périodes de sec ne représentent pas le seul élément météorologique pouvant diminuer le développement des arbres. Des pluies abondantes ou de longues périodes avec précipitations peuvent également représenter un certain danger.

A la figure 14 (critère J), nous avons reporté les périodes avec précipitations dépassant 10 jours. On y trouve en 1987 aussi bien à Einsiedeln qu'à Davos une période dépassant en durée tout ce qui avait été relevé durant la période climatologique de référence. Il en va de même, à Einsiedeln de nouveau, pour 1988.

Notons que la période avec précipitations de 54 jours relevée en 1987 à Davos ne signifie pas qu'il y a plu chaque jour durant près de deux mois (voir définition dans Primault et Fankhauser, 1988). En outre, si cette période couvre pratiquement toute l'accumulation de réserves, elle déborde largement (18 jours) sur l'aoûtement.

De telles périodes avec précipitations peuvent signifier que l'énergie disponible, c'est-à-dire la durée d'insolation, n'a pas été suffisante pour que les arbres puissent mettre à profit les températures ambiantes, d'où diminution de l'accroissement total.

Rappelons ici que, ne disposant pas de données suffisantes (rayonnement différencié) de l'énergie disponible, nous avons renoncé à utiliser ce facteur dans nos considérants, malgré son importance certaine pour le développement des plantes.

Le déséquilibre hydrique dont nous avons parlé plus haut peut aussi provenir de fortes chutes de pluie (averses, inondations) qui détrempe le sol, au moins passagèrement, et inhibent ainsi l'activité des racines (manque d'oxygène). L'apport d'eau est alors diminué d'autant aux étages supérieurs. A la figure 15 (critère J1), nous donnons le nombre de jours classés selon les précipitations recueillies. Pour être néfastes, les précipitations doivent dépasser 30 mm en 24 heures pour les sols de nos parcelles forestières. Retenons ici que les 5 jours de l'été 1986 où la pluie a dépassé ce seuil à Einsiedeln peuvent avoir eu des répercussions sur le développement des arbres. Ailleurs, on ne trouve pas de situation qui puisse avoir eu des conséquences préjudiciables.

Nous avons vu plus haut qu'un déficit hydrique pouvait aussi provenir de températures particulièrement élevées. A la figure 16 (critère M), nous avons reporté, à partir de 20 °C, le nombre de jours où les températures de 13h 30 avaient atteint des seuils échelonnés de degré en degré.

Même si nos courbes dépassent quelques fois le seuil des 90% de la période climatologique de référence, voire indiquent des fréquences jamais atteintes durant cette époque, il s'agit toujours de températures aisément supportables par les arbres de nos peuplements. En effet, ces températures ne dépassent alors pas des valeurs courantes, climatologiquement parlant.

5.5. L'aoûtement.

En fin de saison, l'arbre ayant terminé son accroissement et en longueur et en épaisseur s'apprête au repos hivernal. Pour cela, il différencie ses bourgeons et se met peu à peu en veilleuse. Il y est aidé ou plutôt il y est sollicité autant par une baisse progressive de la température que par une diminution de la durée du jour, d'où moins d'énergie disponible par suite de la diminution de la durée d'insolation et aussi, voire plus encore, par une modification graduelle de la qualité de la lumière (rapport d'intensité des différentes lignes du spectre: la lumière tiré vers le jaune).

Pour que ces transformations se fassent dans de bonnes conditions, il faut que le temps soit sec et que des gels précoces ne viennent pas interrompre brusquement l'activité cellulaire du cambium ou fassent tomber les feuilles. C'est pour cette raison que nous avons mis l'accent sur les basses températures relevées le matin dans la définition de la fin de la période de végétation.

Certes, notre subdivision de la période de végétation en trois "saisons" de durée égale est arbitraire. En effet, il se peut qu'un gel très précoce vienne mettre subitement un terme à une activité cellulaire encore débordante. Dans ce cas, diviser en parties égales toute la période de végétation ne correspond plus à une réalité physiologique et l'aoûtement brusqué qui s'ensuit n'est nullement favorable au développement durant l'année suivante. De ce fait et comme dans les cas précédents, nous aurions préféré donner une définition météorologique au début de cette dernière subdivision temporelle. Pourtant, nous n'avons trouvé pour cela aucun point de repère fiable dans la littérature.

Comme nous le signalons plus haut, un gel précoce peut mettre brusquement un terme à l'activité des plantes. De la figure 3, on peut déduire que ce fut le cas à Davos en 1988. Mais, comme il s'agit de la dernière des trois années de mesures intensives, nous n'avons pas besoin de nous inquiéter d'une telle situation, car elle n'aurait de conséquences préjudiciables, et encore, qu'en 1989.

A la figure 17 (critère G), nous indiquons la durée des périodes de sec. On y trouve un dépassement de la limite de 90% en 1986 à Zürich et à Einsiedeln, en 1988 à Davos. A part cela, les conditions furent relativement favorables à un aoûtement normal.

Si le sec lui est favorable, des période prolongées avec précipitations tendent au contraire à retarder l'aoûtement. A la figure 18 (critère K), on a reporté le nombre et la durée de telles situations. Cette figure nous montre tout d'abord que cette période de l'année est celle qui présente le moins de périodes prolongées avec précipitations et que, durant les trois années examinées, aucun cas d'excès ne s'est présenté.

On peut en conclure que l'aoûtement s'est passé chaque année dans des conditions favorables, de ce point de vue également.

Notons pour terminer et pour être complet qu'un examen similaire des conditions ayant régné durant la période correspondante de 1985 pourrait éventuellement apporter un éclairage particulier sur le comportement des arbres au départ de la végétation de 1986, première de nos trois années.

6. Conséquences pour la végétation.

6.1. Considérations générales.

Dans les chapitres qui précèdent, nous avons mis l'accent sur certains faits météorologiques qui ont certainement des répercussions sur le développement de la végétation. Il s'agit maintenant d'en tirer les effets réels sur le développement de la végétation de trois années particulières et en trois endroits bien déterminés.

La difficulté réside ici du poids à accorder à chacun d'eux par rapport aux autres et, ensuite, de voir s'ils n'ont pas eu de répercussions particulières en raison de leur apparition simultanée ou consécutive. En effet, une situation particulière peut en elle-même être maîtrisée par la plante, mais l'affaiblir de façon telle que l'événement suivant, anodin lui aussi si pris isolément, prend une importance telle que le tout est compromis. Dans ce qui suit, nous avons cherché à tenir compte de ces deux impératifs.

6.2. En 1986.

Pour Davos, le tableau 2 nous indique que rien de particulier n'est à signaler cette année-là. Par conséquent, les résultats des mesures intensives peuvent y être admises comme telles et sans restrictions aucunes.

En plaine et à moyenne altitude par contre (Zürich et Einsiedeln), cette année présente, comme caractéristiques principales, un début très tardif et une durée très courte, voire extrêmement courte (Zürich). Cette situation ainsi que des périodes avec précipitations très longues durant le repos hivernal eurent certainement une importance non négligeable sur le comportement futur des arbres. De ce fait et nonobstant un éventuel apauvrissement déficitaire à la fin de la période de végétation de 1985, le renouveau s'est effectué très brusquement, ce qui est encore accentué par un nombre important de jours chauds. Il est donc probable que, dans ces deux régions, les arbres ont subi un déséquilibre hydrique durant cette phase de leur développement.

Le départ très tardif de la végétation a cependant eu pour conséquence favorable pour la végétation que les gels nombreux et sévères relevés en avril ne lui ont pas été dommageables.

De ce fait, les arbres ont pourtant été soumis à certaines contraintes, si bien qu'ils n'ont probablement pas pu profiter pleinement des conditions normales de la période d'accumulation de réserves.

L'accroissement total de cette année a pu en souffrir, mais nous ne pensons pas que cela soit de façon significative.

Quant à l'aoûtement, il s'est effectué dans de très bonnes conditions, si bien que ce sont des arbres en parfaite condition qui ont abordé le repos hivernal suivant, et cela dans nos trois sites de mesures intensives.

6.3. En 1987.

Malgré des baisses de température importantes et nombreuses (nous reviendrons sur ce point particulier au chapitre 7), ainsi qu'une très longue période avec précipitations à Einsiedeln, le repos hivernal s'est déroulé de façon favorable dans nos trois sites. Ce sont donc des arbres en parfaite condition qui ont abordé la période de végétation de 1987.

Cette dernière ne présente pas de caractéristiques particulières.

Comme nous le relevions pour la plaine en 1986, le départ tardif de la végétation en montagne en 1987 a fait que les nombreux gels relevés cette année-là à Davos durant le renouveau n'ont pratiquement pas eu de répercussions néfastes sur la végétation de la région de montagne.

Malgré une période de sec prolongée à Zürich et quelques jours chauds à Einsiedeln, le renouveau s'est passé dans de bonnes conditions.

La présence d'une période avec précipitations particulièrement longue tant à Einsiedeln qu'à Davos durant la période d'accumulation de réserves montre que l'on a probablement assisté à un déficit énergétique durant cette année et cela aussi bien à moyenne altitude que en montagne surtout. L'accroissement (largeur des cernes) a dû en souffrir. Nous ne pensons pourtant pas que, de ce fait, l'état sanitaire de nos peuplements de ces deux régions en ait été affecté.

L'aoûtement, pour sa part, s'est produit dans des conditions parfaitement normales.

En bref, 1987 a vraisemblablement été une année de rendement moindre, mais, à part cela, normale.

6.4. En 1988.

Le repos hivernal se signale par un nombre exceptionnellement bas de jours durant lesquels la température du matin a été inférieure à 0°C. De

ce fait, on peut dire que le repos hivernal de 1987/1988 a été particulièrement doux.

