

thèse no 7046

CONTRIBUTION A L'APPRECIATION DE L'AGE PHYSIOLOGIQUE DES
TUBERCULES DE POMMES DE TERRE (SOLANUM TUBEROSUM L.) ET
ETUDE DE SON IMPORTANCE SUR LE RENDEMENT

THESE

présentée à l'

ECOLE POLYTECHNIQUE FEDERALE ZURICH

pour l'obtention du grade de docteur
ès sciences techniques

par

WERNER REUST

Ing. agr. dipl. EPF

né le 16 mars 1946

de Steffisburg (canton de Berne)

Acceptée sur proposition
du Prof. Dr. E.R. Keller, rapporteur
du Prof. Dr. J. Nösberger, corapporteur

AVANT-PROPOS

Je tiens à exprimer ma vive gratitude à Monsieur le Professeur E.R. Keller pour la confiance qu'il m'a témoignée tout au long de ce travail ainsi que pour ses critiques constructives. Je remercie aussi Monsieur le Professeur J. Nösberger pour ses remarques pertinentes au cours de la lecture du manuscrit.

Ma reconnaissance va également au Dr. J. Münster, ancien adjoint de Direction, à Monsieur M. Rochaix, ancien Directeur et au Dr. A. Vez, Directeur de la Station fédérale de recherches agronomiques de Changins, pour leur encouragement et leur appui. Mes remerciements sincères vont au Dr. J. Aerny, de la section Technologie, pour sa collaboration dans la partie analytique du travail.

Ma profonde gratitude va au personnel technique du service Pommes de terre de Changins pour la mise en place et la récolte des essais, et particulièrement à Monsieur J.-P. Dutoit pour sa fidèle collaboration, ainsi qu'à Madame G. Bolle pour l'élaboration finale des figures et la dactylographie.

TABLE DES MATIERES	Page
I. Introduction	1
1. Généralités	1
2. Description de l'âge physiologique	1
3. Importance de l'âge physiologique	2
4. But du travail	3
II. Revue de la littérature	4
1. Age physiologique des tubercules	4
1.1 Définition de l'âge physiologique	4
1.1.1 Définition générale du terme	4
1.1.2 La dormance ou le repos végétatif du tubercule	6
1.2 Influence de différents facteurs sur la dormance ou le repos végétatif	10
1.2.1 Influence des conditions de croissance sur la période de dormance	10
1.2.2 Influence des techniques de cultures	11
1.2.2.1 Epoque de plantation	11
1.2.2.2 Profondeur de plantation	13
1.2.2.3 Epoque de récolte	13
1.2.2.4 Fumure	14
1.2.2.5 Influence des contaminations virales	14
1.2.3 Influence des conditions de conservation et évolution biochimique dans le tubercule	15

1.3 La période d'incubation	17
1.3.1 Influence des conditions de croissance	18
1.3.2 Influence des techniques de culture	19
1.3.3 Influence des conditions de conservation et de prégermination	20
1.3.4 Evolution de quelques substances indicatrices de l'âge physiologique	24
III. Partie expérimentale	27
1. Matériel et méthodes expérimentales	27
1.1 Sol	27
1.2 Conditions météorologiques	27
2. Détermination des périodes de dormance et d'incubation	35
2.1 Plan d'essai et méthodes	35
2.2 Essais localisés dans différentes régions de Suisse romande 1976 - 1978	36
2.3 Période de dormance	39
2.4 Période d'incubation	41
2.5 Essai en chambres de croissance	41
2.6 Méthode d'analyse du saccharose, des acides citrique et malique dans les tubercules	42
2.7 Essai comparatif de plants d'âge physiologique différent avec les variétés de l'assortiment suisse 1977 - 1979	43
3. Résultats	45
3.1 Effet de différents facteurs sur la dormance et l'incubation	45
3.1.1 Influence de la variété sur la dormance et l'incubation	45

3.1.2	Effet de la provenance et de l'année de production sur la dormance et l'incubation	47
3.1.2.1	Effet de la provenance	47
3.1.2.2	Effet de l'année	50
3.1.3	Influence de la date de récolte sur la dormance et l'incubation	51
3.1.4	Influence des températures de croissance sur la dormance et l'incubation	53
3.1.5	Influence des températures de conservation sur la dormance et l'incubation	53
3.1.6	Influence du calibre du plant sur la dormance et l'incubation	55
3.1.7	Influence des viroses sur la dormance et l'incubation	58
3.2	Evolution des germes pendant la période d'incubation	61
3.3	Evolution du saccharose, des acides citrique et malique dans les tubercules pendant la conservation	62
3.4	Etude du comportement des variétés de l'assortiment suisse au vieillissement	67
3.4.1	Période d'incubation des variétés de pommes de terre de l'assortiment suisse	69
3.4.2	Relation entre la période d'incubation, la masse de germes produite par les plants et le taux de boulage des variétés cultivées en Suisse	72
3.4.2.1	Relation entre le poids des germes et le rendement	73
3.4.2.2	Relation entre la précocité de la variété et la durée d'incubation	73

