

Zeitschrift: Beiheft zum Jahrbuch der Geographischen Gesellschaft von Bern
Herausgeber: Geographische Gesellschaft Bern
Band: 4 (1977)

Artikel: Kartierung der Klimaeignung für die Landwirtschaft in der Schweiz =
Levé cartographique des aptitudes climatiques pour l'agriculture en
Suisse

Autor: Jeanneret, François / Vautier, Philippe

Kapitel: 2: Klima und landwirtschaftliche Erträge = Climat et rendements des
cultures

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-960238>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 23.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

2. CLIMAT ET RENDEMENTS DES CULTURES

2.1. ENQUETE AUPRES DES ECOLES CANTONALES D'AGRICULTURE

2.1.1 Conception de l'enquête

Pour un voyageur attentif, notre pays offre une richesse de paysages exceptionnelle. Dans les régions essentiellement agricoles, le paysage change en fonction des cultures pratiquées. En consultant les cartes qui montrent la répartition géographique des espèces cultivées en Suisse (KOBLET und BRUGGER 1965, KOBLET und ROTH-KIM 1965), on est frappé de voir de si grandes différences d'une région à l'autre. A altitude équivalente, les cultures pratiquées au Tessin sont par exemple tout-à-fait différentes de celles pratiquées dans les cantons de Glaris, de Genève ou du Valais. Il y a bien certaines cultures que l'on retrouve un peu partout, mais les modes d'entretien, l'utilisation et les techniques culturales diffèrent souvent fondamentalement, ainsi que les espèces et variétés retenues. Le praticien avisé pour lequel le résultat économique des cultures qu'il pratique compte par dessus tout a en effet su choisir par expérience depuis des générations le mode de culture qui convenait le mieux aux conditions locales.

Dans son livre consacré à l'étude de la production végétale dans les conditions particulières à la Suisse, KOBLET (1965) a analysé la répartition de diverses cultures sur notre territoire national en fonction des facteurs de production fondamentaux. Cette analyse met entr'autres en évidence l'importance du climat régional sur la répartition des cultures et le mode d'utilisation du sol. Mais les conditions climatiques ne sont pas seules déterminantes pour le choix du praticien. La longue liste des facteurs pouvant influencer le choix des cultures pratiquées et leur ré-ussite est bien connue. On peut en donner le résumé suivant:

1) Particularités climatiques	}	Facteurs naturels de production
2) Propriétés des sols		
3) Relief des surfaces		
4) Facultés d'adaptation des plantes cultivées		
5) Influences ou contraintes d'ordre socio-économiques. Tradition. Primes de culture.	}	Facteurs complémentaires
6) Equipement et soins aux cultures		
7) Formation et goûts de l'exploitant		
8) Les multiples possibilités d'interactions entre ces facteurs.		

Une évaluation du potentiel de production effectif devrait tenir compte de tous ces facteurs dans la mesure où ils varient d'une région à l'autre du pays et même d'un domaine à l'autre. Un travail aussi complexe et précis ne pourrait se faire qu'à très petite échelle, région par région et même domaine par domaine. De telles études, nécessairement très fouillées et portant sur le potentiel naturel ou socio-économique de production ont déjà été menées à bien localement dans notre pays (DIETL et JAEGLI 1972, SERVICE ROMAND DE VULGARISATION AGRICOLE 1971, 1972, 1974, SCHWEIZERISCHE VEREINIGUNG FUER FOERDERUNG DER BETRIEBSBERATUNG IN DER LANDWIRTSCHAFT 1971, HAEBERLI 1971b, SCHREIBER 1968b etc.).

Dans le cadre de la présente étude, il s'agissait par contre de se préoccuper uniquement des facteurs climatiques en relation avec les possibilités d'adaptation des plantes cultivées (facteurs 1 et 4 chez KOBLET 1965).

Dans une phase préliminaire il était nécessaire d'obtenir des chiffres et des commentaires illustrant les possibilités de production dans différentes régions caractéristiques de Suisse. Plusieurs manières de procéder ont été envisagées pour obte-

nir ces chiffres de base. Après mûres réflexions, il a été décidé d'effectuer une enquête auprès des 37 écoles cantonales d'agriculture de notre pays durant l'été 1973.

Les raisons suivantes ont poussé à ce choix:

- a) Bonne répartition géographique dans le pays pour les altitudes allant jusqu'à 800 m., chaque école étant représentative pour des conditions assez particulières.
- b) Possibilités de s'entretenir avec des personnes expérimentées et informées.
- c) Accès possible à des données de production pour certaines cultures sur plusieurs années, la plupart des écoles ayant la responsabilité d'un domaine.
- d) Les rendements ont été obtenus dans chaque école grâce à un niveau de connaissances techniques comparables le plus souvent.

Cette enquête avait pour objet essentiel de rassembler le plus d'informations possibles concernant les cultures pratiquées localement, les motifs de leur choix et par dessus tout de prendre note des rendements obtenus durant les 13 dernières années (1960-1972). Pour chaque culture importante, les responsables ont résumé les avantages principaux et les inconvénients majeurs rencontrés dans la région et sur le domaine. Ces questionnaires ne se sont pas restreints aux seules influences du climat, mais ils se rapportaient à tout ce qui peut influencer les résultats des cultures. Lorsque cela était possible, des commentaires relatifs à chaque année agricole (rapports d'activités, souvenirs marquants etc...), ont été ajoutés.

2.1.2 Utilisation des résultats

Malgré les lacunes inévitables dans le cadre de tels questionnaires, les séries de chiffres obtenus et les commentaires s'y rapportant ont fourni une bonne base de travail. Nous avons ensuite tenté d'établir des corrélations entre les chiffres de rendements obtenus et les conditions météorologiques propres à chaque école (si des données étaient disponibles) ou à la station du réseau d'observations météorologiques la plus proche. Les meilleurs résultats ont été obtenus en mettant en parallèle les conditions atmosphériques de chaque année avec les chiffres de rendements obtenus pour chaque exercice. C'est en effet sous cet aspect que se manifestent le mieux les rapports qu'il peut y avoir entre des événements climatiques particuliers et les résultats obtenus pour les cultures. Les conditions atmosphériques pouvant être très différentes d'une année à l'autre dans nos régions, on constate des variations de rendements parfois très sensibles en un même lieu. En établissant systématiquement le parallèle entre les rendements obtenus et les chiffres de la météo, des seuils critiques, relatifs aussi bien aux températures qu'aux précipitations et jours de pluie se sont révélés à certaines périodes. Au-delà de ces seuils critiques, la dépression occasionnée sur le rendement de l'une ou l'autre des cultures était toujours sensible. Ces répercussions sur les rendements et sur la qualité se révélaient d'autant plus fortes lorsque plusieurs seuils étaient dépassés à différentes périodes ou lorsque durant la même période, deux ou trois facteurs dépassaient simultanément des seuils.

C'est de cette manière simple mais réaliste et logique que nous avons pu évaluer l'incidence propre de certains excès ou accidents météorologiques sur trois cultures principales: le blé (et céréales en général), les pommes de terre et les herbages.

Nous avons en revanche renoncé à mettre en corrélation des moyennes de rendements sur plusieurs années avec des données moyennes de facteurs climatiques. On obtient en effet des indications trop peu précises avec ce genre de méthode, et on peut trop aisément en tirer des conclusions erronées sur nos climats, étant donné les variations importantes des conditions atmosphériques d'une année à l'autre qui ne ressortent pas des moyennes portant sur un grand nombre d'années.

Cette manière de procéder année par année nous a aidé à mieux comprendre ce qui distingue effectivement les zones les plus propices des moins bonnes pour l'une ou l'autre des cultures du point de vue climatique. En effet, un élément avait frappé lors des discussions au cours de l'enquête. Lorsqu'on demande si la culture du blé par exemple donne satisfaction sur un domaine, la réponse est très souvent "oui, en année normale". Ce que l'on obtient, par contre presque jamais, c'est une estimation du rapport entre le nombre des années "normales" et les autres. La méthode utilisée permet en revanche d'évaluer ce que peut être une année "normale". On peut ensuite faire le rapport entre le nombre des bonnes années et le nombre des années où les conditions météorologiques s'écartent de manière significative de ces conditions dites "normales". Les bonnes zones se distinguent alors des moins bonnes par un rapport plus favorable pour une culture donnée.

2.2. PERIODES ET SEUILS AGROCLIMATIQUES

2.2.1 Principe

Dès l'époque où l'on commence à préparer le sol pour une plantation ou un semis, les conditions atmosphériques ont une grande importance pour le succès ou l'échec d'une culture. Jusqu'à la récolte, l'évolution de la culture sera sous la menace d'accidents divers dont ceux d'origine climatique sont souvent les plus graves. Durant les phases de développement des cultures, les exigences varient pour chaque facteur météorologique.

Cela peut être illustré par un exemple bien typique. Pour qu'une prairie donne de bons rendements, il faut qu'elle ait continuellement suffisamment d'eau à sa disposition durant toute la période de végétation. Pour la récolte des foin et regains, il est par contre souhaitable de pouvoir compter sur des périodes de quelques jours de beau temps et de sécheresse relative.

Prenons encore un autre exemple. Pour la plantation de pommes de terre et la germination ou la croissance des premiers jours, il faut avoir un sol bien ressuyé, de telle sorte que le réchauffement soit maximum au niveau des plantons. Mais très vite, pour la levée déjà, les besoins en eau vont en croissant, car un sol dur, croûté à ce moment, est défavorable et la plante ne peut plus puiser suffisamment sur les réserves du planton.

On peut donc diviser l'année agricole en un certain nombre de périodes pour les cultures. Chaque période (mois ou ensemble de mois) correspondant à une phase bien déterminée du développement de la culture.

La période de croissance n'est pas la même pour toutes les cultures et le développement d'une espèce n'est pas le même à différentes altitudes d'une même région. C'est la raison pour laquelle nous avons dû considérer des mois et groupes de mois. Dans des publications antérieures, certains auteurs se sont contentés d'analyser ce qui se passait durant la période de végétation seulement, en prenant les mois dans leur ensemble, sans distinction pour les différentes cultures ou pour les différentes altitudes (par exemple avril à octobre, la longue période de végétation selon MAEDER 1970).

D'autres auteurs ont par contre été très loin dans l'analyse et ont décomposé la période de croissance des espèces en décades (périodes de 10 jours) ou même en périodes de 5 jours (PRIMAULT 1972b, CALAME 1977, TAMM 1950-52 et autres). Ceci peut se faire pour une analyse très fouillée, lorsqu'on dispose d'observations météorologiques journalières ou de données rassemblées en périodes de 5 ou 10 jours. Ce genre de méthode convient lorsqu'on analyse un domaine, une petite région ou lorsqu'on dispose de ce type de données pour un nombre jugé suffisant de stations météorologiques (TAMM 1950, 1952 et 1953, PRIMAULT 1972).

Dans le cas présent, l'étude étant prévue pour tout le territoire Suisse, une telle précision n'était pas possible, car le nombre de stations météorologique aux données journalières disponibles était trop restreint. Il a donc fallu se contenter de l'utilisation de moyennes mensuelles.

L'enquête auprès des écoles cantonales d'agriculture, les données recueillies auprès des services officiels, ainsi que le dépouillement d'archives et de la littérature (voir notes bibliographiques et remarques particulières à l'alinéa 2.2.4) ont permis de déterminer pour chaque culture des seuils de tolérance pour les périodes retenues. Les trois éléments suivants ont été considérés, pour lesquels des seuils supérieurs et inférieurs ont été fixés.

- 1) Quantités de précipitation (QP)
- 2) Nombre de jours de pluie (SP)
- 3) Température moyenne (TM).

Pour chaque période d'un ou de plusieurs mois un seuil supérieur et un seuil inférieur a été défini. En certains cas, deux seuils inférieurs caractérisent des conditions plus ou moins graves.

Les valeurs qui dépassent le seuil supérieur sont considérées comme des excès pouvant nuire à la culture. Les valeurs en-dessous du seuil inférieur sont considérées comme des déficits pouvant nuire à la culture. Les données qui sont par contre entre les deux seuils sont considérées comme favorables ou indifférentes pour la culture. Les cultures s'adaptent encore bien aux variations entre les limites des seuils.

Le tableau 1 montre schématiquement la manière dont a été décomposée l'année agricole pour les céréales, les pommes de terre et les herbages. Les seuils fixés y figurent par période et culture.