Ce sont donc des arbres peu préparés au débourrement qui affrontent le début de la période de végétation en 1988. En effet, Nigond (1966, 1968) a démontré que la vigne avait besoin de certaines conditions de froid (levée de dormance) afin de valoriser la chaleur du printemps et cela surtout lors du débourrement. Dans deux études déjà assez anciennes, nous en étions arrivé à des conclusions semblables pour le blé d'une part, pour les arbres fruitiers d'autre part (cf. Primault, 1957, 1971). Il en va d'ailleurs de même de Nigond et al. (1968).

La période de végétation de cette année ne se caractérise que par sa durée à Davos.

Le renouveau a été parfaitement normal, si ce n'est un nombre exceptionnel de jours présentant des températures relativement basses à Zürich. Ceci laisse à penser que le printemps fut frais donc que le déploiement des feuilles et l'allongement des rameaux a été ralenti par rapport à une année "normale". Les arbres n'en ont cependant guère subi de dommages physiologiques notables.

La période d'accumulation de réserves ne présente pas de signes particuliers, si ce n'est une période extrêmement longue avec précipitations à Einsiedeln. Celle-ci laisse à penser que la nébulosité y a été plus dense que d'ordinaire durant cette phase physiologique d'où accroissement probablement diminué.

Grâce à une période prolongée de sec en montagne, l'aouêtement s'y est effectué de façon excellente. Ailleurs, les conditions ont été normales. Ces constatations n'ont cependant eu aucune répercussion sur le développement des forêts en 1988.

En bref, l'année 1988 a été parfaitement normale et les conclusions tirées des recherches particulières ne doivent pas être réexaminées sous un aspect particulier découlant de conditions météorologiques particulières.

7. Analyse de quelques cas particuliers.

7.1. Considérations statistiques.

L'étude climatologique de base fait largement état de la variabilité à laquelle sont soumis les différents paramètres météorologiques. Cette variabilité n'est nullement atténuée par la prise en compte de plusieurs d'entre eux, c'est-à-dire par l'essai de synthétiser leurs divers impacts sur

un être vivant que ce soit l'homme, un animal ou une plante. Par conséquent, il est indispensable de connaître chaque fois les valeurs extrêmes tout aussi bien que leur fréquence auxquelles cet être vivant (dans notre cas les arbres de la forêt) peut être soumis.

En météorologie, les valeurs que peuvent prendre certains paramètres sont limitées par la nature-même des dits paramètres (humidité relative entre 0 et 100%, durée d'insolation entre 0 et le maximum journalier possible en fonction de la hauteur du soleil et de l'horizon naturel du lieu). D'autres ne sont limités qu'à l'une de leur extrémité (les précipitations ne peuvent être négatives), d'autres sont par contre variables sans limites, en théorie tout au moins (températures par exemple).

C'est pour ces raisons que, dans l'étude de base, nous avons mis l'accent non pas sur des grandeurs classiques (sommées de précipitations, températures moyennes, par exemple), mais sur la fréquence d'apparition ou de dépassement de seuils qui nous ont semblé importants du point de vue physiologique.

En outre, la variabilité des phénomènes météorologiques et surtout le fait que l'apparition de valeurs extrêmes est très aléatoire nous oblige à prendre en compte les périodes de référence les plus longues possibles. Leurs limites sont déterminées soit par l'absence d'informations comparables (relevés météorologiques), soit par des considérations liées au problème posé, soit, dans bien des cas, le nôtre par exemple, par les deux (voir pour cela Primault et Fankhauser, 1988, chap. 4.2.).

7.2. cas d'espèce.

Lorsque l'on considère l'évolution du temps au cours des trois années de mesures intensives et cela sur la base des critères retenus dans l'étude de base, on est surpris de constater que très peu de ces critères sont situés au-delà de la limite que nous avons fixée soit 90% des cas observés.

Dans cette optique, seuls trois faits saillent vraiment: le début tardif de la période de végétation de 1986 à Zürich et à Einsiedeln et la brièveté de la période de végétation qui en découle à Zürich; le nombre inusité de chutes de température de plus de 10° à Einsiedeln au cours du repos hivernal de 1986/1987 et, enfin, une période avec précipitations de 54 jours à Davos durant l'accumulation de réserves et l'aoulement de 1987.

L'étude des causes du premier et du troisième de ces phénomènes nous entraînerait dans des considérations de circulation à l'échelle

hémisphérique, ce qui dépasserait largement le cadre de la présente publication. Aussi ne les aborderons-nous pas ici.

Dans la présentation du deuxième phénomène cité, nous nous contenterons d'analyser les causes vraisemblables de fortes variations de température aux altitudes moyennes des Préalpes.

[Note: Les considérants qui suivent sont basées sur les situations météorologiques au sol et à environ 5500m d'altitude (500 hPa) telles qu'elles découlent des cartes établies pour 00h TUC publiées dans le "Bulletin météorologique de l'Institut Suisse de Météorologie". Quant à la stratification de l'air en altitude, elle a été déduite des radio-sondages de Payerne de 00h, resp. 12h TUC publiés dans le dit bulletin]

7.2.1. Période du 22 au 27 décembre 1986.

Du 22 au 27 décembre 1986, toute l'Europe Centrale est sous l'influence d'un fort courant en altitude soufflant d'abord du nord-ouest, mais tournant peu à peu au nord-est, pour revenir brusquement au nord-ouest dès le 26. Ce courant est commandé d'une part par un anticyclone centré au voisinage des Açores et d'autre part par une dépression qui se déplace des Pays Baltes vers le nord de la Grèce par la Pologne et la Hongrie.

Au sol, un anticyclone se déplace durant ce laps de temps le long du 17ème méridien ouest du large de l'Ecosse au large du Portugal.

L'air qui envahit l'Europe Centrale est de plus en plus froid. Il est tout d'abord très humide, voire saturé jusqu'à très haute altitude. Dès le 23 à 00h TUC, cette humidité diminue peu à peu sous l'influence d'une petite protubérance de l'anticyclone au sol, protubérance qui atteint son maximum le 25.

Durant tout le processus préliminaire, le ciel est couvert ou très nuageux à Einsiedeln. Il se dégage brusquement dans la nuit du 24 au 25. La baisse de température de plus de 10° entre le 24 et le 25 est donc en majeure partie due à cette embellie et le refroidissement nocturne qui en est résulté par rayonnement. Rappelons ici que la station climatologique d'Einsiedeln se trouve dans la plaine, donc dans le lac d'air froid qui s'y forme par nuits claires et en l'absence de vent.

Dès l'après-midi du 25, le ciel se couvre à nouveau par suite d'une invasion d'air chaud et surtout très humide, d'abord en altitude, puis au sol également. Cet air chaud est lié à une perturbation qui traverse notre pays entre le 26 et le 27, provoquant une hausse de température de 15° à Einsiedeln (relevés de 07h 30 HEC).

7.2.2. Période du 18 au 23 mars 1987.

Nous retrouvons durant tout ce laps de temps un anticyclone en altitude centré sur les Açores. Une dépression en altitude se déplace, elle, de la Norvège en direction du Spitzberg, tout en se comblant rapidement. Les 22 et 23, elle est remplacée par une nouvelle dépression située au sud de l'Islande. De ce fait, les vents en altitude sont assez violents chez nous, mais de direction très fluctuante entre le sud-ouest et le nord-est en passant par le nord-ouest.

Au sol, on a une situation perturbée d'ouest qui entraîne alternativement de l'air doux et froid, mais tous deux d'origine maritime, donc relativement humides.

Cette situation est interrompue le 21 par la formation toute momentanée d'un petit anticyclone sur l'Europe Centrale.

Le ciel, très nuageux ou couvert jusqu'alors, se découvre brusquement à Einsiedeln dans la nuit du 20 au 21. Le fort rayonnement nocturne qui en résulte fait tomber le thermomètre à -14°C le 21 à 07h 30 HEC. Comme le ciel reste dégagé durant toute la journée du 21 (équinoxe), la forte insolation permet une température de $+1^{\circ}\text{C}$ à 13h 30 HEC déjà, soit une hausse de 15° par rapport au matin. Comme le ciel se couvre de nouveau durant la nuit et qu'il se met à neiger, on note -1°C le 22 à 07h 30 HEC d'où une hausse de 13° par rapport à la veille à la même heure.

7.2.3. Constatations d'ordre général.

L'étude des trois autres cas de cette même période de repos hivernal où la température s'est abaissée de plus de 10° en 24 heures (10 au 11 janvier, 29 au 30 janvier et 5 au 6 mars 1987) montre que, là aussi, ce phénomène est dû à une accalmie de vent et à une subite éclaircie nocturne. Le phénomène constaté se rapporte donc à la formation d'un lac d'air froid dû au rayonnement nocturne dans la région d'Einsiedeln, donc de notre station de référence. On ne retrouvera donc pas nécessairement des conditions similaires au site de Alptal.

Les conditions orographiques sont en effet très différentes entre Einsiedeln d'une part, Alptal de l'autre. Il est donc fort probable que nous ne retrouverons pas les mêmes chutes de température aux mêmes moments dans le suivi météorologique du site de mesures intensives.

Pour la forêt, cela signifie que, au-dessus des lacs d'air froid, les conditions de vie sont beaucoup moins rudes que dans les bas-fonds. Comme la végétation s'adapte au cours des siècles (sélection naturelle) à

ces conditions particulières, les arbres du coteau sont moins résistants que ceux du fond des vallées.

Dans son rapport, Turner (1987) avait déjà souligné le fait que les forêts les plus affectées par le gel durant l'hiver 1986/1987 étaient situées à mi-hauteur, donc largement au-dessus de la zone des lacs d'air froid, zone où de brusques sautes de température se manifestent fréquemment par suite du rayonnement nocturne.