3.4.2.3	Influence de l'année et de l'âge physiologique des plants sur le rendement	75
3.4.2.4	Influence de l'âge physiologique des plants sur le calibre des tubercules à la récolte	77
3.4.2.5	Influence de l'âge physiologique des plants sur la teneur et le rendement en amidon	78
3.4.3	Prégermination des plants adaptée à la variété	81
IV.	Discussion et conclusions	83
1.	Discussion	83
2.	Conclusions	86
2.1	Appréciation de l'âge physiologique	86
2.2	Importance de l'âge physiologique	87
V.	Résumé	90
	Zusammenfassung	93
	Summary	96
VI.	Bibliographie	99

Liste des abréviations utilisées dans ce travail

S	=	variété Sirtema
B	=	variété Bintje
E	=	variété Eba
C	=	variété Cosima
C ₁	=	Changins première plantation
C ₂	=	Changins seconde plantation
F	=	Fey
Fr.	=	Frêtaz
MF	=	matière fraîche
MS	=	matière sèche
PF	=	poids frais
CV	=	coefficient de variation
PPDS	=	plus petite différence significative (cette différence est calculée sur base du test de t)
ns	=	différence non significative
ST	=	somme des températures obtenues à partir du seuil de zéro degré Celsius (0 °C)

I. INTRODUCTION

I. GENERALITES

Le rendement d'une culture de pommes de terre dépend d'un grand nombre de facteurs dont les principaux sont les conditions de croissance, le potentiel génétique, les techniques de culture, l'état sanitaire et l'âge physiologique des plants.

L'âge physiologique de la pomme de terre définit les stades du tubercule inhérents à la provenance, la technique de culture et la conservation.

Le stade physiologique du plant au moment de la plantation exerce une influence considérable sur la croissance des tiges, feuilles et tubercules, ainsi que sur la maturité des plantes (KAWAKAMI, 1975; MADEC et PERENNEC, 1959 et 1975; PERENNEC et MADEC, 1975; REUST, 1975a; HUNNIUS, 1977).

Il est de l'intérêt de chaque cultivateur qu'au moment de la plantation les tubercules aient atteint un âge physiologique optimum. Dans la pratique agricole, l'âge physiologique souhaité des plants peut être obtenu par des techniques de conservation et de prégermination adaptées à la variété (REUST, 1975b).

2. DESCRIPTION DE L'AGE PHYSIOLOGIQUE

Le tubercule de pomme de terre est une tige modifiée. dont les yeux présentent toutes les caractéristiques des bourgeons dormants.

Le germe de pomme de terre, bien que vivant uniquement aux dépens des réserves du tubercule-mère, peut se développer tout comme une plante normale, en assurant sa reproduction sexuée (floraison) et asexuée (formation de tubercules-fils). Comme MADEC et PERENNEC (1955) l'avaient déjà observé, les tubercules peuvent se former directement sur les germes, sans qu'il soit nécessaire de procéder à la plantation en terre.

Les termes utilisés pour décrire l'âge physiologique d'un tubercule sont la dormance, le stade d'incubation et le vieillissement. La phase d'incubation d'un tubercule intervient immédiatement après la levée de la dor-

mance et s'étend jusqu'à l'apparition des tubercules-fils (EMILSSON, 1949; BURTON, 1963; MADEC, 1963a).

Le comportement physiologique des tubercules est étroitement lié à la variété. Ainsi, on connaît des variétés dont les tubercules vieillissent rapidement et sont sensibles à l'égermage, tandis que d'autres sont plus tolérantes et vieillissent lentement (MADEC, 1966; ANONYME, 1977).

3. IMPORTANCE DE L'ÂGE PHYSIOLOGIQUE

Selon les estimations de KELLER (1975), environ 12% des augmentations de rendement de pommes de terre réalisées pendant les 30 dernières années en Suisse proviennent de la prégermination. Dans les pays du nord de l'Europe, avec une période de végétation plus courte, certaines variétés n'atteignent souvent pas leur maturité totale. Selon VOLDEN (1972), l'effet de la prégermination est généralement plus fortement marqué dans ces régions. VARIS et LAAKIA (1979), attribuent 25% des augmentations de rendement à cette pratique en Finlande. DAVIES et ALLABY (1971) ont observé par la prégermination une amélioration du rendement de 16-28% au Canada.

En raison de la méconnaissance des caractères physiologiques variétaux, la prégermination des plants se base généralement sur des notions très empiriques.

Des connaissances fondamentales des facteurs qui influencent le mécanisme du vieillissement physiologique des plants sont indispensables à la réalisation d'une conservation et d'une prégermination optimales.

D'autre part, si l'importance de l'âge physiologique peut être démontrée dans la pratique, l'appréciation de cet état physiologique reste encore problématique.

L'âge physiologique du tubercule joue non seulement un rôle important pour la production, mais également lors de l'utilisation culinaire ou industrielle de la pomme de terre. Les tubercules récoltés avant leur maturité physiologique ne se prêtent souvent pas pour la transformation en produits prêts à l'emploi, en raison d'un taux trop élevé de substances de poids moléculaire bas, dont entre autres, les sucres réducteurs (MÜLLER, 1975a et 1978). D'autre part, la chair des tubercules d'un âge physiologique

avancé perd de texture et absorbe beaucoup d'eau. La consistance prend alors un aspect aqueux (DAVIN, 1971).