Tabelle 1: Agroklimatische Perioden und Schwellenwerte

Tableau 1: Périodes et seuils agroclimatiques par culture principale

Kultur	Klima- element	Schwel- lenwert	Vorjahr/Année précédant la récolte				Erntejahr / Année de récolte										Sept.- Nov.	Dez.- Febr.	März- Mai	Juni- Aug.	April- Mai	Mai- Juni	Juni- Juli	März- Aug.	Mai- Aug.	April- Okt.	Aug.- Sept.	April- Sept.	
Culture	Elément	Seuil	Sept. Sept.	Okt. Oct.	Nov. Nov.	Dez. Déc.	Jan. Jan.	Febr. Fév.	März Mars	Apr. Avr.	Mai Mai	Juni Juin	Juli Juil.	Aug. Août	Sept. Sept.	Okt. Oct.	Nov. Nov.	Sept.- Nov.	Dez.- Fév.	März- Mai	Juni- Août	April- Mai	Mai- Juin	Juni- Juil.	März- Août	Mai- Août	April- Oct.	Aug.- Sept.	April- Sept.
Getreide / Céréales	NM (mm)	OS/SUP	150	150	150	250	250	150	150	150	150	150	150	150	-	-	-	400	450	350	400	250	250	250	700	550	800	-	-
	QP (mm)	US/INF	30	30	30	20	20	20	30	30	40	40	30	30	-	-	-	100	100	140	120	80	120	90	300	200	350	-	-
	NT (Tg.)	OS/SUP	12	12	12	15	15	15	12	12	12	12	12	12	-	-	-	30	40	30	30	20	20	20	60	40	70	-	-
	JP (j.)	US/INF	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	-	-	-	15	15	15	15	10	10	10	30	20	35	-	-
	MT (°C)	OS/SUP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21	21	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	TM (°C)	US1/INF1	13	8	3	-3	-3	-3	3	8	12	16	16	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	13	-	-
		US2/INF2	12	7	2	-5	-5	-5	2	7	11	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	12	-	-
Kartoffeln / Pommes de terre	NM (mm)	OS/SUP	-	-	-	-	-	-	-	160	160	170	170	200	200	-	-	-	-	-	-	250	-	300	-	-	-	300	-
	QP (mm)	US/INF	-	-	-	-	-	-	-	60	60	80	70	70	50	-	-	-	-	-	-	150	-	180	-	-	-	150	-
	NT (Tg.)	OS/SUP	-	-	-	-	-	-	-	16	16	16	16	16	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	JP (j.)	US/INF	-	-	-	-	-	-	-	6	6	6	6	6	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	MT (°C)	OS/SUP	-	-	-	-	-	-	-	-	18	18	18	18	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	TM (°C)	US/INF	-	-	-	-	-	-	-	6	10	14	14	14	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Futterbau / Herbages	NM (mm)	OS/SUP	-	-	-	-	-	-	-	180	180	200	200	200	180	-	-	-	-	-	450	500	-	-	-	-	600	-	1000
	QP (mm)	US/INF	-	-	-	-	-	-	-	50	50	70	70	70	50	-	-	-	-	-	180	250	-	-	-	-	300	-	450
	NT (Tg.)	OS/SUP	-	-	-	-	-	-	-	15	14	14	15	14	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	JP (j.)	US/INF	-	-	-	-	-	-	-	7	7	7	7	7	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	MT (°C)	OS/SUP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	20	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	TM (°C)	US1/INF1	-	-	-	-	-	-	-	10	10	10	10	10	10	10	10	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		US2/INF2	-	-	-	-	-	-	5	5	5	5	5	5	5	5	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Abkürzungen:

NM Niederschlagsmengen (in mm pro Monat)
 NT Niederschlagstage (mit $N \geq 1.0$ mm)
 MT Mitteltemperaturen (in °C)
 OS Oberer Schwellenwert
 US Unterer Schwellenwert
 US1 Unterer Schwellenwert 1 (für Mitteltemperaturen)
 US2 Unterer Schwellenwert 2 (für Mitteltemperaturen)

Abréviations:

QP Quantités de précipitations (en mm par mois)
 JP Jours de précipitations (avec plus d'un mm par mois)
 TM Température moyenne par mois
 SUP Seuil supérieur
 INF Seuil inférieur
 INF1 Seuil inférieur modéré (températures)
 INF2 Seuil inférieur grave (")

2.2.2 Le choix des périodes pour les céréales

Les céréales (sans le maïs): il y a correspondance avec les phases phénologiques. Du semis à la récolte, les céréales passent par un certain nombre de phases de développement qui se succèdent comme suit (selon MOULE 1971)

<u>Grandes périodes</u>	<u>Petites périodes</u>
Période végétative (germination-début montaison)	- Semis-levée - levée-début tallage - début tallage-début montée
Période reproductrice (montaison-fécondation)	- formation des ébouches d'épillets - spécialisation florale - fécondation
Période de maturation (fécondation-maturité complète)	- multiplication cellulaire intense - enrichissement en glucides et protides - dessiccation

A) Avant le semis et semis-levée (septembre-octobre)

Pour les semis d'automne (variétés d'hiver et alternatives), les conditions atmosphériques de la période de préparation des sols précédant les semis sont très importantes déjà. Un sol travaillé dans de mauvaises conditions (soit trop humide, soit vraiment trop sec) est déjà à priori peu favorable à une bonne implantation de la culture. Il arrive même que les conditions ne permettent pas de faire les semis prévus en automne (exemple: humidité excessive de l'automne 1974). Ces réflexions ont poussé à faire l'analyse des mois de septembre et octobre déjà afin de pouvoir démontrer la probabilité de tels ennuis.

Le tableau 1 donne les chiffres critiques retenus pour ces mois. D'après ces données, l'on a donc considéré par exemple qu'un mois d'octobre totalisant plus de 150 mm de précipitations, répartis sur plus de 12 jours, était défavorable à une bonne préparation des terres.

B) Hivernage (novembre à mi-mars)

Une fois les semis d'automne effectués, on entre dans la période végétative. L'hivernage de ces céréales qui ont juste levé est alors très important. Au cours des mois de novembre à février - à mars en altitude -, les excès d'eau dans les sols et des températures trop basses sur des semis mal protégés par la neige peuvent avoir pour conséquence de réduire considérablement la densité des semis.

Les causes de ces dépeuplements peuvent être directes ou indirectes

- Froid trop intense et subit, pouvant causer des dégâts allant jusqu'à la mort du végétal lorsque la protection de la couverture de neige est insuffisante.
- Saturation du sol en eau causant l'asphyxie des racines.
- Action mécanique du gel et dégel rompant la plante encore faible au niveau du plateau de tallage par exemple.
- Couverture de neige de trop longue durée, permettant à la fusariose de se développer. Les plantes pourrissent.

Sans être une cause de dégâts, proprement dit, le lessivage important des engrais provoqué par de trop abondantes précipitations est source de gaspillage pour l'agriculteur. L'importance de ce phénomène est très difficile à évaluer et les fumures de printemps posent parfois de délicats problèmes de dosage. Ce genre d'ennui ne doit pas être négligé lors d'hivers trop humides.

Les chiffres retenus pour cette période d'hiver permettent dans une certaine mesure de mettre en évidence les forts excès de précipitations et les froids vigoureux qui peuvent avoir une grande importance sur l'hivernage des céréales d'automne.

Au sortir de l'hiver, alors que les semis d'automne terminent leur période végétative et que les semis de printemps se font, les conditions des mois de février et mars, sont déterminantes pour un bon départ. Les réserves en eau des sols ayant été faites durant l'hiver, les mois de février et mars ne nécessitent pas beaucoup de précipitations. Les terres doivent se réchauffer, se ressuyer. Le tallage des variétés d'automne tout d'abord, de celles de printemps ensuite doit pouvoir se terminer dans de bonnes conditions et permettre dans une certaine mesure de combler des vides occasionnés par un mauvais hivernage, un semis de faible densité ou une mauvaise levée.

Du nombre de tiges fertiles à la fin de la période végétative dépend déjà en grande partie le rendement final. Ces tiges commencent à s'allonger. C'est le début de la montaison.

C) Montaison - fécondation (mars à mai-juin)

Durant cette période de reproduction, une alimentation régulière en eau est nécessaire. Les réserves en eau du sol sont généralement assez importantes pour que jusqu'au début juin, de faibles précipitations suffisent. Cependant, dans les terres légères et pour les semis de printemps surtout, le sec est à craindre dès le mois d'avril dans les régions précoces et chaudes. En effet, si les précipitations ne compensent pas en grande partie l'évapotranspiration qui va en augmentant avec l'élévation des températures journalières, le déficit hydrique devient rapidement défavorable à une bonne photosynthèse. Ainsi, un hiver sec, suivi d'un printemps très sec peuvent avoir des conséquences irréversibles sur la formation des rendements dès le mois d'avril, même si les températures sont favorables. A titre d'exemple citons le printemps 1976 où, à mi-juin déjà, le bilan hydrique accusait un déficit de 170 mm et plus dans la région comprise entre Genève et Lausanne en zone précoce. (Bilan hydrique = précipitations moins évaporation mesurée).

Les cultures céréalières prometteuses au sortir de l'hiver et après les semis de printemps ont souffert dès le mois d'avril de la sécheresse extrême et n'étaient plus en mesure de se développer normalement, même dans les terres lourdes et profondes.

Pour passer à un autre extrême, si la période de reproduction se passe dans des conditions trop humides et froides, les céréales en souffrent aussi rapidement. Les retours de froid et l'humidité persistante sont défavorables au moment de la floraison. La forte croissance en longueur des tiges accentue les risques de verse et l'humidité favorise les maladies cryptogamiques.

D) Maturation (juin à août ou éventuellement plus tard)

De la fécondation à la maturation complète on peut distinguer trois phases aux besoins hydriques fondamentalement différents.

Lors de la multiplication cellulaire, jusqu'au stade laiteux, il y a accroissement du poids d'eau et de matière sèche dans le grain. Une très forte évapotranspiration et un fort déficit hydrique à ce moment sont donc peu propices à une

formation importante de matière sèche. La plante économise en effet de l'eau en fermant ses stomates, ce qui a pour conséquence de ralentir la photosynthèse. De même, des retours de froid, une forte humidité et un faible ensoleillement peuvent entraver le développement optimum à ce stade.

Du stade laiteux au stade pâteux, le poids d'eau dans le grain reste constant, c'est le palier hydrique. Il y a par contre enrichissement du grain en glucides et protides par migration de ces substances de réserve des organes herbacés de la plante vers les grains. C'est durant cette période qu'un excès d'évaporation, un déficit d'alimentation en eau, des températures trop élevées ou la combinaison de ces trois facteurs auront pour conséquence le phénomène de l'échaudage. La synthèse et la migration de réserves vers le grain seront ralenties. MOULE (1971) indique que des températures en dessous de 28 à 30° C aux heures les plus chaudes de la journée durant plus de deux jours peuvent provoquer des échaudages. La sensibilité varie selon les espèces et variétés. Les poids des 1000 grains et de l'hectolitre resteront donc faibles après un échaudage, et l'aspect flétri et anguleux du grain sera caractéristique. Durant cette phase, un excès d'humidité, le vent et les orages peuvent fortement contribuer à la verse des céréales, ce qui peut avoir des conséquences importantes à la récolte. En effet, si un champs versé reste longtemps à la pluie, il séchera moins vite que lorsque les épis sont droits. Les risques de pertes de qualité ou de quantité sont accentués.

La phase de la dessiccation dure du stade pâteux à la maturité. La plante, n'a plus besoin d'être alimentée en eau. La sécheresse de l'air et la chaleur sont alors favorables au déroulement optimum de cette phase finale qui demande une forte évaporation. Des pluies persistantes durant cette période entravent naturellement ce processus de dessiccation, surtout si elles sont accompagnées de températures basses.

Lorsque le grain est cassant - il contient alors moins de 15% d'eau - la récolte peut se faire dans les meilleures conditions. Pour ne pas prendre de risques lorsque le mauvais temps menace et que la récolte presse, on peut récolter le grain dur (15-20% d'eau), mais le battage est alors moins aisé et rapide. De plus, le séchage des grains pour les ramener à une humidité de moins de 15% coûte au producteur.

La récolte d'une céréale versée et humide est aussi plus longue à effectuer, donc plus coûteuse que pour une céréale sèche. La sécheresse est la bienvenue durant la période de récolte et toute pluie persistante sera défavorable et peut conduire à la germination sur pied avec toutes les conséquences que cela implique sur la qualité de la récolte. Pour cette période (juillet à mi-août en plaine, plus tardif en altitude), la fréquence des précipitations (jours de pluie) est de la plus haute importance. Un mois de juillet avec 18-20 jours de pluie ne peut en effet être favorable aux céréales en plaine, même avec les moyens d'intervention rapides dont on dispose actuellement.

2.2.3 Le choix des périodes pour les pommes de terre

Pour cette culture il y a correspondance avec les phases de développement. L'automne et l'hiver précédant la plantation ne sont pas considérés, et des seuils agroclimatiques n'ont été définis qu'à partir du début de la plantation (tableau 1).