Notons que les dégâts constatés par Turner faisaient suite à une période calme du point de vue météorologique (hautes pressions sur l'Europe Centrale), suivie d'un courant du sud (foehn) dans les Alpes. De ce fait, un stratus s'était formé sur le Moyen Pays. Sous la poussée catabatique fluctuante du foehn, la limite supérieure de ce stratus s'abaissait pour se relever ensuite et cela notablement et surtout rapidement tout le long du flanc nord des Préalpes. Certains peuplements forestiers étaient de ce fait alternativement baignés par de l'air froid et humide et de l'air chaud et sec, d'où les dégâts constatés.

Ce qui précède montre en outre que des constatations tirées de mesures ponctuelles ne peuvent être sans autre généralisées à toute une région. Il faut chaque fois considérer les conditions orographiques et météorologiques dans lesquelles ces constatations ont été faites. Si elles diffèrent fortement de celles de l'endroit qui nous intéresse, des mesures complémentaires ou des extrapolations compliquées sont indispensables.

Ainsi, le fait que la période de repos hivernal 1986/1987 ait présenté à Einsiedeln un nombre inusité de chutes brusques de la température n'est pas sans autre relevant pour Alptal. Toutefois, il se pourrait qu'on retrouve en d'autres circonstances des conditions analogues à celles décrites par Turner dans le suivi météorologique de cette seconde station.

8. Conclusions.

Dans les études spécifiques, il faudra tenir compte de toutes les variations signalées au cours du présent travail.

Pourtant, à nos yeux, seuls le début tardif du débournement et la courte période de végétation qui s'en est suivie en 1986 ont eu des conséquences telles qu'elles doivent nécessairement influencer sur l'évaluation des résultats finaux.

Tous les autres facteurs relevés n'ont que peu de signification dans l'optique des recherches entreprises.

9. Bibliographie.

- Nigond J. Quelques aspects de la dormance des bourgeons de la vigne sous le climat du Languedoc. Bulletin de la Société Botanique de France. 1966; 114: 85-99.
- Nigond J. Recherches sur la dormance des bourgeons de la vigne. Thèse de Doctorat, Université de Paris. INRA. 1968: 170.
- Nigond J., Durand R. et Tabard P. Quelques aspects de l'action du microclimat sur la vigne et les arbres fruitiers. Phytoma. 1968; 194: 1-30.
- Primault B. Contribution à l'étude de l'influence des éléments météorologiques sur l'accroissement des forêts. Geofisica pura e applicata. 1953; 24: 149-206.
- Primault B. Dates limites pour les semailles de blé d'hiver. Annalen der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt, Jahrgang 1957. 1958: 5/5-5/7.
- Primault B. Unifions nos méthodes de mesure! 16th International Horticultural Congress, 1962. J. Duculot S.A., Editeurs. Genbloux (Belgique). 1964: 151-155.
- Primault B. Einfluss der Winterkälte auf das Blühen der Obstbäume. Arbeitsberichte der MZA. 1971; 26: 6 + 2 Abb.
- Primault B. Etude mésoclimatique du Canton de Vaud en vue de son aménagement régional. Cahier de l'Aménagement, Office cantonal vaudois de l'urbanisme, Lausanne. 1972; 14: 186 + 35 planches hors texte.
- Primault B. De la représentation des limites des séries climatologiques. Rapports de travail de l'ISM. 1978; 78: 7 + 2 tab. + 5 fig.
- Primault B. et Fankhauser A. Les trois années de mesures intensives effectuées dans le cadre du programme national de recherche "Dépérissement des forêts et pollution de l'air en Suisse" (PNR 14+) sont-elles climatologiquement représentatives? Si non, pourquoi? Rapports de travail de l'ISM. 1988; 151: 60 + 1 annexe.

Réaumur R.A. Ferchault de. Observations du thermomètre faites à Paris pendant l'année 1735, comparées à celles qui ont été faites sous la ligne, à l'Isle de France, à Alger et en quelques-unes de nos Isles d'Amérique. Mémoires de l'Académie Royale des Sciences. Paris. 1735: 545-576.

Schüepp W. Frostverteilung und Kartoffelanbau in den Alpen auf Grund von Untersuchungen in der Landschaft Davos. Schweizerische Landwirtschaftliche Monatshefte. 1948; 26 (2): 37-59.

Turner H. Untersuchungen über Waldschäden in der Schweiz im Frühjahr 1987. Zwischenbericht EAFV. 1987: 11.

Adresse de l'auteur:

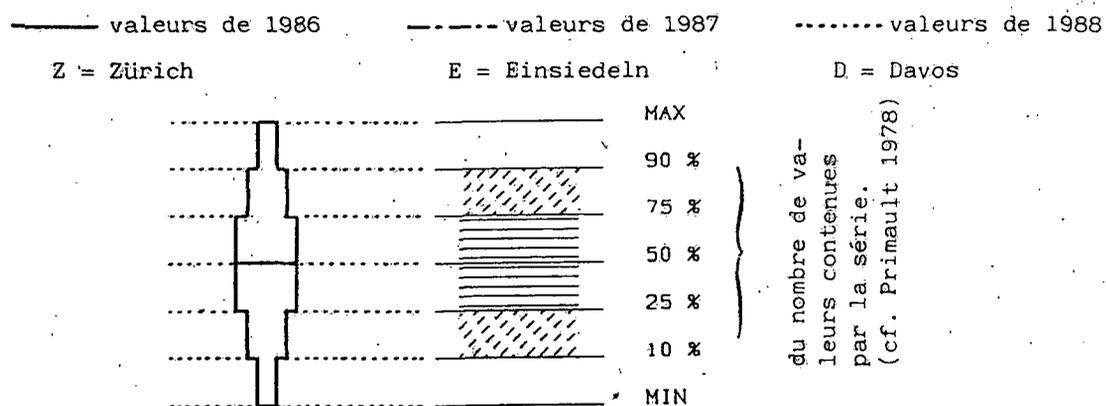
Bernard PRIMAULT, Ing.for.dipl.EPFZ, Dr.sc.tech.
Witikonerstrasse 440
CH - 8053 Zürich (Suisse)

Légendes des tableaux et figures.

Tableaux 1 et 2.

N	Rien de particulier à signaler (appréciation)
-	Début tardif, fin précoce, courte durée, critère peu significatif
+	Début précoce, fin tardive, longue durée, critère significatif
E+ E-	Valeurs extrêmes (au-delà de celles de la période de référence)
++ --	Très ... (entre 90 et 100 %, resp. 0 et 10%)
+ -	Passablement ... (entre 75 et 90 %, resp. 10 et 25 %)
N+ N-	Normalement ... (entre 50 et 75 %, resp. 25 et 50 %)

Figures de 1 à 4 et de 6 à 18.



Notes:

Aux figures 6, 7, 9, 10, 13, 14, 17 et 18, on indique par "N" le nombre de périodes de sec, resp. avec précipitations ayant servi de base au calcul de la répartition fréquentielle (période de référence: 1931-1970)

Dans certains cas (périodes de sec et périodes avec précipitations en particulier), on a une accumulation de valeurs au minimum de l'échelle. Par conséquent, les barres de 0 à 10 %, de 10 à 25 %, voire de 25 à 75 % peuvent ne pas apparaître sur le dessin.

Tableaux.

	1986			1987			1988		
	DA	EI	ZU	DA	EI	ZU	DA	EI	ZU
<u>Température</u>									
Janvier	N+	N+	+	N-	--	-	E+	++	++
Février	--	--	--	+	N-	N+	N+	N-	N+
Mars	N+	N-	N-	E-	E-	--	-	-	N-
Avril	-	-	-	N-	N+	+	N+	N+	N+
Mai	+	N+	+	--	--	--	N+	N+	+
Juin	-	N-	N+	--	-	-	-	-	N-
Juillet	-	N-	N+	N-	N+	N+	N+	N-	N+
Août	N+	N+	N+	N-	N-	N+	N+	N+	+
Septembre	N+	N-	N+	++	++	++	N-	N-	N+
Octobre	+	+	++	E+	++	+	E+	+	++
Novembre	+	N+	+	N+	N+	+	N-	-	N-
Décembre	N+	N+	+	++	+	+	+	N+	+
<u>Précipitations.</u>									
Janvier	++	++	++	N-	N+	N-	N-	N+	N-
Février	-	-	N-	N+	+	+	N+	+	N+
Mars	N-	+	N+	+	+	N+	++	E+	E+
Avril	N+	+	++	N-	N+	N-	-	N+	N-
Mai	N-	+	+	+	++	+	+	N-	N+
Juin	N-	N+	-	++	E+	++	N-	-	N+
Juillet	N-	N+	N-	E+	++	N-	-	N+	N+
Août	N-	+	N+	N-	N-	N-	N+	N+	++
Septembre	--	--	--	N+	N-	+	N-	-	N-
Octobre	N-	N+	N+	-	-	-	N-	+	N+
Novembre	-	N+	-	N-	N+	N+	-	N+	N-
Décembre	+	N+	N+	N-	N-	N-	+	++	+

Tableau 1. Récapitulation selon les mois civils.
Période de référence 1901 - 1960
DA = Davos, EI = Einsiedeln, ZU = Zürich

Saison	Critère	1985/1986			1986/1987			1987/1988		
		ZH	EI	DA	ZH	EI	DA	ZH	EI	DA
<u>Repos hivernal</u>	A	N	++	+	++	++	N	N	N	N
	Nb. $^{\circ}\text{C}$	83	122	167	101	104	181	40	79	141
	B	N	+	N	N	E+	N	N	-	-
	B ₁	-	N	-	N	E+	-	-	N	--
	D	N	N	N	N	+	+	N	N	N
	H	++	++	N	N	++	-	++	+	N
<u>Période de végétation</u>	Début	--	--	N-	-	-	-	-	N-	N+
	Durée	E-	--	N+	N+	N-	-	-	N-	+
	Fin	N-	N-	+	+	N+	N-	N-	N+	++
<u>Renouveau</u>	C	++	E+	+	N	E+	E+	N	N	N
	E	N	N	N	N	N	N	N	N	N
	I	N	N	N	++	+	N	N	N	N
	I ₁	N	++	N	N	+	N	N	N	N
	L	N	+	N	N	+	N	-	-	-
<u>Accumulation de réserves</u>	F	N	N	N	N	N	N	N	N	N
	J	N	N	N	N	E+	E+	N	E+	N
	J ₁	N	E+	N	+	++	N	N	N	N
	M	N	N	N	N	N	N	N	N	N
<u>Aoûtement</u>	G	++	++	+	+	N	N	N	N	++
	K	N	N	N	N	N	N	N	N	N

Tableau 2. Récapitulation selon les périodes de végétation, les "saisons" qui en découlent et les différents critères établis.

Période de référence 1931 - 1970.

ZH = Zürich, EI = Einsiedeln, DA = Davos

Figures.

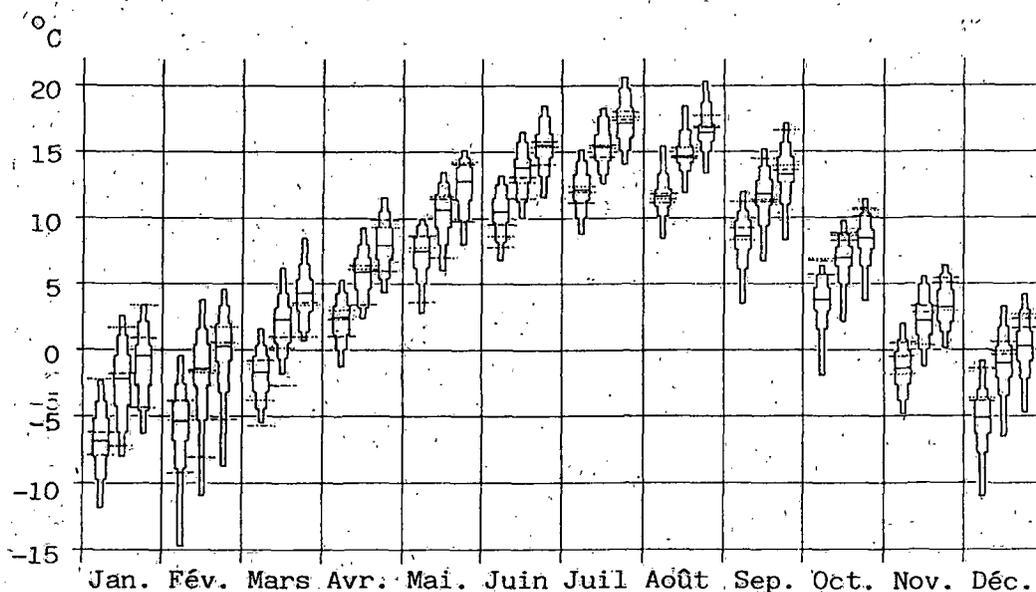


Figure 1. Répartition fréquentielle des températures mensuelles moyennes (de gauche à droite et pour chaque mois: Davos, Einsiedeln, Zürich). Période de référence 1901 - 1960

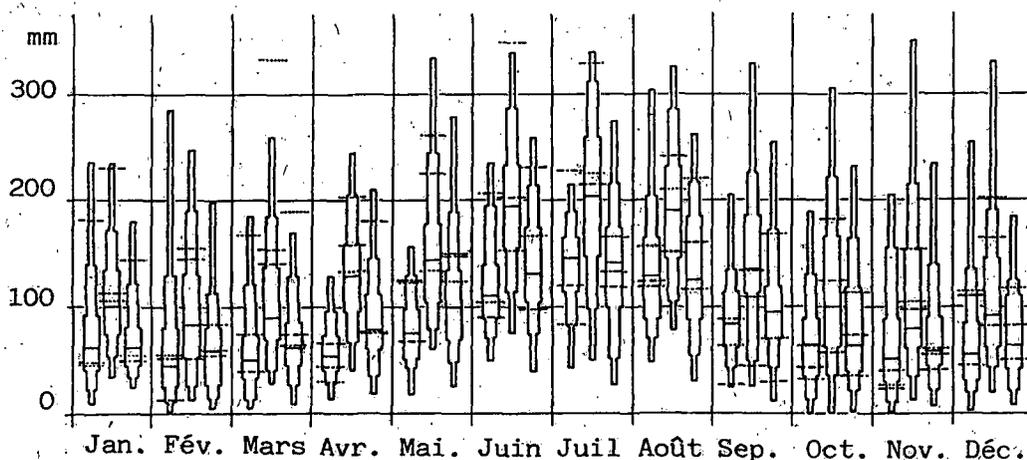


Figure 2. Répartition fréquentielle des sommes mensuelles de précipitations (de gauche à droite et pour chaque mois: Davos, Einsiedeln, Zürich). Période de référence 1901 - 1960

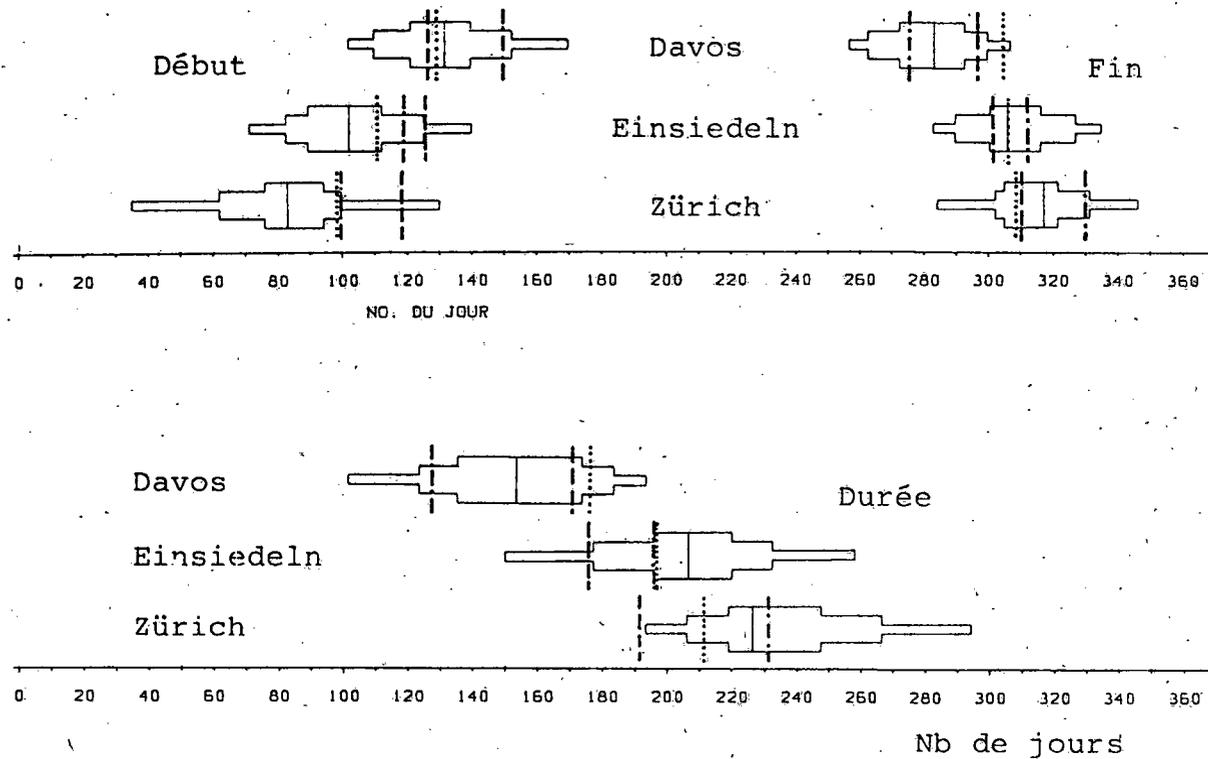


Figure 3. Comparaison du début, de la fin et de la durée des périodes de végétation.
Période de référence 1931 - 1970.