Les pommes de terre ne sont pas plantées avant le début du mois d'avril. Les variétés précoces (primeurs) - non considérées ici - et les zones peu menacées par les gels tardifs forment les seules exceptions. Une levée trop précoce pourrait être

inutile et dangereuse, car jusqu'au 15 mai, les risques de gel ou de retours de froid sont prononcés, même en plaine. En altitude, à 1000-1200 mètres par exemple, on ne plante guère avant la mi-mai.

Des seuils agroclimatiques ont été définis (tableau 1) depuis le début de la plantation (avril) à la récolte (septembre).

A) Plantation, germination, levée (avril-mai)

Pour la plantation, le sol doit être bien ressuyé et réchauffé. Les excès d'eau sont donc défavorables à tous points de vue. Un temps sec et tempéré convient le mieux. Lorsque l'aération du sol est mauvaise, le sol trop froid et humide, la germination se fait mal et la pourriture peut s'installer. Pour la levée, les besoins en eau sont par contre élevés, mais les températures ne doivent pas descendre trop bas. Un sol dur et croûté en surface est défavorable à cette époque. De bonnes précipitations sont alors nécessaires.

B) Facteurs déterminant le nombre de tubercules et la croissance (juin-juillet)

L'alternance de journées chaudes (jusqu'à 20°C) et de nuits fraîches (12-15°C au maximum), de périodes assez sèches et de précipitations généreuses favorise la formation d'une grande quantité de tubercules par plante, un facteur essentiel dans la formation des rendements. La croissance maximum des tubercules ainsi formés est ensuite favorisée par un bon approvisionnement en eau, de bonnes températures et un ensoleillement moyen. Le sec, le froid ainsi que les trop fortes chaleurs sont préjudiciables. A ce point de vue, le mois de juillet est souvent trop chaud (et sec) en regard de cette culture dans les zones favorisées de notre pays pour le facteur température. Les pommes de terre souffrent déjà à partir de températures inférieures à celles nécessaires à l'échaudage des céréales, soit à partir de 23-25°C.

Il est frappant de constater à quel point les exigences pour les céréales (début des récoltes en plaine) et pour les pommes de terre (croissance) sont différentes à cette époque (fin juillet). Dans de bons sols et en année tempérée sans excès de sécheresse ou d'humidité, il est néanmoins possible que les deux genres de cultures donnent satisfaction, les plantes ayant un pouvoir d'adaptation suffisant. Par contre, les années de récoltes records pour les céréales, effectuées dans des conditions idéales seront rarement les mêmes que les années record pour les pommes de terre au même endroit, car les exigences sont trop différentes. En pratiquant les deux cultures, un agriculteur situé dans une zone équilibrée du point de vue hydrique, parfois assez humide, parfois assez sèche, répartit ainsi ses risques.

c) Fin de croissance, maturation et récolte (mois d'août et septembre)

Comme pour le mois de juillet, août ne doit pas être trop chaud pour les pommes de terre, sans quoi les feuilles, organes assimilateurs, se mettent en état de défense, réduisent leur activité diurne (synthèse chlorophyllienne) et consomment leurs réserves, de jour comme de nuit, pour assurer la respiration des tissus. La croissance et la maturation des tubercules ne peut alors s'effectuer harmonieusement. De même, un fort ensoleillement et la sécheresse, parallèlement à de trop fortes températures, provoquent une maturation accélérée des tubercules qui restent petits, et leur développement n'est pas complet. Des précipitations généreuses, des températures et un ensoleillement modéré au mois d'août, prolongeant la période d'assimilation et de maturation, donnent des rendements records du

point de vue quantitatif. La qualité par contre, la teneur en amidon, les aptitudes pour la conservation ne sont guère favorisées par ces mêmes caractéristiques du climat. Les meilleures conditions sont donc celles qui assurent une bonne qualité et la quantité optimum.

Pour la récolte, il est aujourd'hui essentiel de pouvoir aller sur les champs avec les machines. Les pluies persistantes sont donc défavorables et la récolte peut même parfois s'avérer être pratiquement impossible en temps voulu, lorsqu'une succession d'événements climatiques particulièrement défavorables se présentent (par exemple en automne 1974 dans certaines régions). La terre ne doit pas coller aux tubercules pour des raisons pratiques (pour la propreté de la récolte le triage). Des températures trop basses, inférieures à 8-10⁰, peuvent provoquer des dégâts. Le gel dans le sol reste même à craindre lorsque les circonstances retardent par trop la récolte.

2.2.4 Le choix des périodes pour les herbages

Pour ce groupe, il y a aussi correspondance avec les phases de développement. Toute la période de végétation (en plaine depuis le début du mois de mars jusqu'à la mi-novembre) entre en considération pour les températures.

Pour les précipitations et les jours de pluie, les mois d'avril à septembre correspondent à la période de plus forte croissance effective en plaine. Au mois de mars, la disponibilité de l'eau dans le sol n'est en aucun cas un facteur limitant, car les réserves constituées en hiver sont suffisantes pour le début de la croissance. Les excès d'eau n'ont pas des conséquences particulièrement marquées, si ce n'est le refroidissement du sol. Le facteur minimum à cette période est la chaleur, du sol surtout et de l'air.

Dès le mois d'octobre, les températures ne provoquent plus une forte évapotranspiration, et la croissance est déjà réduite. Le facteur "eau" ne joue à nouveau qu'un rôle secondaire, par rapport à la dégradation des conditions thermiques qui provoquent le repos hivernal.

A noter encore que les mois indicatifs donnés ci-dessous correspondent à des altitudes basses à moyennement élevées, jusqu'à 1000-1200 m environ suivant les régions. A haute altitude, bien que la croissance soit plus explosive au printemps, elle commence plus tardivement et se termine plus tôt (voir la durée de la période de végétation, figure 15, et les cartes annexes à JEANNERET et VAUTIER 1977b).

A) Début de la croissance (dès début mars en plaine)

Du point de vue phénologique, la formation de la première feuille du trèfle blanc (*Trifolium repens*) ou le début de la floraison du crocus (*Crocus albiflorus*) sont admis comme dates repères (CAPUTA 1975), pour le début de la croissance. Du point de vue des températures, on admet qu'un minimum de 5 à 6⁰ C doit régner à 20 cm environ de profondeur dans le sol (CAPUTA 1975), ou que la température de l'air ait été sept jours consécutivement égale ou supérieure à 5⁰ C (PRIMAULT 1972), ou encore que la température journalière moyenne soit supérieure à 7,5⁰ C (GENSLER 1946).

Ce n'est toutefois que lorsque la température journalière moyenne dépasse le seuil des 9 à 10⁰ C que la croissance devient intense, et que les besoins en eau augmentent.

B) Stade de pâture (dès début à mi-avril en plaine)

Lorsque l'apex (futur épis) est à 10 cm au-dessus du niveau du sol dans la gaine pour les graminées, on admet que c'est le stade optimum pour le début de la pâture. Phénologiquement, ce stade se situe selon les espèces et variétés de graminées, peu avant, pendant ou peu après la pleine floraison de la dent-de-lion (*Taraxacum officinale*). Dans les prairies permanentes ou naturelles, composées de plusieurs espèces, ce stade repère indique la date du début de pâture (début floraison du *taraxacum*, température du sol à 20 cm: 9 à 10⁰ C; CAPUTA 1975). A cette époque, un gazon bien cultivé atteint un rendement de 15 q/ha de matière sèche environ.

Un mois d'avril sec en plaine peut alors déjà se révéler défavorable pour l'élaboration intense de matière sèche ou pour la repousse des plantes déprimées (apex coupé), et le rythme de croissance s'en ressent fortement. De même pour les retours de froid, accompagnés ou non de pluies excessives, rafraîchissant par trop les sols.

C) Epiaison (Stade de fenaison; dès début à mi-mai en plaine)

Ce stade est important pour la fenaison. Pour les graminées, c'est à l'épiaison que le rapport entre la qualité et le volume des récoltes est optimum. Dans les prairies naturelles ou permanentes à mélanges complexes, ce stade correspond au début de la floraison de la grande marguerite (*Chrysanthemum leucanthemum*) (CAPUTA 1975). La température du sol à 20 cm est alors de 12 à 13⁰ C.

Les récoltes pour l'ensilage doivent être effectuées entre le stade pâture et l'épiaison. La floraison de l'anthesis (*Anthriscus silvestris*) est un bon repère indiquant le stade optimum.

Pour que l'ensilage ou la fenaison puissent s'effectuer dans de bonnes conditions, il faut des périodes sans pluie pour assurer au minimum le préfanage aux champs, si ce n'est le fanage complet.

Des précipitations trop abondantes, trop fréquentes, une insolation et des températures trop faibles sont donc néfastes. Lorsque les récoltes sont faites, de bonnes températures et une grande disponibilité en eau sont indispensables pour assurer la repousse.

D) Croissance après la première coupe

Pour les cycles de croissance suivant la première coupe, les températures sont généralement largement suffisantes en plaine jusqu'en septembre-octobre; elles sont même parfois trop élevées. Lorsque la température diurne dépasse 26 à 30⁰ C (suivant les espèces) la plupart des plantes fourragères cultivées chez nous n'ont plus un rythme de croissance maximum. Les températures trop élevées provoquant l'arrêt complet de la croissance sont différentes suivant les espèces; les légumineuses, en particulier la luzerne, s'adaptent le mieux aux fortes chaleurs. C'est néanmoins la sécheresse surtout qui joue le plus grand rôle en été dans nos conditions, car les températures ne se révèlent qu'occasionnellement excessives, ou alors, très localement surtout. Dès le mois de juin, jusqu'à fin août ou mi-septembre, la forte évaporation estivale et les besoins des plantes en eau pour l'élaboration de grandes quantités de matière sèche, conduisent rapidement à de forts déficits hydriques des sols, si les précipitations ne sont pas assez généreuses. D'un autre point de vue, un nombre toujours excessif de

jours de pluie rend les récoltes et le fanage (même le préfanage) au sol aléatoires, ce qui se répercute surtout sur la qualité.

E) Fin de croissance (octobre, jusqu'à mi-novembre en plaine)

Du point de vue des températures, c'est à nouveau le seuil de 5° C qui est généralement admis comme fin de la période de végétation, ou alors les premiers gels, lorsqu'ils se manifestent brusquement, avant que trois journées consécutives aient eu des températures moyennes inférieures à 5° C (PRIMAULT 1972). C'est en fait à nouveau la température du sol qui est déterminante pour l'induction du repos complet (seuil différent suivant les espèces). Phénologiquement, la floraison du colchique d'automne (*Colchicum autumnale*) peut être admise comme repère pour le ralentissement sensible de la croissance précédant le repos complet (Dr. J. CAPUTA, Nyon, communication orale).

Suivant les années, cet arrêt de croissance est plus ou moins précoce ou subit, en un même lieu. Un prolongement de la période de végétation en automne est souvent précieux pour l'année suivante, car les plantes ont ainsi le temps de constituer encore quelques réserves utiles lors du réveil printanier, et s'adaptent progressivement aux conditions hivernales.

2.2.5 Le choix de seuils agroclimatiques

Une remarque générale s'impose d'emblée. L'étude rigoureuse des relations existant entre les conditions météorologiques et les résultats obtenus avec différentes cultures est un travail de longue haleine, nécessitant des données de base très nombreuses et complexes à analyser. Une grande précision ne peut être obtenue que pour un sol donné avec des relevés détaillés pour une période couvrant de nombreuses années (mesures exactes des rendements et observations climatologiques quotidiennes). Les particularités du micro-climat doivent également être retenues.

Dans le cadre de cette étude, malheureusement de données assez fouillées n'étaient pas à disposition pour prétendre à une grande précision au niveau local. Des données pouvant s'appliquer au niveau régional ont été retenues. En plus, seul des moyennes météorologiques mensuelles étaient disponibles, exigeant une certaine simplification. Celles-ci peuvent être à l'origine de lacunes, mais elles ont d'autre part un avantage certain: seuls les éléments vraiment importants ressortent de manière significative des données mensuelles et permettent une interprétation relativement rapide et suffisante, alors que trop de détails infimes sont difficiles à interpréter (TAMM 1950, 1951, 1952, 1953). Les cultures ont en effet de grandes facultés d'adaptation entre certaines limites et les interactions du climat avec d'autres facteurs de croissance sont aussi très étroites (fumure, sol, soins, etc...).

A) Les céréales

L'analyse des données obtenues dans les écoles d'agriculture, ainsi que par d'autres sources bibliographiques (voir note 2.1.) ont permis de fixer des seuils supérieurs et inférieurs pour les précipitations, les jours de pluie et les températures. La culture du blé en particulier peut s'adapter aisément aux conditions situées entre ces seuils dans de bons sols (suffisamment bien drainés et avec une capacité de rétention normale).

Les chiffres retenus pour les périodes de plusieurs mois méritent une remarque qui est valable pour les trois cultures considérées: les quantités d'eau et de jours de pluie retenus au total pour plusieurs mois considérés ensemble sont

toujours plus sévères que la somme des seuils fixés à chaque mois composant la période.

Exemples des seuils à partir desquels les excès (déficits) sont sensibles pour les céréales:

juin = 150 mm (40 mm), juillet 150 mm (30 mm),
période juin-juillet = 250 mm (90 mm) et non 300 (et 70).

En effet, si la culture supporte par exemple encore bien un seul mois avec 130 à 150 mm (40 à 50 mm) de précipitations et 10 à 12 jours de pluie (4 à 5 j.), deux mois consécutifs avec les mêmes conditions occasionnent un cumul nécessairement plus défavorable.

Lorsque par contre un mois assez pluvieux se trouve entre deux mois séchards, le cumul ne se fait pas unilatéralement et la culture peut s'adapter dans une certaine mesure.

La comparaison de ces seuils avec les données de M. LUISIER (Section Sol et Climatologie de la Station Fédérale de Recherches Agronomiques de Lausanne, lors d'un cours sur les besoins des plantes en eau, 1968) permettent de tirer les conclusions suivantes.

Comme règle générale, on peut admettre qu'une consommation relative moyenne de 400 kg d'eau est nécessaire pour l'élaboration de 1 kg de matière sèche. Cette consommation relative est donc l'eau qui doit circuler dans les plantes pour l'élaboration des substances et non pas l'eau de constitution. Il faudrait donc 320 mm d'eau (320 l/m²) pour obtenir un rendement de 80 q/ha de matière sèche (40 q de grains secs et 40 q de paille sèche).

Ces 320 mm correspondent aux 300 mm fixés comme seuil minimum de mars à août, soit pour une bonne répartition 50 mm par mois. Ces chiffres sont légèrement inférieurs aux données théoriques et ça se justifie, car on peut considérer que les sols sont en mesure de restituer aux plantes une partie importante des réserves accumulées en profondeur durant l'hiver (bons sols).

Pour la variété principale de référence adoptée, un rendement de 40 q/ha de matière sèche pour le grain est excellent car il correspond à presque 50 q/ha de grain avec 15% d'eau.

Les seuils fixés pour les jours de pluie ont essentiellement été conçus pour qu'on puisse se rendre compte de la répartition des précipitations, en complément des observations faites sur les quantités tombées. Un apport soudain de 50 mm en deux jours, suivi de sécheresse, est moins favorable pour la pénétration de l'eau dans le sol et la régularité de l'approvisionnement, que 5 jours avec 10 mm bien répartis. D'un autre point de vue, 15 jours de pluie par exemple ne sont pas nécessaires mais plutôt néfastes (insolation, humidité, saturation du sol, etc.).

Pour les températures, l'accent a été mis sur les déficits en fixant deux seuils inférieurs; le premier "modéré", le second plus grave. Lorsque les températures chutent occasionnellement entre les valeurs de ces deux seuils, ce n'est qu'un frein à la culture qui peut être corrigé en partie par la suite si les conditions s'améliorent. Les résultats ne sont donc pas fondamentalement compromis. Lorsque les valeurs descendent régulièrement au-dessous du seuil inférieur "grave", la limite des possibilités pour la culture des céréales (blé particulièrement) est par contre atteinte pour les variétés utilisées habituellement chez nous.

En ce qui concerne les excès de chaleur pouvant provoquer l'échaudage, une moyenne journalière de 20 à 21 ° C (moyenne des températures mesurées à 07.30 h - 13.30 h - 21.30 h) signifie que la température à 13.30 h a dépassé 26 à 27 ° C. Une moyenne mensuelle de plus de 21 ° C indique alors que les températures maxima ont souvent dépassé 27 à 29 ° C, seuil à partir duquel l'échaudage peut se manifester. Cette constatation est d'autant plus pertinente que les températures au niveau des cultures en plein soleil sont en général supérieures à celles enregistrées à 2 m au-dessus du sol dans les abris.

Pour le cas particulier de l'échaudage comme pour d'autres phénomènes, exigeant des données journalières (gel par exemple), des données quotidiennes de certaines stations météorologiques caractéristiques (SCHUEPP 1969) ont été utilisées.

B) Les pommes de terre

Les comparaisons entre les rendements et les conditions météorologiques de chaque année nous ont montré que cette culture est plus sensible à la sécheresse dès le mois de juin que le blé par exemple (céréales en général, sauf peut-être l'avoine et le maïs). Les excès de précipitations ont par contre moins rapidement une influence néfaste que pour les céréales. En effet, la récolte étant sous terre, l'action directe des intempéries est moins importante. Dans les sols trop lourds et compacts néanmoins, les conséquences peuvent être désastreuses si l'eau stagne lorsque le drainage fait défaut.

Des chiffres de la littérature (LESS 1926, TAMM 1950-52, KOBLET 1967, VUILLOUD, CALAME, MAGNOLLAY 1977 et autres) nous permettent de faire la comparaison suivante entre les besoins de la plante en eau et nos chiffres. En admettant à nouveau qu'il faut 400 kg d'eau par kg de matière sèche élaboré, nous avons les chiffres suivants pour une bonne récolte de 400-450 q/ha de tubercules pour la consommation; 20% de cette récolte seulement étant de la matière sèche, ce rendement en tubercule équivaut donc à 9000 kg/ha de matière sèche. A cela il faut encore ajouter les fanes et les racines. Un minimum de 360 mm (360 l/m²) pour la production de cette matière sèche est donc nécessaire.

On se rend compte que ce n'est guère différent des 320 mm nécessaires à une bonne récolte de blé par exemple. Ce qui change, par contre, c'est la répartition des besoins. Pour les céréales semées dès février, début mars en plaine ou l'automne précédant déjà, une partie du développement peut être assurée lorsque l'évaporation est encore faible et les réserves du sol encore intactes. Pour les pommes de terre, les périodes de forte croissance sont toujours plus tardives dans la saison, les plantations principales ne s'effectuant qu'à fin avril, début mai suivant les régions.

Les besoins en approvisionnement par les précipitations sont donc plus importants que pour les céréales, car les pertes par évapotranspiration augmentent lorsqu'on va vers l'été. Les pluies rafraîchissent en outre le sol, ce qui est favorable pour la pomme de terre en période chaude.

Ces 360 mm nécessaires au minimum doivent être répartis principalement sur cinq mois de croissance, de mai à septembre ou avril à août dans les régions chaudes et précoces. Les pluies du mois de juin sont particulièrement importantes pour la croissance des tubercules. En moyenne, c'est donc 70 à 80 mm par mois qu'il faut pour notre exemple de bon rendement.

Les seuils inférieurs retenus d'avril à août ou de mai à septembre, soit 330 à 400 mm bien répartis, correspondent bien à cette valeur théorique pour la période principale de croissance.

Des précipitations supérieures à ces seuils minimums sont en outre bénéfiques, car la disponibilité de l'eau est meilleure, jusqu'au moment où les excès se font sentir, soit à partir de 160 à 200 mm suivant les mois dans les sols bien drainés. Pour les jours de pluie, les mêmes réflexions peuvent être faites, des précipitations bien réparties sur un certain nombre de jours par mois étant plus favorables que de grosses averses peu fréquentes et violentes.

Pour les températures, les pommes de terre sont moins exigeantes que les céréales (tableau 1). Les seuils inférieurs considérés sont donc plus bas que ceux retenus pour les céréales.

Pour les excès de température, cette culture est en revanche très sensible car toute fermeture des stomates a pour conséquences un ralentissement de la photosynthèse et donc un rythme de production faible. Les seuils supérieurs des températures sont plus bas que pour les céréales. Cette culture affectionne particulièrement les climats tempérés et craint les fortes chaleurs dès environs 24°C. Les températures trop basses et les sols froids ne conviennent pas bien non plus, pour autant qu'on désire des rendements maximums. Si on se contente de rendements moyens et même faibles (jardinage etc.), la pomme de terre est par contre une culture peu sensible et s'adapte à des conditions extrêmes, aussi bien chaudes et sèches que fraîches et humides.

C) Les herbages

Les chiffres obtenus dans les écoles d'agriculture ne se réfèrent malheureusement qu'à des appréciations globales moyennes de charge (U.G.B./ha) la plupart du temps, données insuffisantes à bien des points de vue pour apprécier l'influence de certains "accidents" climatiques sur la production herbagère. Par contre, les remarques faites lors des entretiens et certains rapports annuels, ont permis d'apprécier les différences d'aptitudes générales pouvant entrer en ligne de compte d'une région à l'autre (dates et conditions de récolte, régularité de la croissance, durée de pâture, etc...).

En outre, nous disposons, à côté de ces données, d'une importante documentation déjà bien étudiée grâce aux essais systématiques faits depuis des années par les stations de recherches agronomiques, (essais de fumure, études du rythme de croissance, etc., à diverses altitudes, dans de nombreuses régions, par exemple CAPUTA et SUSTAR 1975).

Ces essais donnent des résultats en q de matière sèche à l'ha et précisent souvent le nombre de coupes qui ont été effectuées. Une abondante littérature donne en plus des indications très précieuses.

Les herbages utilisant pleinement la période de végétation ne peuvent valoriser au mieux le potentiel offert par les conditions thermiques à différentes altitudes que si la disponibilité de l'eau dans le sol est constamment bonne. Une forte production moyenne durant la période de croissance de 55 kg MS/ha par jour peut être atteinte à toute altitude (CAPUTA 1966) avec de bons herbages permanents (fumure et exploitation adaptées). Cet optimum ne peut être atteint que grâce à une grande consommation d'eau.

Les chiffres de la littérature (CAPUTA, QUINCHE et RYSER 1972) fournissent les informations comparatives suivantes: admettons une période de végétation de 220 jours (plaine). Avec une moyenne de production journalière de 55 kg/ha au maximum, on arrive à un bon rendement de 120 q/ha de matière sèche. La quantité d'eau nécessaire à l'élaboration de cette matière sèche est alors de 480 l/m², soit 480 mm durant un peu plus de 7 mois, en admettant à nouveau une consommation par la plante de 400 l pour chaque kg de matière sèche produit. Nous sommes donc assez près de ce chiffre avec 450 mm pour la période de 6 mois (avril à septembre) que nous avons observée. Une répartition des précipitations de 70 mm par mois lors de la forte croissance peut ainsi être considérée comme satisfaisante, étant donné que les sols permettent dans une certaine mesure de régulariser la distribution suivant les besoins.

Les données minimums que nous avons fixées par mois sont bien au niveau le plus bas pour garantir un approvisionnement normal et sont de manière générale proches de celles trouvées pour les pommes de terre. L'optimum se situe néanmoins à des valeurs plus élevées, surtout pour les sols à caractère séchard (réserves propres faibles).

Les excès de précipitations ne se font guère sentir sur le rythme de production avant que des valeurs assez élevées ne soient atteintes, dans les sols normalement drainés en tout cas. Les seuils supérieurs retenus sont donc hauts.

La répartition des précipitations est un élément important à deux points de vue. Les deux exemples suivants résumeront l'essentiel (cas extrêmes).

1. Deux jours consécutifs donnant 40 à 60 mm suivis de 28 jours de sec seront défavorables aux herbages, alors que 7 à 10 jours apportant chacun 10 mm seront très favorables. Nous avons donc fixé le nombre minimum de jours de pluie assez haut pour pouvoir évaluer les risques de périodes sèches.
2. Un nombre trop élevé de jours de pluie est inutile et entrave les conditions de récolte surtout. Les risques de saturation en eau du sol, de son rafraîchissement exagéré sont grands, ce qui peut se répercuter sur bien des aspects techniques de la production. (Composition botanique, dégâts par la pâture du bétail, etc.). Lorsque plus de 14 à 15 jours de pluie se présentent par mois, il y a peu de chances d'avoir trois à quatre jours consécutifs de beau nécessaires pour des récoltes.

En ce qui concerne les températures, nous avons procédé de manière particulière pour cette culture en fixant à nouveau deux seuils inférieurs; ce procédé nous permettait d'évaluer le nombre de mois par année durant lesquels le facteur "chaleur" se révélait être globalement favorable (moyenne mensuelle supérieure à 10⁰ C), ou au contraire, encore proche du minimum (entre 5 et 10⁰ C), ou alors tout-à-fait défavorable (moyenne mensuelle en dessous de 5⁰ C).

Ces critères sont bien entendu moins rigoureux pour évaluer la durée de la période de végétation que ceux se référant aux données journalières de température. Ils permettent néanmoins de bien se rendre compte du nombre de mois où la croissance est forte. Le départ de la végétation n'est en effet pas synonyme de croissance rapide, surtout en plaine où les retours de froid se manifestent fréquemment et freinent sensiblement le rythme de production.