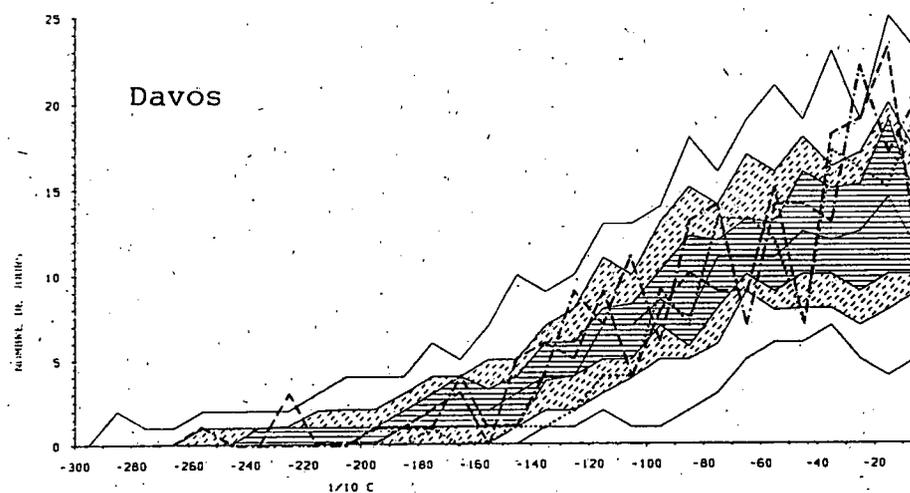
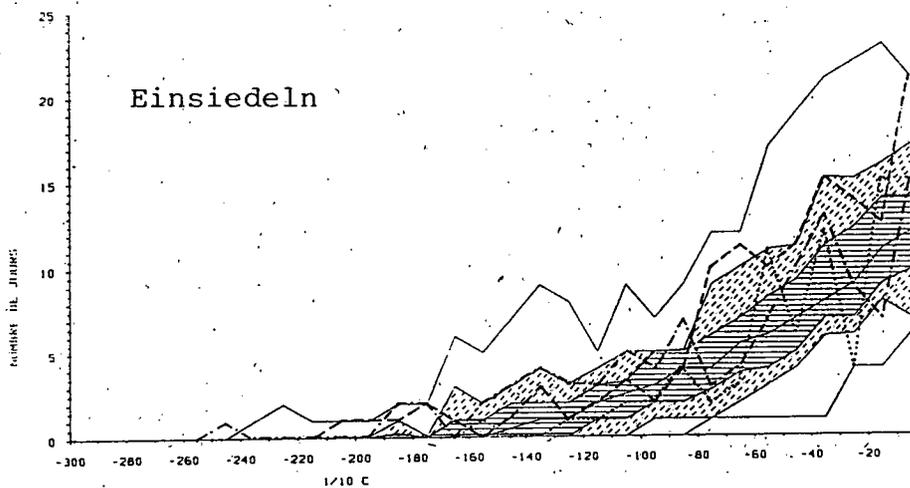
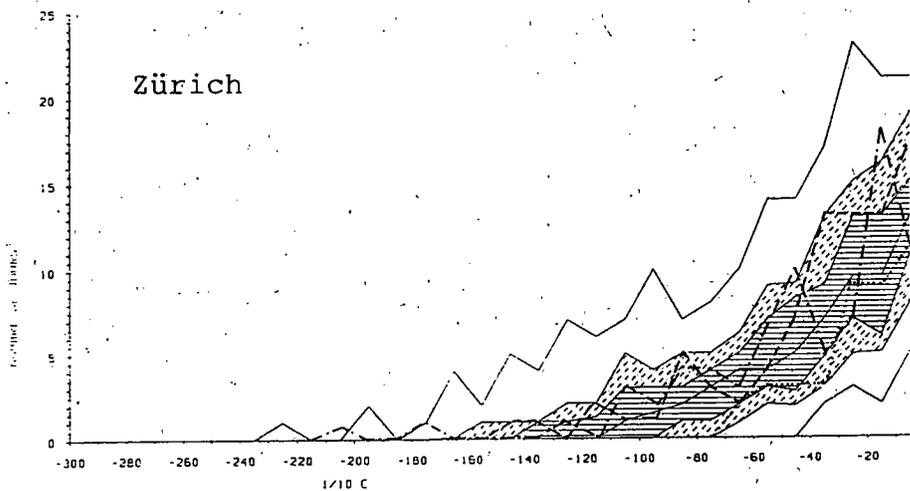


Figure 4. Répartition fréquentielle des températures du matin durant le repos hivernal (températures négatives seulement). Période de référence 1931 - 1970. Critère A

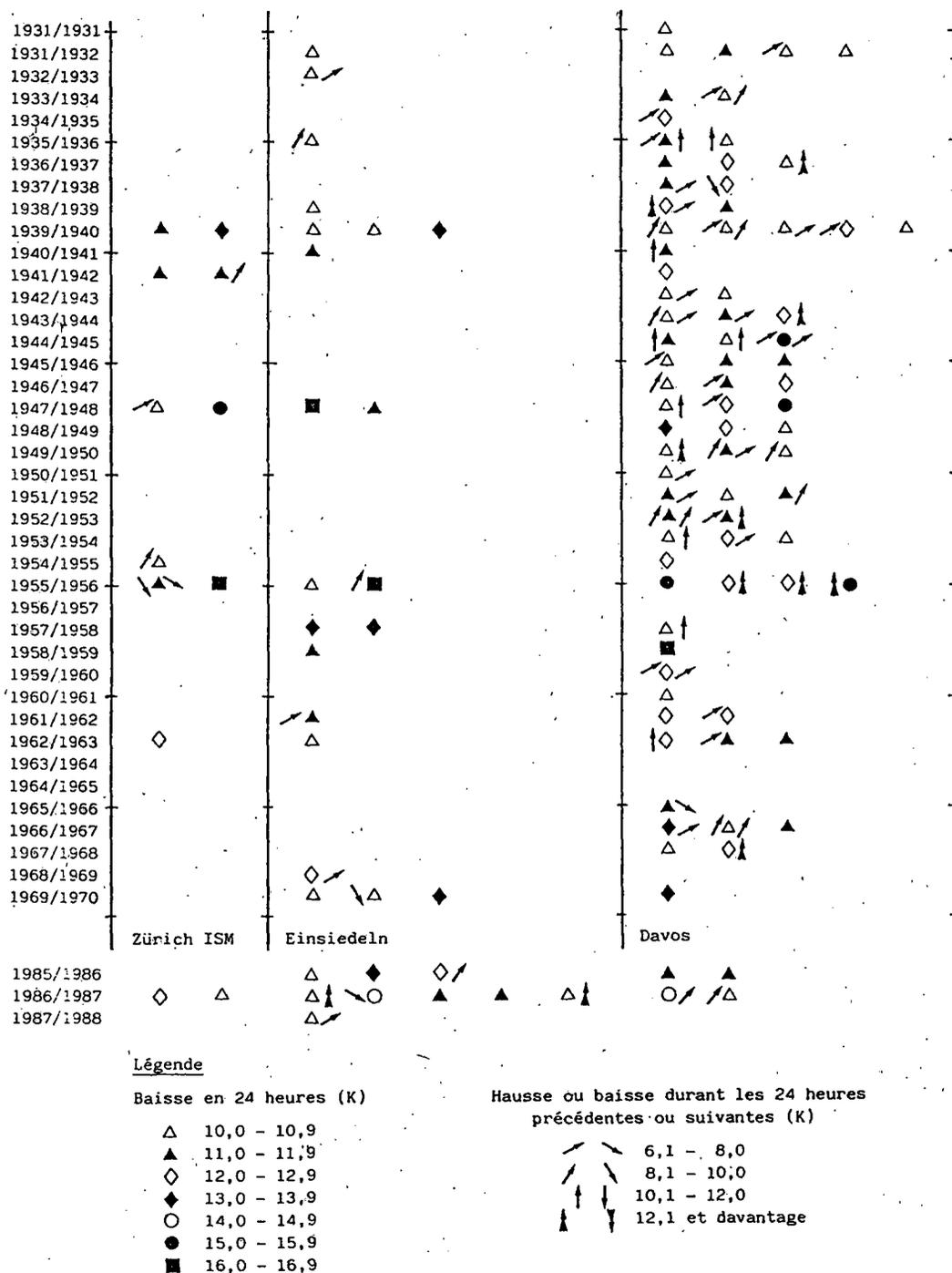


Figure 5. Nombre et intensité de fortes baisses de température (10,0K et davantage) durant le repos hivernal.
Critères B et B₁

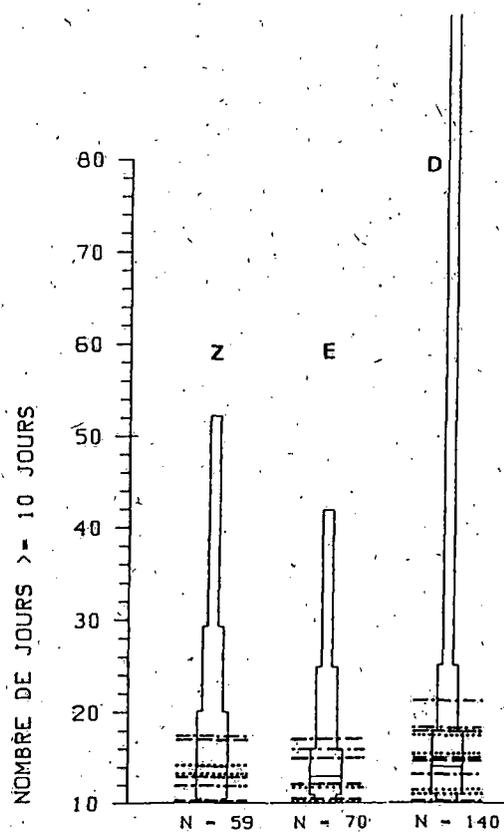


Figure 6. Durée (10 jours et davantage) des périodes de sec durant le repos hivernal
 Période de référence 1931 - 1970
 Critère D

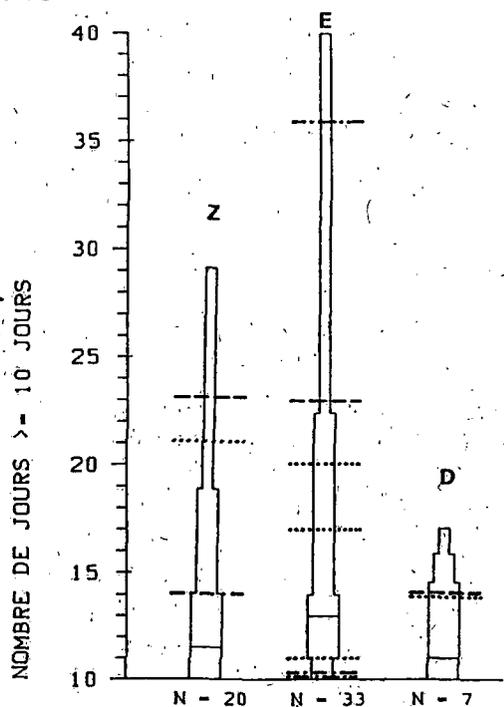


Figure 7. Durée (10 jours et davantage) des périodes avec précipitations durant le repos hivernal.
 Période de référence 1931 - 1970
 Critère H