Lorsque la température mensuelle moyenne atteint ou dépasse 10⁰ C par contre, cela signifie que la grande majorité des journées du mois offraient des conditions thermiques permettant une bonne croissance.

Nous avons ainsi pu tenir compte d'un certain nombre de stations climatologiques représentatives, pour lesquelles les données journalières n'étaient pas disponibles.

Le seuil supérieur de 20⁰ C en moyenne par mois indique que les températures journalières maxima se sont souvent élevées au-dessus de 26 à 30⁰ C, ce qui est déjà excessif pour une croissance optimum de bien des espèces. Nous avons donc aussi considéré les températures supérieures à ce seuil mensuel comme un frein, ne permettant pas des rendements optima en regard de la période de végétation disponible.

2.3. APPRECIATION DES APTITUDES CLIMATIQUES POUR LES CULTURES

2.3.1 Principe

Nous sommes partis du principe que l'aptitude d'une région pour une culture donnée était fonction du nombre d'années favorables à cette culture, tant du point de vue des rendements, de la qualité, que des travaux à effectuer. En étudiant systématiquement les observations météorologiques année après année en fonction des seuils fixés, on peut envisager de donner une appréciation de la "qualité" des conditions rencontrées par chaque culture pour chaque année.

Nous n'avons distingué en définitive que quatre appréciations principales pour les trois cultures principales considérées.

- Années favorables où les seuils n'étaient pratiquement jamais dépassés de manière significative du point de vue des températures comme pour les précipitations (quantités de précipitations et jours de pluie). Des rendements maximums pouvaient être obtenus pour la culture considérée.
- Années moyennement favorables où quelques seuils étaient dépassés modérément. Le développement de la culture n'est alors pas optimum et les rendements ou la qualité ont toutes les chances d'en avoir souffert. Les travaux des champs peuvent aussi avoir été entravés.
- Années défavorables où beaucoup de seuils ont été dépassés de manière à compromettre sérieusement la formation des rendements, la qualité ou les travaux des champs. Il peut aussi arriver qu'un ou deux seuils seulement soient dépassés de manière à compromettre entièrement la culture. On retiendra comme exemple les gels de février 1956 qui ont donné une moyenne de températures de -7,2⁰ C à Lausanne, pour ce mois. Ces gels jusqu'à plus de 20⁰ C sous zéro sans couverture de neige ont détruit à eux seuls les semis de céréales d'automne.
- Années inaptes où la culture ne peut rien donner ou ne se justifie pratiquement pas.

Cette appréciation de la "qualité" des années considérées est un jugement subjectif. Il est basé sur l'analyse par ordinateur électronique des observations météorologiques selon le système des seuils agroclimatiques présenté plus haut.

L'analyse des données pouvait difficilement se faire jusqu'au bout par un ordinateur, c'est-à-dire jusqu'à l'appréciation de la qualité de l'année, car il y a beaucoup d'interactions entre les éléments considérés. Le jugement de la qualité d'une année doit être nuancé en fonction de ces interactions et de l'importance des accidents climatiques dont le nombre et la nature sont théoriquement infinis. Nous avons donc renoncé à établir un schéma analytique formel et sans nuances, praticable par un ordinateur. Nous avons préféré juger de cas en cas nous-même en tenant compte de ces difficultés et des cas particuliers.

La "qualité" d'une année est en général fonction du nombre de seuils dépassés pour les différents éléments climatiques retenus.

2.3.2 Exemples: céréales

C'est ainsi que nous pouvons illustrer par quelques exemples type la manière de procéder en tenant compte du nombre de seuils qui ont été dépassés pour les trois éléments climatiques retenus, ainsi que des combinaisons multiples possibles (Figures 2 à 12).

Le haut de la figure 2 donne quatre exemples schématiques pour illustrer la manière dont nous avons procédé pour juger des conditions pluviométriques pour les céréales.

Durant l'année 1943 à Genève, il n'y eut aucun excès ni déficit de quantité d'eau d'après nos seuils.

Deux fois par contre il y a eu excès et deux fois aussi déficit de jours de pluie. Cette année a été jugée comme bonne pour les céréales, le blé en particulier, à Genève.

Pour l'année 1922 à Sion, six fois il y a eu déficit pour les quantités d'eau comme pour les jours de pluie. Trois fois il y a eu excès de jours de pluie et une fois excès d'eau. La sécheresse de cette année n'a pas pu convenir au mieux aux céréales et nous avons jugé cette année comme moyenne pour Sion.

L'année 1944 à Glaris a été trop humide. Huit fois il y a eu excès d'eau et 11 fois excès de jours de pluie, alors que deux fois seulement il y a eu déficit de jours de pluie. Cette année est jugée comme mauvaise à Glaris.

En 1940 à Glaris, quinze fois les précipitations comme les jours de pluie ont été excessifs, alors qu'aucun déficit n'était enregistré. Une telle année est jugée comme inapte à Glaris pour les céréales.

Les quatre exemples du bas de la figure 2 illustrent les différences des conditions thermiques à différentes altitudes.

C'est en combinant le jugement pour les températures et pour les précipitations que l'on obtient l'aptitude complète d'une année pour la culture. Seule une année favorable pour les trois facteurs (quantité et fréquence des précipitations, températures) sera considérée comme bonne à très bonne pour la culture.

Les figures 2 à 12 illustrent les différences de conditions météorologiques qu'il peut y avoir en un même lieu sur 59 années pour une culture donnée. De même, en comparant les graphiques de deux stations météorologiques pour une même culture, on peut se rendre compte des différences énormes qu'il peut y avoir quant à la répartition et la fréquence des accidents, même à des altitudes comparables.

Les figures 3 à 6 se rapportent à l'analyse de quatre stations dont l'aptitude pour les céréales est très différente. En effet, Sion, Glaris, Lugano et Genève représentent des régions climatiques bien distinctes.

Parmi ces quatre stations, Genève (fig. 6) est celle dont les données relatives aux précipitations (quantités et fréquences) et températures s'écartent le moins des seuils fixés. Les conditions sont en grande majorité bonnes ou moyennes pour les céréales sur la période de 59 ans considérée. Genève et les stations qui ont des données comparables sont donc en classe 1 pour les céréales, le blé en particulier.

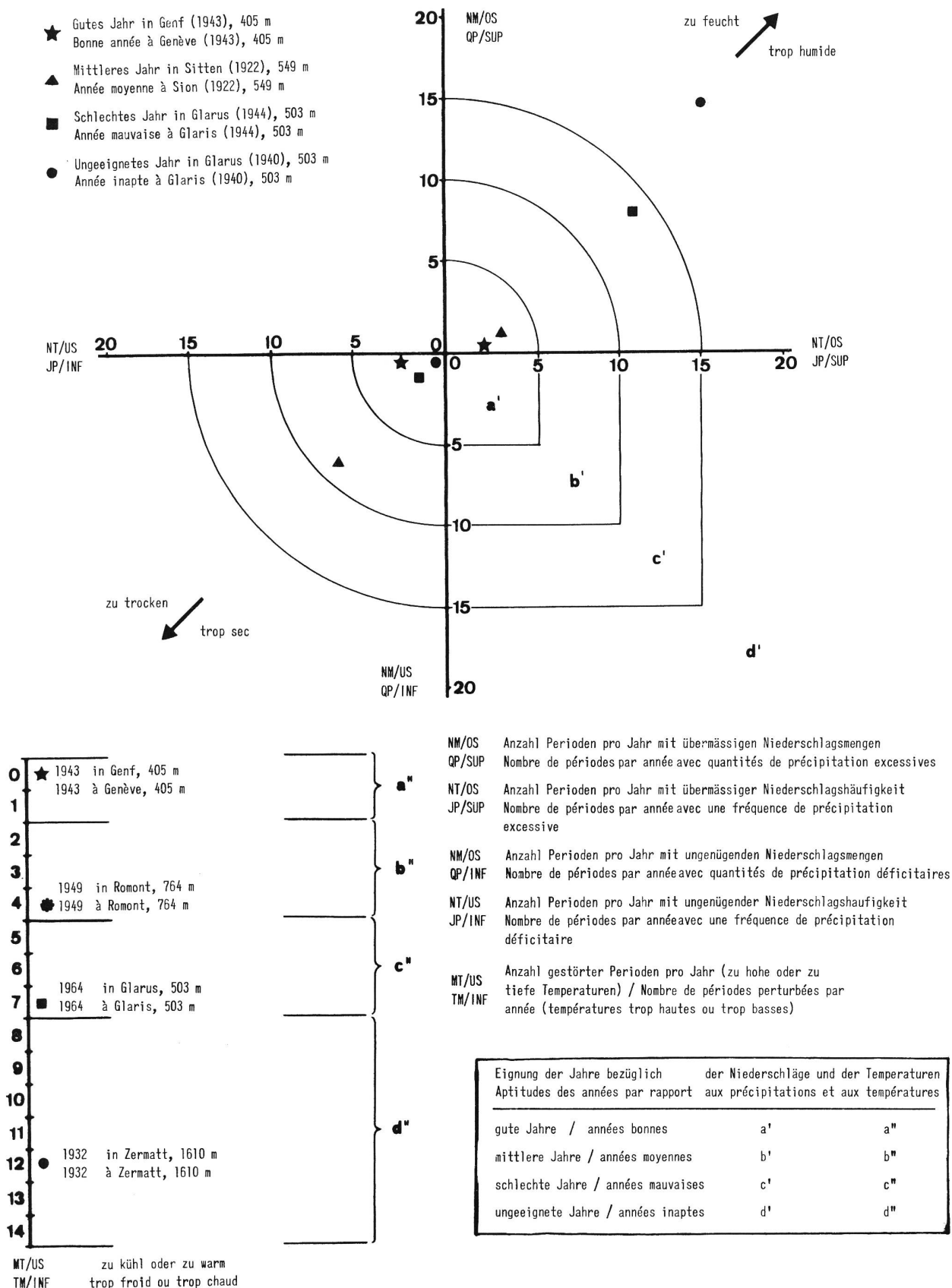
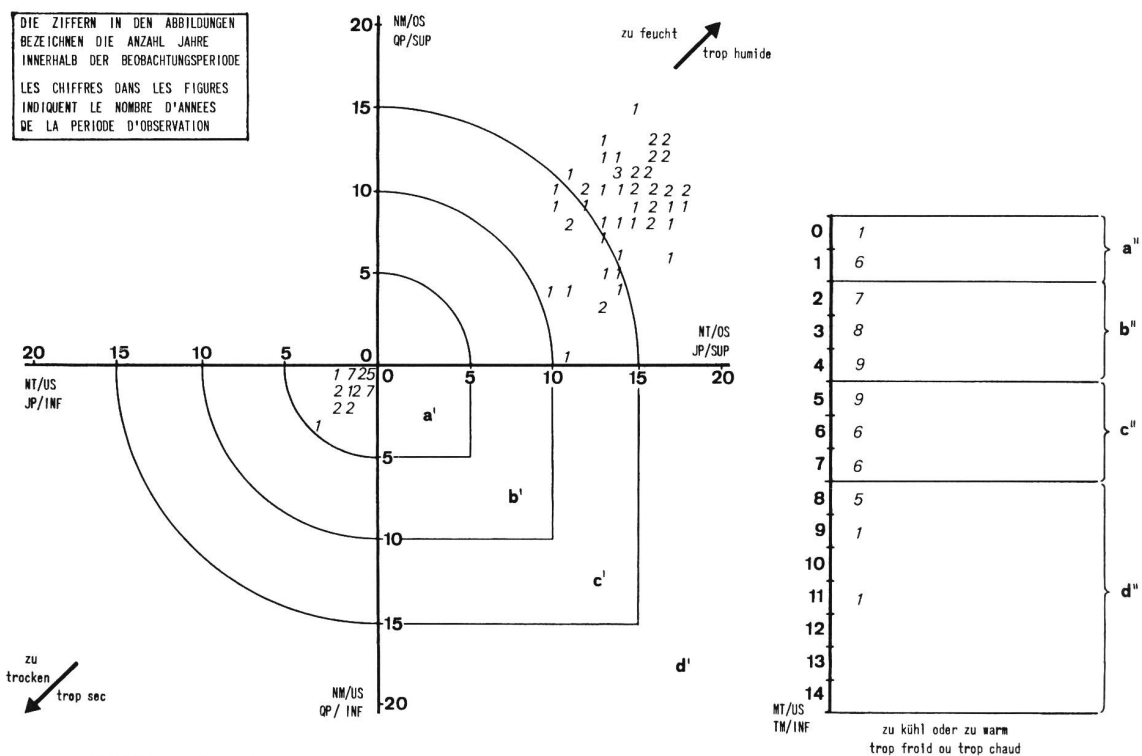
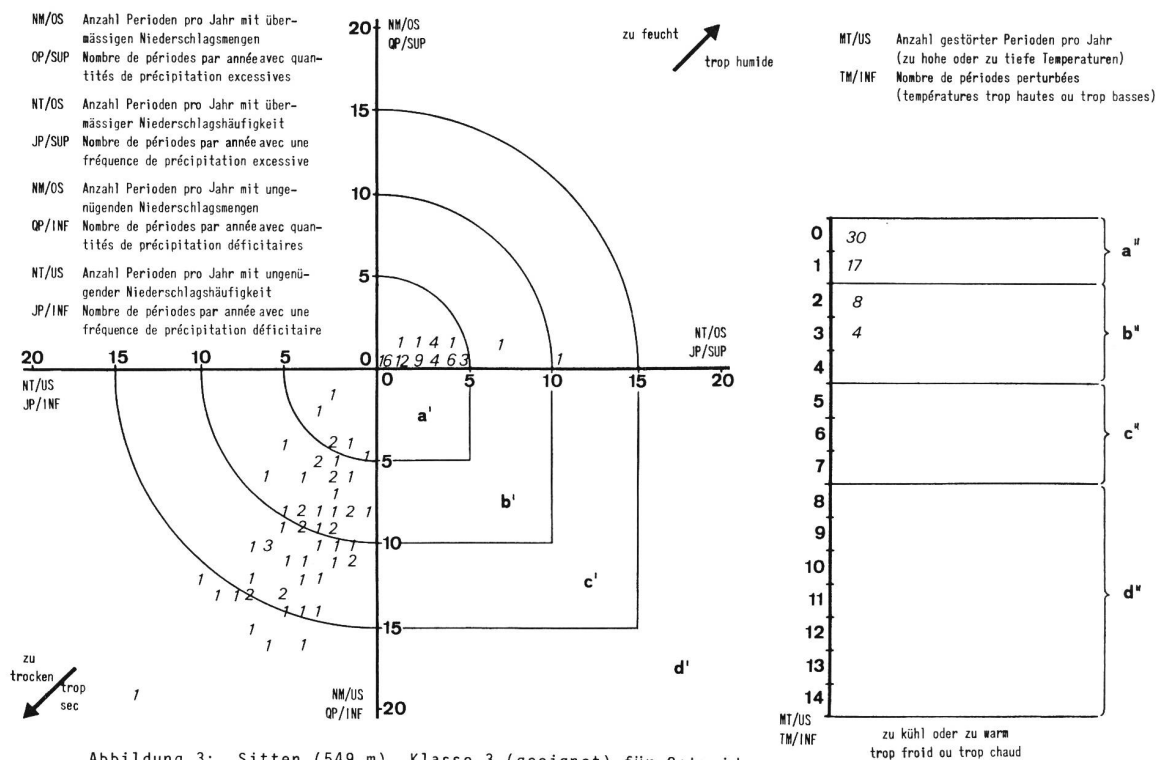
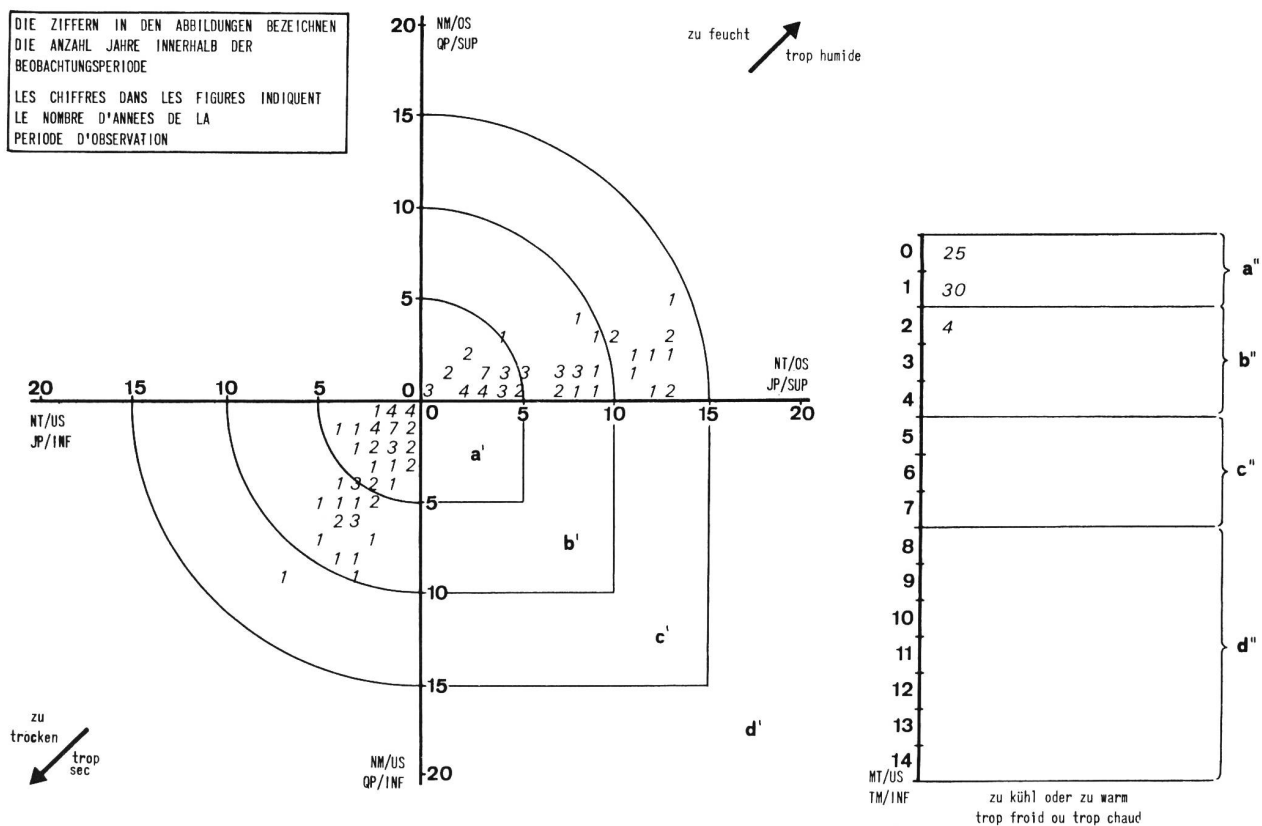
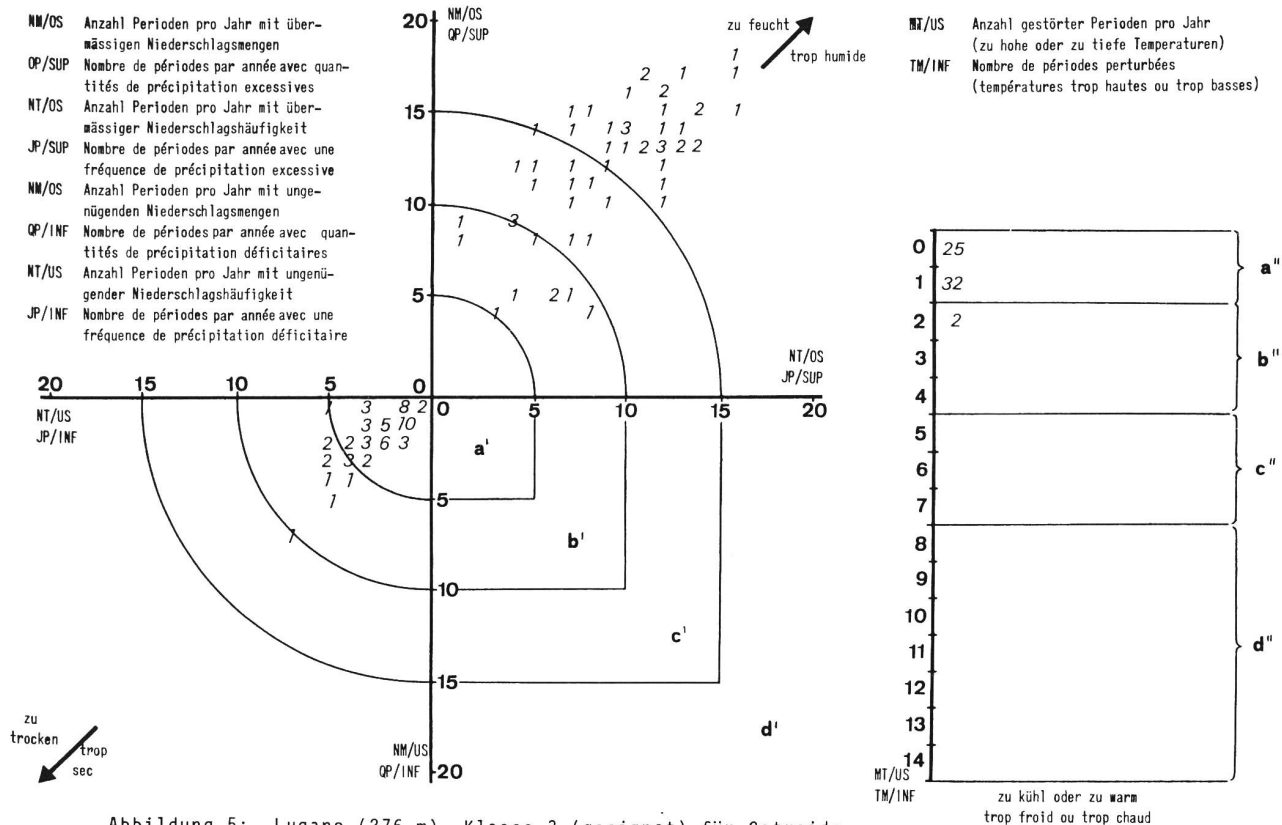


Abbildung 2: Beziehungen zwischen der Beurteilung einzelner Jahre und der Anzahl gestörter Perioden (Beispiel Getreide für ausgewählte Jahre und Stationen)

Figure 2: Relations entre les aptitudes des années et le nombre des périodes perturbées (exemple des céréales pour un choix d'années et de stations)

Abbildungen 3 bis 12: Beziehungen zwischen der Beurteilung einzelner Jahre und der Anzahl gestörter Perioden (über 59 Jahre)
 Figures 3 à 12: Relation entre les aptitudes des années et le nombre des périodes perturbées (sur 59 années)





Les conditions à Sion (fig. 3) sont en majorité bien en dehors des seuils inférieurs fixés pour les jours de pluie et les quantités d'eau. Les précipitations sont en général largement insuffisantes pour assurer un développement optimum, surtout en regard des températures diurnes toujours élevées et souvent trop élevées au mois de juillet par exemple. Cette station est en classe 3 pour les céréales.

A Glaris (fig. 4) les jours de pluie et les quantités d'eau sont toujours largement en excès. Même les températures sont souvent trop basses malgré l'altitude faible. La très haute fréquence des excès de précipitations, le climat humide et frais ne permettent pas la culture des céréales dans des conditions acceptables. Cette station est en classe 5 pour les céréales, le blé en particulier.

A Lugano (fig. 5), les excès de quantité de précipitations sont fréquents au cours des 59 années considérées. Les excès sont moins marqués pour les jours de pluie. Par contre, les déficits de jours de pluie sont modérément fréquents, ce qui signifie qu'il y a des périodes de sécheresse. Ces relations s'expliquent naturellement par le fait qu'au Tessin, en général, la densité des précipitations est élevée (quantité et fréquence). C'est-à-dire que des averses généreuses tombent en peu de temps. Entre ces pluies violentes, des périodes de sec plus ou moins prononcées se manifestent. Ces conditions sont beaucoup moins défavorables pour les céréales que l'humidité persistante de Glaris, d'autant plus que les températures sont favorables, même si parfois elles sont trop élevées. Lugano se trouve finalement en classe 3 pour les céréales si l'on tient compte de tous ces facteurs et si on fait le bilan de la "qualité" des années considérées séparément.

2.3.3 Exemples: herbages

Parmi les trois exemples retenus pour les herbages, Thoune (fig. 9) est la station météorologique dont les conditions dans leur ensemble s'écartent le moins souvent des seuils fixés pour cette culture. Cette station est en classe 1.

Les données de Bâle-Binningen (fig. 7) montrent que le climat de cette zone est souvent trop sec pour la croissance herbagère. Même si les conditions de récolte sont généralement bonnes grâce à ce climat modérément séchard, le potentiel naturel de production fourragère est sérieusement diminué par rapport à des zones plus humides et possédant la même période de végétation. C'est pourquoi Bâle est finalement en classe 3 pour les herbages.

Pour Glaris (fig. 8), les excès de jours de pluie surtout sont élevés et ont une répercussion sur les conditions de récolte. Mais le rythme de production des herbages est par contre toujours assuré grâce à l'eau à disposition et aux températures modérées.