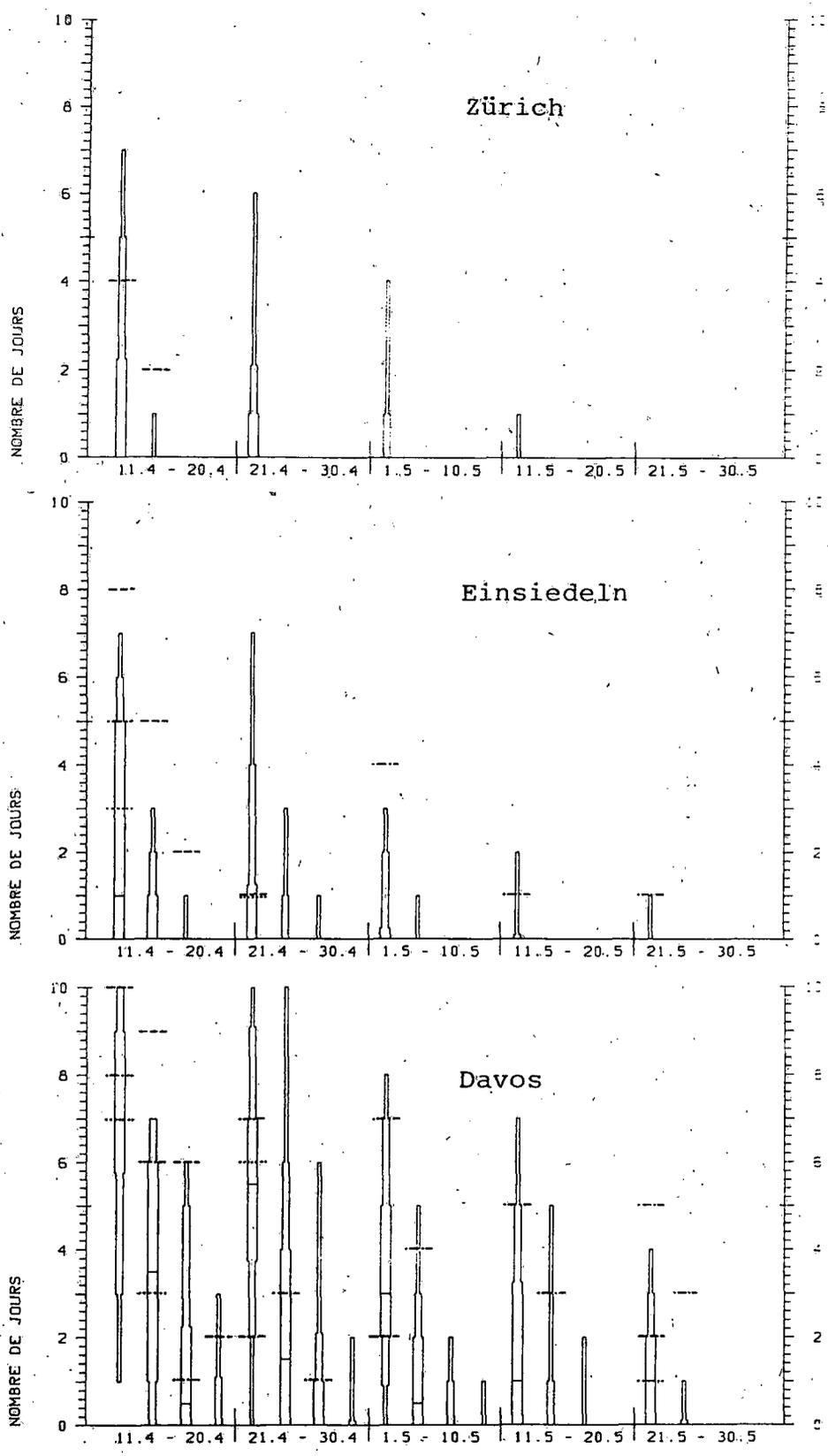


Figure 8. Nombre de fois où la température du matin (07h 30) a été inférieure à quatre seuils de gel: de gauche à droite 0°, -3°, -6° et -10° C. Période de référence 1931 - 1970. Critère C

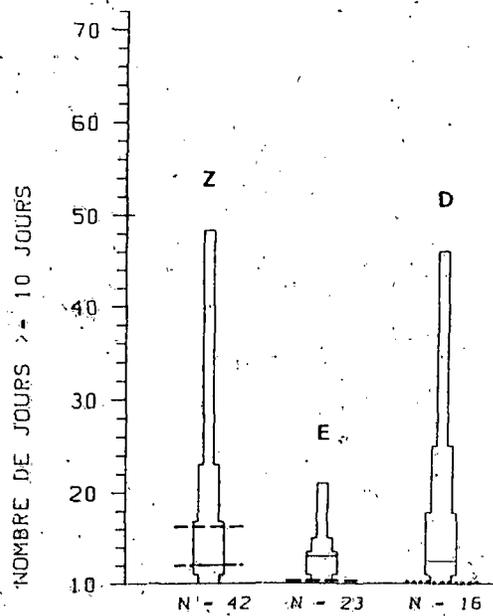


Figure 9. Durée (10 jours ou davantage) des périodes de sec durant le renouveau.
Période de référence 1931 - 1970
Critère E

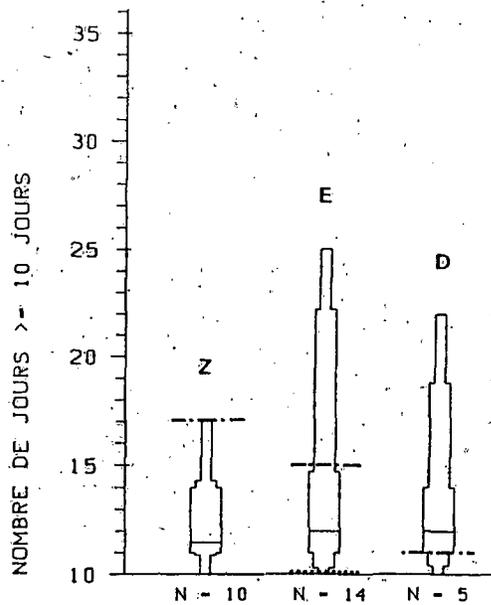


Figure 10. Durée (10 jours ou davantage) des périodes avec précipitations durant le renouveau.
Période de référence 1931 - 1970
Critère I

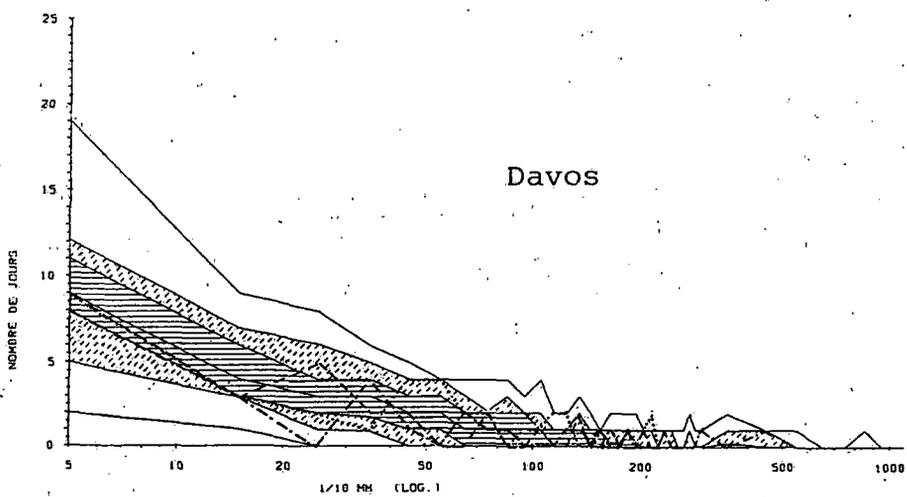
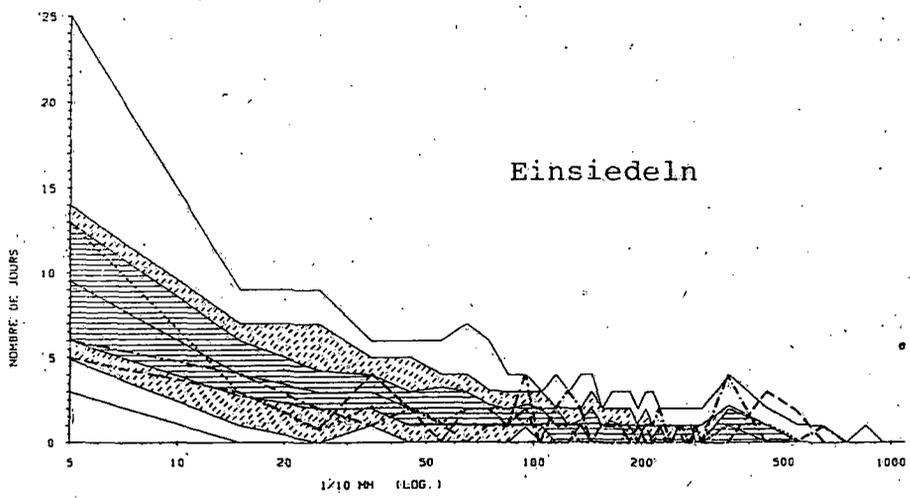
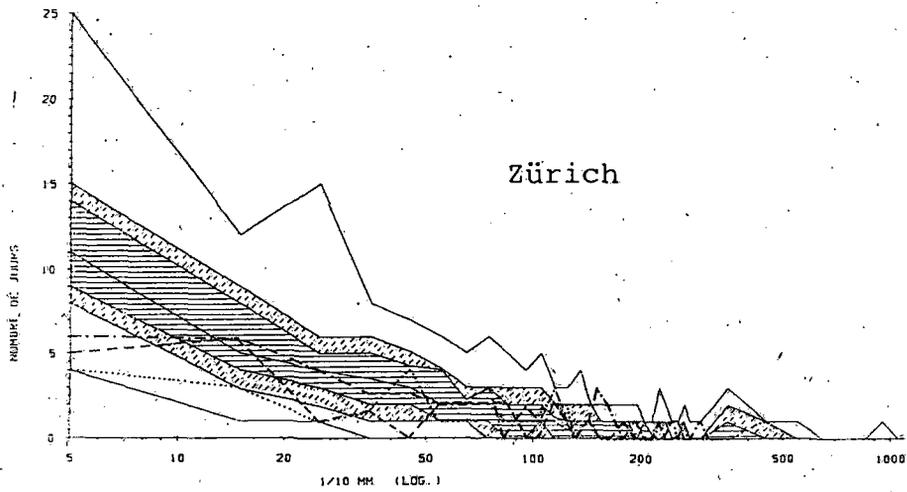