Ces caractéristiques autorisent de grosses productions de matière sèche. Par contre, il faut que les exploitations soient très bien équipées pour la récolte et le conditionnement du fourrage afin de pouvoir mettre en valeur ce haut potentiel de production herbagère. C'est pourquoi, en considérant l'ensemble de ces particularités et en faisant le décompte des années de diverses "qualités", Glaris est tout de même en classe 2 pour les herbages.

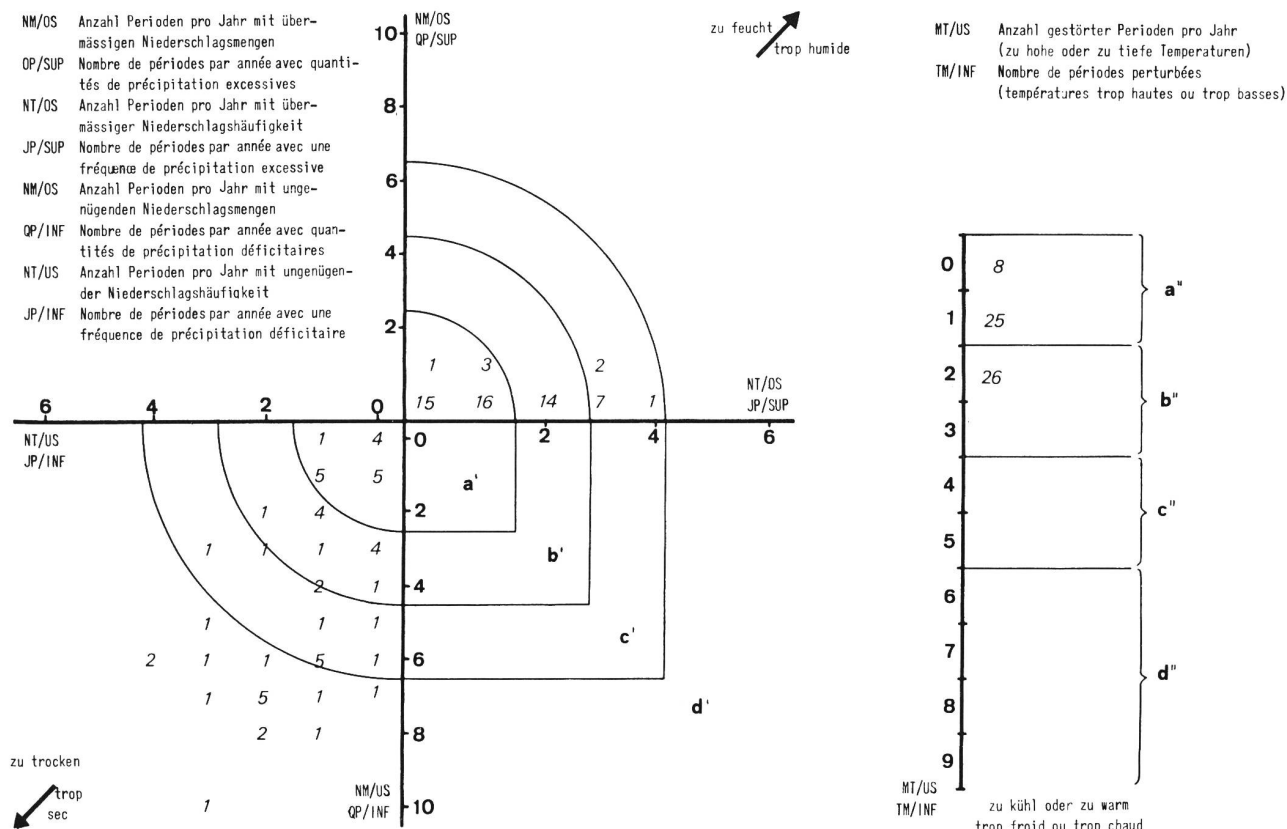


Abbildung 7: Basel-Binningen (317 m), Klasse 3 (geeignet) für Futterbau
 Figure 7: Bäile-Binningen (317 m), classe 3 (moyen) pour herbages

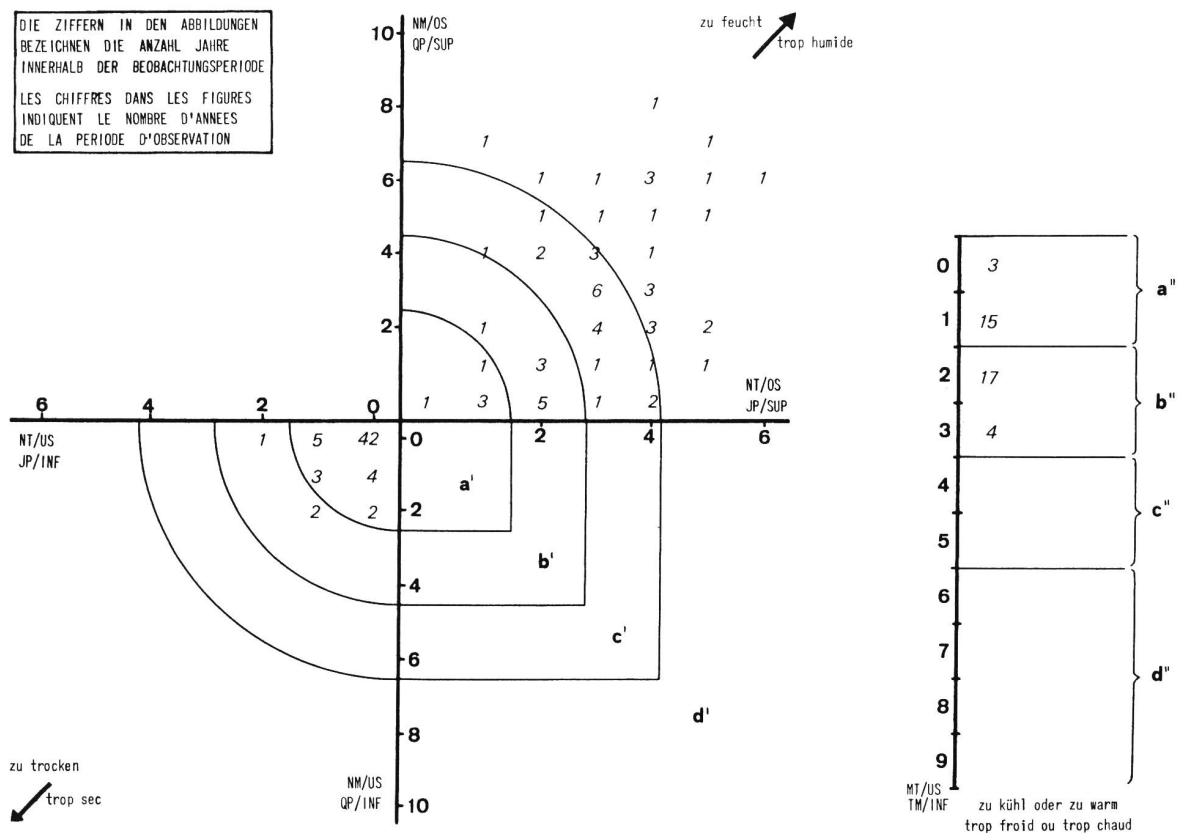
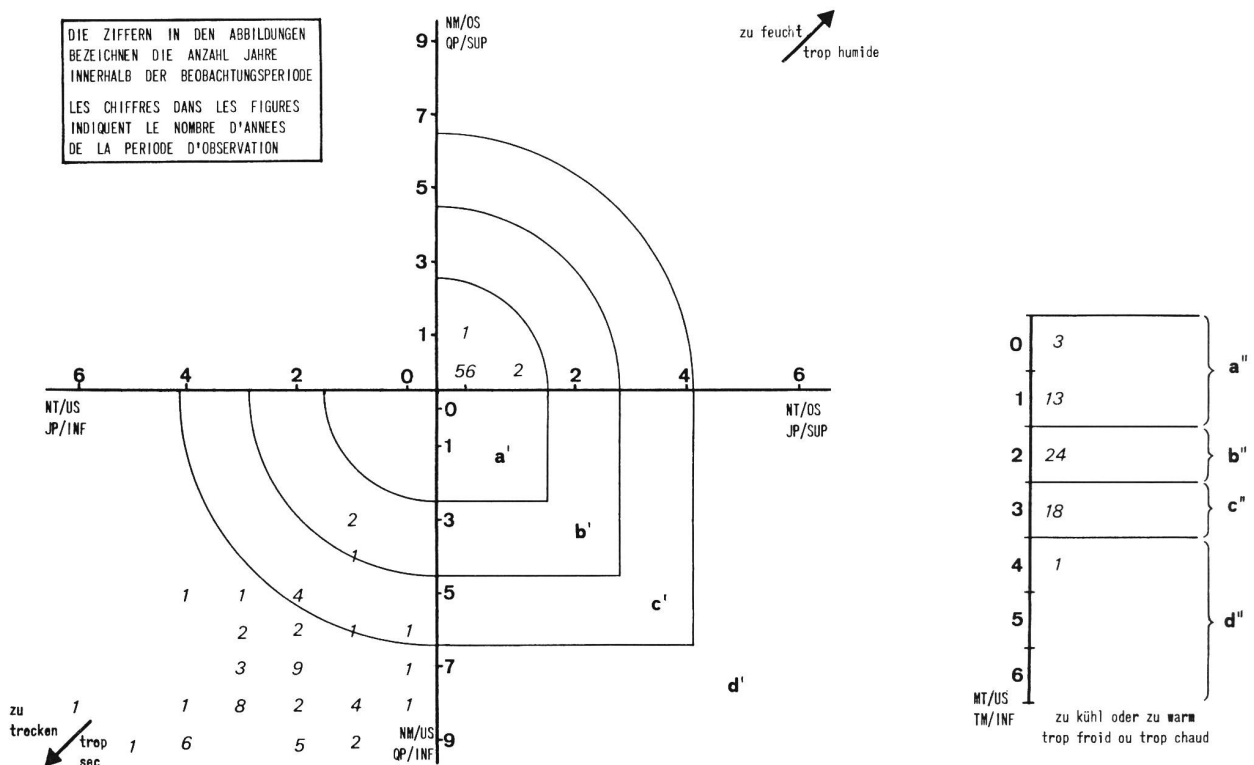
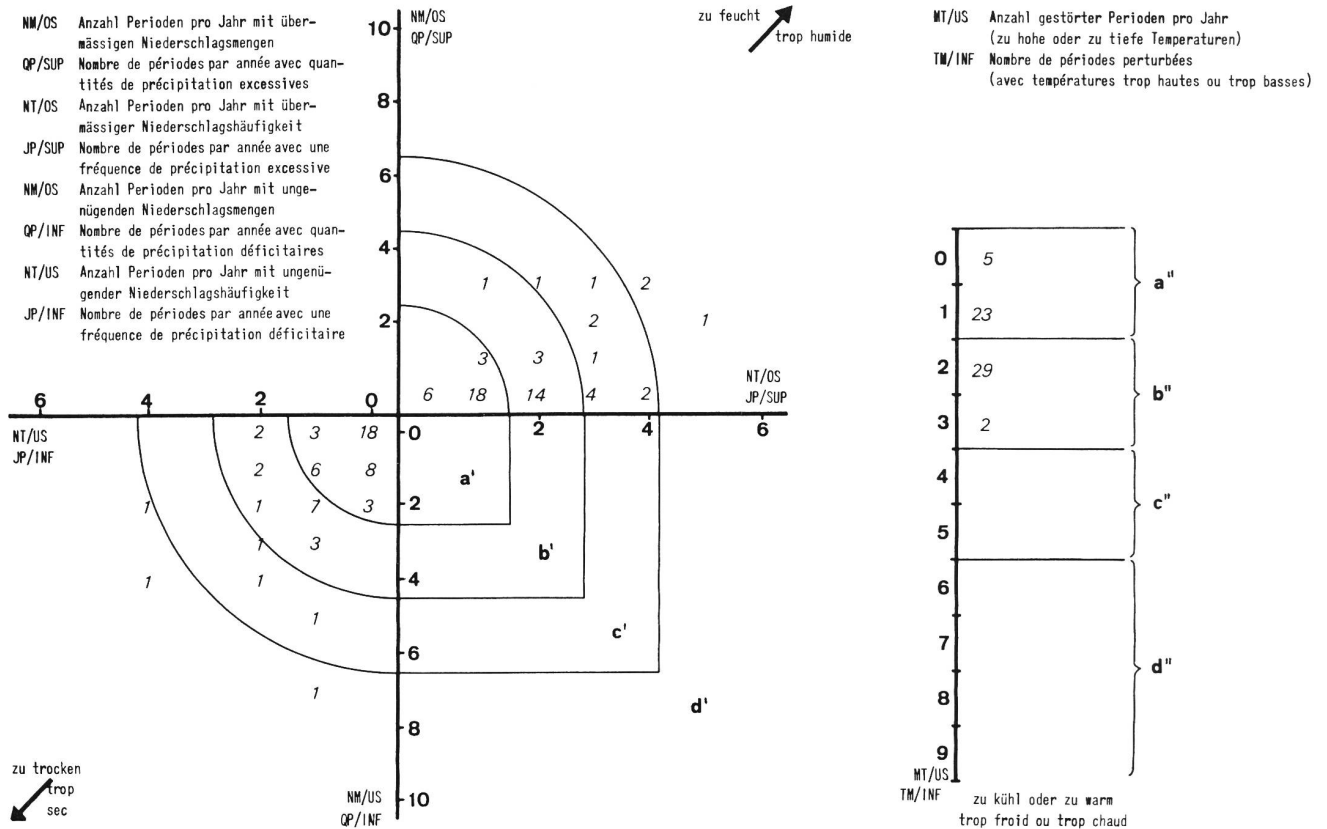


Abbildung 8: Glarus (503 m), Klasse 2 (günstig) für Futterbau
 Figure 8: Glaris (503 m), classe 2 (favorable) pour herbages



2.3.4 Exemples: Pommes de terre

Des trois stations considérées comme exemples pour les pommes de terre, Thouné (fig. 12) est celle dont les chiffres s'écartent le moins souvent des seuils fixés pour les 59 années considérées. Le régime pluviométrique équilibré et les températures modérées en été conviennent la plupart du temps à ce genre de culture. Les récoltes peuvent généralement s'effectuer dans de bonnes conditions.

A Sion par contre (fig. 10), les déficits systématiques de quantités d'eau sont défavorables à de grosses productions de tubercules commercialisables. Même avec l'arrosage, les conditions naturelles ne peuvent pas être complètement corrigées, car les températures sont souvent excessives dès le mois de juin. Des plantations précoces ne sont guère possibles non plus, car les risques de gels nocturnes sont élevés jusque tard au printemps surtout en plaine. C'est pourquoi cette station est en classe 4 pour les pommes de terre.

Pour Schaffhouse (fig. 11), les quantités d'eau apportées par les précipitations sont assez souvent déficitaires, mais une bonne répartition des jours de pluie est assurée. Les températures sont le plus souvent favorables car les maximums diurnes ne sont pas trop élevés en été. Les rendements des cultures de pommes de terre étant néanmoins très sensibles aux manques d'eau, nous avons finalement attribué cette station à la classe 3.

2.3.5 Classement des stations météorologiques

Pour les 85 stations météorologiques complètes (avec les moyennes mensuelles des quantités et des fréquences des précipitations ainsi que des températures) et importantes de notre pays, nous avons donc analysé les 59 années (1902 - 1960) séparément pour chacune des trois cultures principales (céréales, pommes de terre, herbages). La classification s'est finalement faite par culture d'après les proportions d'années jugées bonnes, moyennes, mauvaises ou inaptes pour chaque culture (voir grande légende au dos de la carte des aptitudes climatiques, tableau 3.1 à 4.3.3 JEANNERET et VAUTIER 1977b).

La figure 13 illustre schématiquement la manière dont nous avons procédé pour les céréales (blé) en prenant comme base le nombre d'années mauvaises ou inaptes pour cette culture. Nous avons intentionnellement assimilé les années inaptes aux mauvaises dans ce schéma afin de le simplifier.

Nous avons ensuite fait le même classement pour toutes les stations pluviométriques (environs 200) en nous basant sur les données à disposition relatives aux quantités d'eau et aux jours de pluie.

Pour les conditions thermiques, nous avons procédé par extrapolation d'après les stations météorologiques complètes, par région, en particulier en fonction de l'altitude et des niveaux thermiques des cartes de SCHREIBER et alii (1977).

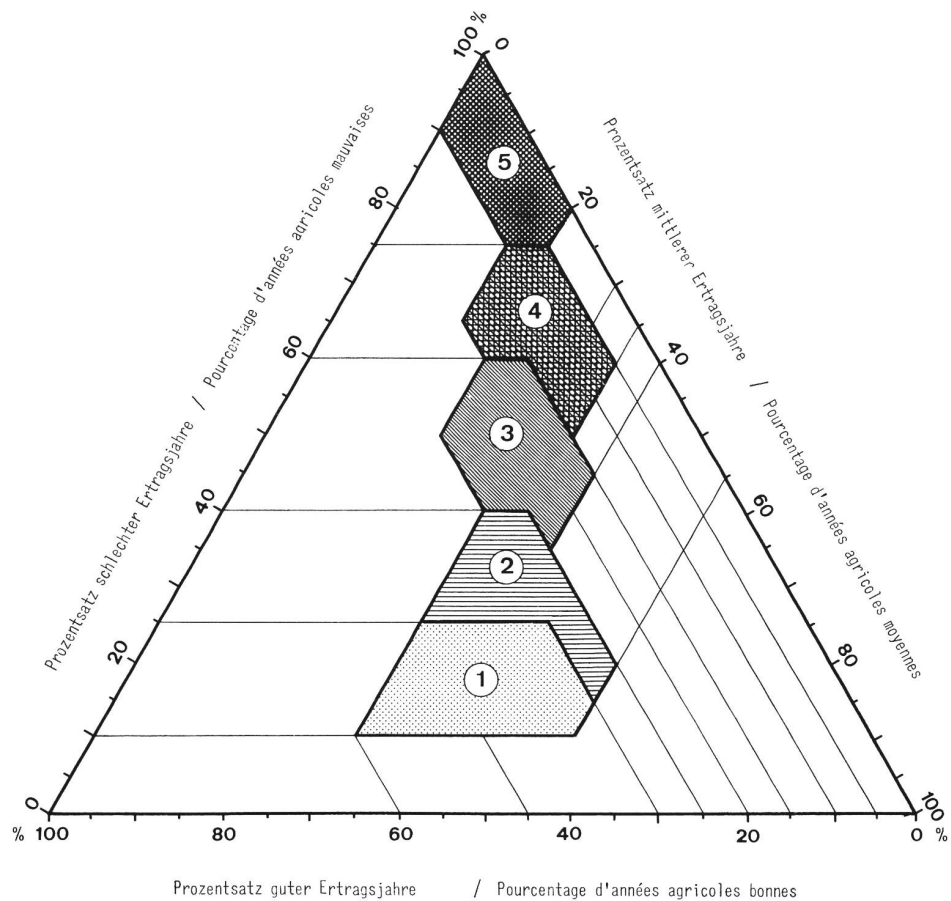


Abbildung 13: Klimaeignung für Getreide in Abhängigkeit der Häufigkeit guter, mittlerer und schlechter Ertragsjahre. Die Tabelle 2 erläutert die Eigenschaften der fünf ausgeschiedenen Klimaeignungsklassen. Siehe auch die Legende auf der Rückseite der Klimaeignungskarten (JEANNERET und VAUTIER 1977b)

Figure 13: Aptitudes climatiques pour céréales par rapport à la fréquence des années bonnes, moyennes et mauvaises. Le tableau 2 explique les propriétés des cinq classes d'aptitude désignées. Voir aussi la légende au dos des cartes d'aptitudes climatiques (JEANNERET et VAUTIER 1977b)

Tabelle 2: Klimaeignungsklassen für Getreide in Abhängigkeit guter, mittlerer und schlechter Ertragsjahre (für die Periode 1902 bis 1960, teilweise bis 1972)

Tableau 2: Classes d'aptitudes climatiques pour céréales par rapport aux années bonnes, moyennes et mauvaises (pour la période de 1902 à 1960, en partie à 1972)

Klasse Classe	Klimaeignung Aptitudes climatiques	Häufigkeit (%) / fréquence (%)		
		Gute Jahre Bonnes années	Mittlere Jahre Années moyennes	Schlechte Jahre Années mauvaises
1	sehr geeignet très favorable	30 - 60	30 - 55	10 - 25
2	günstig favorable	25 - 45	30 - 55	25 - 40
3	geeignet moyen	15 - 30	20 - 40	40 - 60
4	wenig geeignet peu favorable	5 - 20	15 - 35	60 - 75
5	begrenzt/schlecht marginal/mauvais	0 - 10	0 - 20	75 - 100

Pour les trois cultures complémentaires que nous avons considérées, c'est-à-dire le maïs-grain, les dérobées d'été et les cultures spéciales, nous n'avons pas procédé de la même manière pour établir le classement.

Nous nous sommes basés sur des travaux antérieurs pour le classement d'après les chances de maturation de différentes variétés de maïs-grain. (PRIMAULT 1972a)

Pour les dérobées d'été, nous avons tenu compte de la période de végétation.

Les régions où les récoltes des céréales sont tardives n'offrent généralement pas de bonnes possibilités de production pour des dérobées d'été car le nombre de jours de croissance est trop limité. En outre, nous avons tenu compte des risques de sécheresse estivale et automnale, car la productivité des dérobées d'été précoces, lors qu'elles souffrent du sec et de la chaleur, est restreinte même dans les zones à longue période de végétation. Les arrosages permettent néanmoins de corriger en partie le manque d'eau mais ce n'est guère rentable le plus souvent.

Pour les cultures spéciales, nous n'avons retenu que le nombre de possibilités offertes d'après les données fournies par la pratique. Une zone dans laquelle prospèrent la vigne, l'arboriculture, les cultures maraîchères etc. est évidemment plus riche que les zones où le choix est restreint. Dans notre pays, cette polyvalence est fonction du régime thermique d'une part et du régime pluviométrique d'autre part. Localement, les aptitudes diffèrent en fonction de l'exposition, de l'ensoleillement et des sols.

Les tableaux 3.4. à 3.6. de la légende détaillée au dos de la carte de synthèse (JEANNERET et VAUTIER 1977b) résument les modes de classement retenus pour ces trois genres de culture.

L'appréciation des aptitudes climatiques de chaque station du réseau étant ainsi faite pour les six genres de cultures considérés, il s'agissait de faire la synthèse de ces données pour élaborer un classement en 20 zones d'aptitudes générales pour l'agriculture en vue d'une représentation cartographique.

Les alinéas 3.4.2. et 3.4.3. résument et illustrent la manière dont les 20 zones d'aptitudes de la carte de synthèse ont été distinguées en fonction des combinaisons d'aptitudes rencontrées pour les différentes cultures dans les stations du réseau météorologique suisse.

Chaque station météorologique ou pluviométrique du réseau a en effet ses particularités propres et nous devons rassembler dans une même zone celles dont les caractéristiques peuvent être jugées équivalentes du point de vue pratique en agriculture.

3. AUSWERTUNG DES METEOROLOGISCHEN BEOBACHTUNGSMATERIALES ANALYSE DES OBSERVATIONS METEOROLOGIQUES

3.1 VORHANDENE KLIMATOLOGISCHE ARBEITEN

3.1.1 Ziele des Literaturstudiums

Für die Erarbeitung einer Klimateignungskarte für die Landwirtschaft sollten vorhandene klimatologische Arbeiten über die Schweiz oder Teile unseres Landes herangezogen werden. Damit konnten bestehende Erfahrungen und Kenntnisse über die klimatischen Verhältnisse in der Schweiz mitverarbeitet werden.

Ein erster Schritt der klimatischen Bearbeitung bestand deshalb aus der Sichtung aller auffindbaren Arbeiten über Klima und Wetter in der Schweiz, und zwar vor allem unter dem Gesichtspunkt von Raumplanung und Umweltschutz.

Die letzte umfassende Bibliographie zur schweizerischen Klimatologie stammt von BILLWILLER (1927). Dieses Verzeichnis erschien im Rahmen der "Bibliographie der Schweizerischen Landeskunde" und enthält Literatur, die bis 1920 erschien. Zur Zeit verfügt auch keine Bibliothek über einen umfassenden klimatologischen Ortskatalog.

Im Rahmen der vorliegenden Studie musste zuerst diese Lücke gefüllt werden. Es wurde eine Bibliographie zusammengestellt, die klimatologische und meteorologische Publikationen über die Schweiz von 1921 bis 1973 enthält. Dieses Verzeichnis wurde in die "Klimatologie der Schweiz" der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt eingegliedert (JEANNERET 1975b), zusammen mit einem "Ergänzungsverzeichnis über Synoptik, Wettervorhersage und Flugmeteorologie" (COURVOISIER 1975). Dieser Bibliographie wurden einige methodische Hinweise auf wichtige Arbeiten über Klimatologie und ihre Anwendungen vorausgeschickt. Diese Angaben werden durch zwei weitere Literaturübersichten ergänzt, die zu Problemen der Mesoklimatologie und der Phänologie vorliegen (JEANNERET 1970 und 1975c).

Die nachfolgenden Abschnitte erläutern die Ergebnisse des Literaturstudiums, soweit sie für das Verständnis des weiteren Vorgehens wesentlich sind.