Figure 11. Répartition fréquentielle des précipitations journalières durant le renouveau. Période de référence 1931 - 1970. Critère I_1

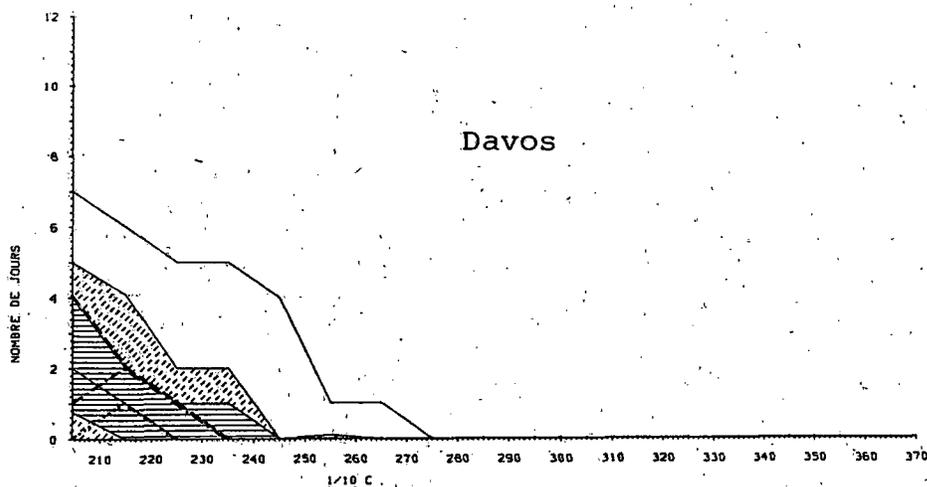
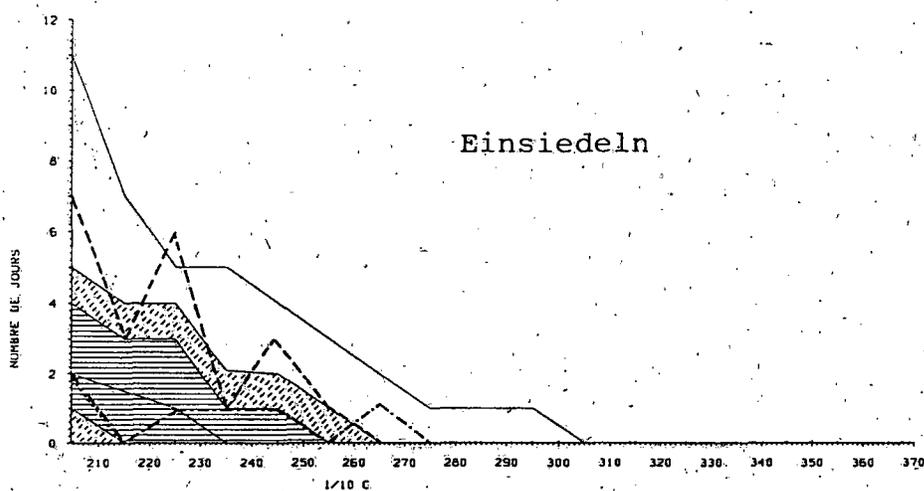
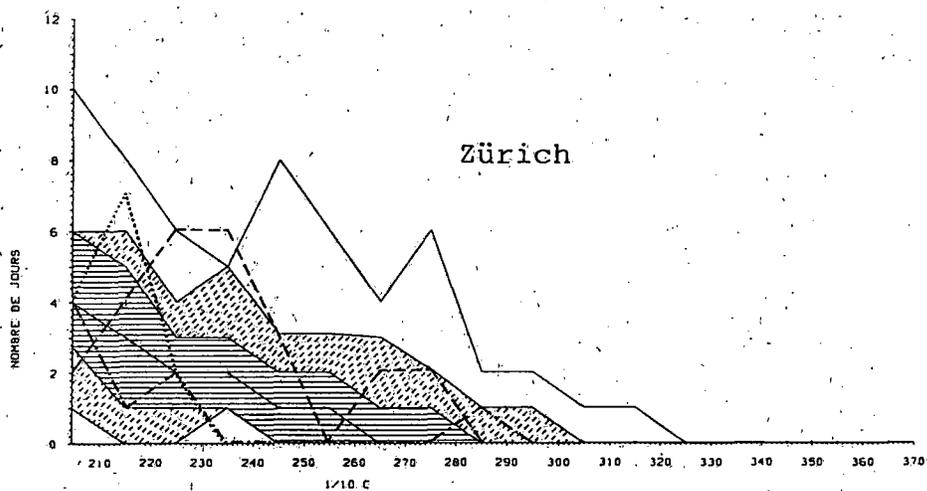


Figure 12. Répartition fréquentielle des jours de forte chaleur durant le renouveau.
Période de référence 1931 - 1970
Critère L

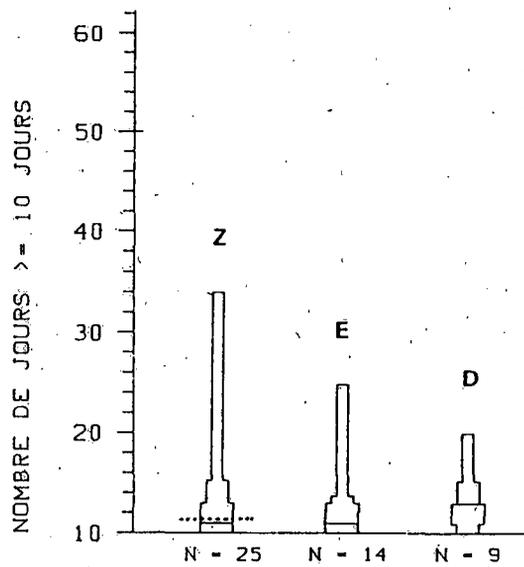


Figure 13. Durée (10 jours et davantage) des périodes de sec durant l'accumulation de réserves. Période de référence 1931 - 1970 Critère F

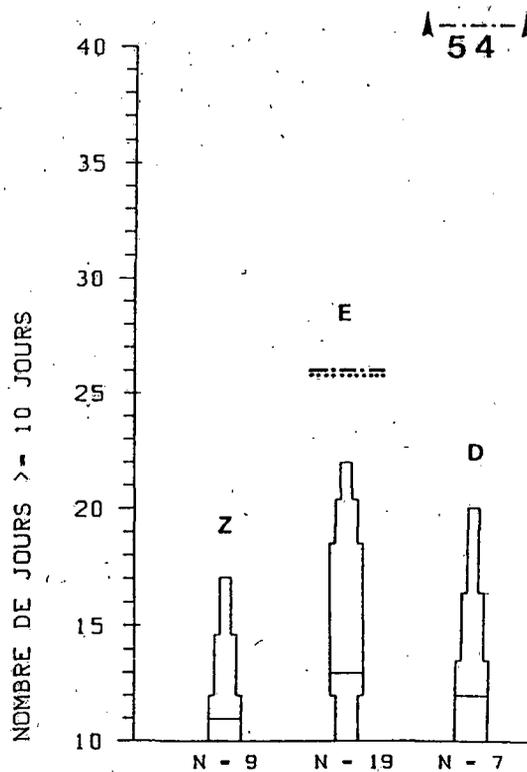


Figure 14. Durée (10 jours et davantage) des périodes avec précipitations durant l'accumulation de réserves. Période de référence 1931 - 1970 Critère J

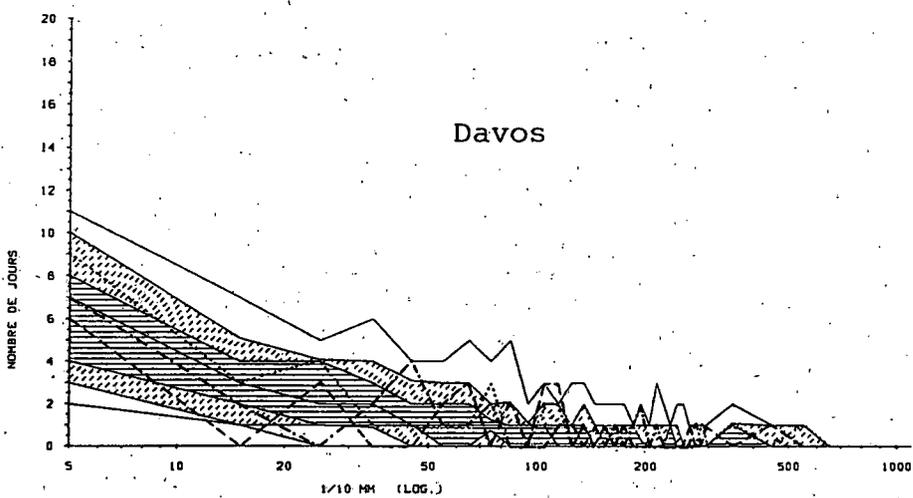
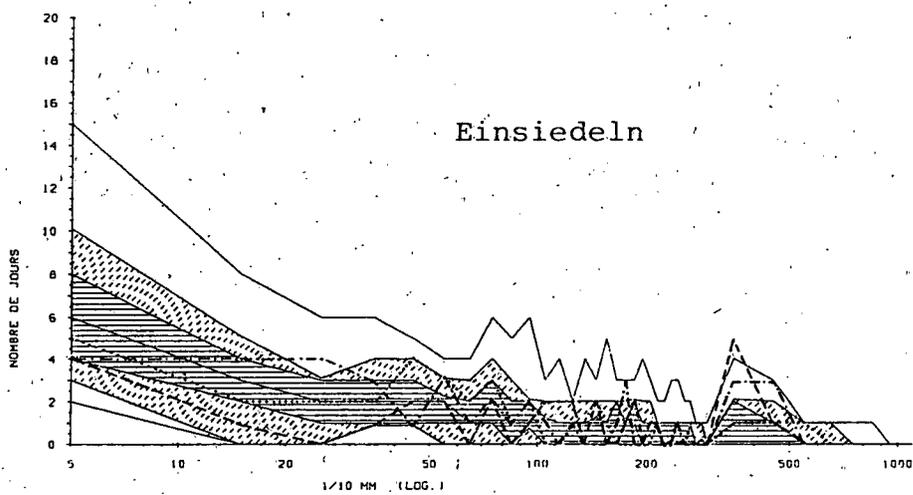
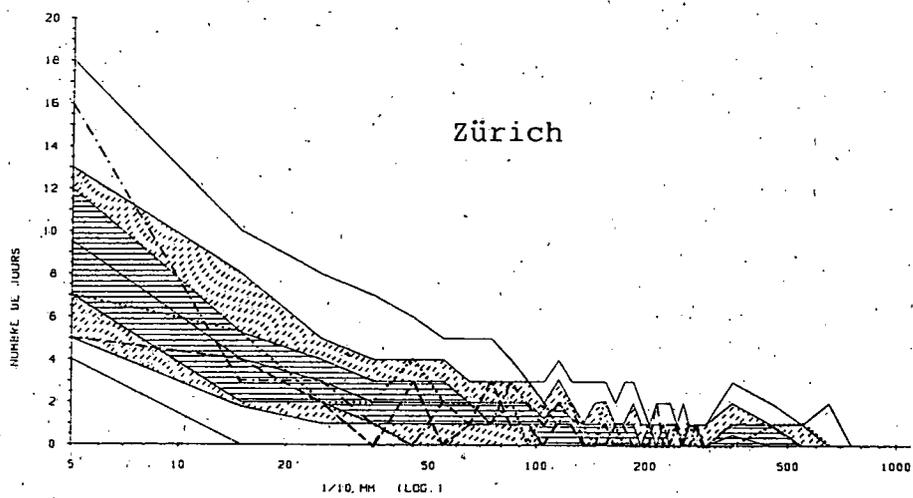


Figure 15. Répartition fréquentielle des précipitations journalières durant l'accumulation de réserves.

Période de référence 1931 - 1970

Critère J_1

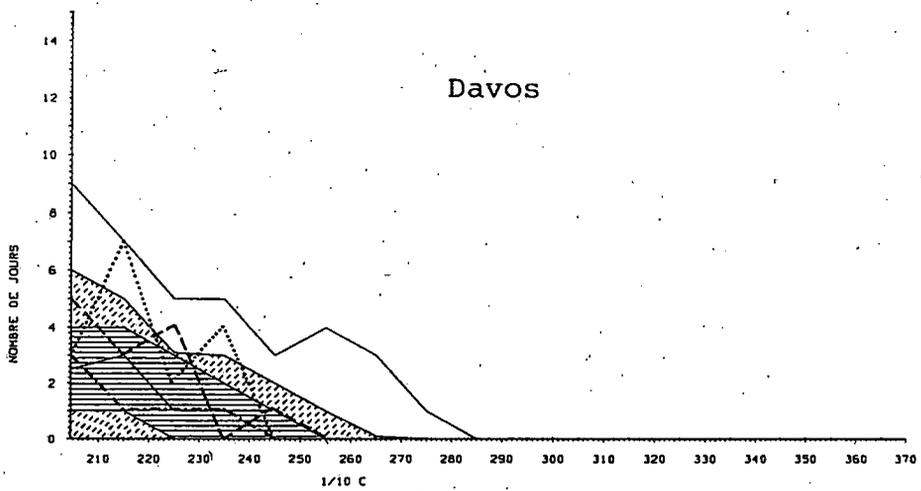
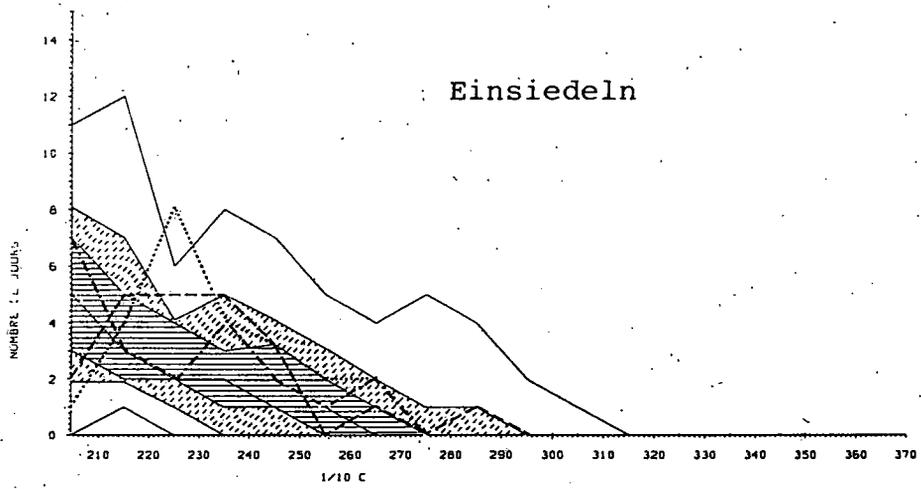
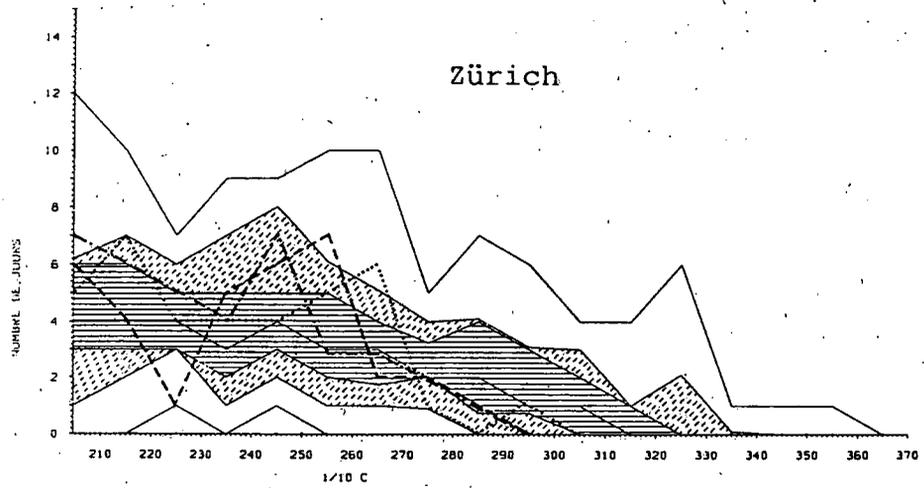


Figure 16. Répartition fréquentielle des jours de forte chaleur durant l'accumulation de réserves. Période de référence 1931 - 1970 Critère M

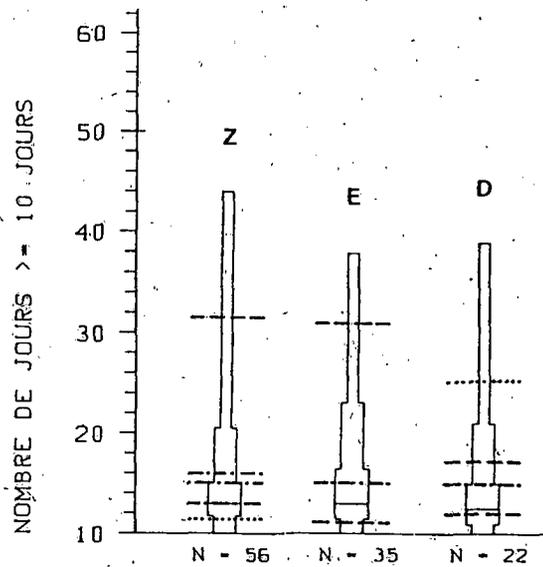


Figure 17. Durée (10 jours et davantage) des périodes de sec durant l'aoûtement.
 Période de référence 1931 - 1970
 Critère G

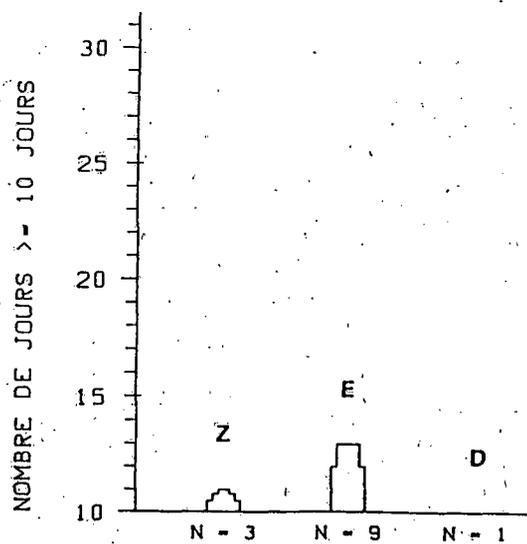


Figure 18. Durée (10 jours et davantage) des périodes avec précipitations durant l'aoûtement.
 Période de référence 1931 - 1970
 Critère K