Bien que le terme 'e maturité ne puisse pas être défini de manière générale pour la pomme de terre, il doit être avant tout considéré selon l'objectif d'utilisation des tubercules. PUTZ (1978) distingue entre maturité physiologique, maturité économique et maturité technologique. La maturité physiologique d'une culture de pommes de terre peut cependant être fortement influencée par les conditions de croissance (REUST, 1979; REUST et ESCHER, 1979).

4. BUT DU TRAVAIL

Le but de ce travail consiste dans la recherche de méthodes d'appréciation de l'âge physiologique des tubercules, et l'étude de l'influence des conditions de croissance sur les périodes de dormance et d'incubation, ceci dans l'optique d'obtenir un âge physiologique favorable des plants avant la plantation.

Quatre variétés de pommes de terre ont été cultivées dans 3 régions de Suisse romande, de 1976 à 1978. Les tubercules obtenus après une période de croissance égale pour chaque lieu sont soumis aux examens sur leur comportement physiologique.

Des substances indicatrices de l'âge physiologique (saccharose, acides citrique et malique) ont également été dosées sur les tubercules après la récolte.

Un essai comparatif comprenant les variétés de la liste officielle suisse (MÜNSTER, 1975a), avec des plants d'âge physiologique différent, a été effectué de 1977 à 1979. L'effet d'un vieillissement physiologique "inapproprié" à la variété a ainsi été mis en évidence.

II. REVUE DE LA LITTERATURE

1. AGE PHYSIOLOGIQUE DES TUBERCULES

1.1 Définition de l'âge physiologique

1.1.1 Définition générale du terme

Bien que le terme d'âge physiologique ne soit pas nouveau dans le langage scientifique relatif à la pomme de terre, des divergences importantes quant à la définition apparaissent encore dans la littérature.

Selon KAWAKAMI (1952), l'âge physiologique d'un tubercule plant est à considérer à partir de la récolte et jusqu'à la plantation. Nous pensons cependant que cette définition correspond davantage à l'âge chronologique, car elle ignore toute l'évolution pendant la croissance des tubercules.

MADEC (1958) et PERENNEC et MADEC (1960), ont défini l'âge physiologique d'un tubercule de pomme de terre de manière suivante: "conséquence d'une évolution physiologique qui se déroule selon une séquence bien définie au sein des tissus de réserve, et qui s'exprime d'une manière visible par l'influence qu'elle exerce à tout instant sur les processus de croissance et de tubérisation des germes". Cette définition entend que le tubercule est soumis à des influences de l'extérieur que nous appellerons "exogènes" pendant sa croissance.

Par la suite, plusieurs travaux ont mis en évidence que l'âge physiologique d'un tubercule est à prendre en considération à partir de sa naissance (BURTON, 1966; MADEC et PERENNEC, 1969). Depuis sa formation sur la plante, le tubercule de pomme de terre traverse plusieurs étapes de développement qui se succèdent jusqu'à la disparition du tubercule-mère.

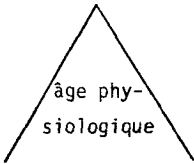
MADEC (1958) et PERENNEC et MADEC (1960) font une distinction entre les étapes suivantes:

1. Initiation sur la plante-mère
2. Entrée des bourgeons en germination, fin du repos végétatif
3. Stade de tubérisation des germes

Entre le stade 1 et 2, c'est la phase de repos des bourgeons du tubercule. Elle se situe pendant toute la période d'accroissement et un certain temps après la récolte. Entre le stade 2 et 3, c'est la phase de croissance des germes, si les conditions de milieu le permettent. Dès le stade 3 se déroule une phase de croissance très lente des germes et de formation des tubercules-fils, qui dure jusqu'à l'épuisement total du tubercule-mère.

L'âge physiologique d'un tubercule s'extériorise ainsi avec la germination. Il peut être défini par l'état physiologique du tubercule à un moment donné de sa vie (TOOSEY, 1963 et 1964; WURR, 1978a).

Dans cette idée, KRIJTHE (1962) a mesuré l'âge physiologique d'un tubercule selon la morphologie des germes pendant leur croissance. L'auteur distingue les stades de germination suivants:



1. formation d'un germe unique
2. germination multiple
3. ramification des germes
4. tubérisation sur les germes

Le vieillissement physiologique d'un tubercule se traduit généralement par une diminution de la dominance de germination apicale et par la formation d'un nombre de plus en plus élevé de germes latéraux (KAWAKAMI, 1952; MADEC et PERENNEC, 1955).

L'âge physiologique d'une pomme de terre dépend d'une part, de son âge chronologique et d'autre part, des conditions subies pendant la croissance, la récolte et la conservation. Un tubercule sera d'autant plus "âgé" que le temps écoulé à partir de sa date de formation sur la plante-mère aura été long et la température élevée (PERENNEC et MADEC, 1960).

Par son rôle dans l'induction de la tubérisation et ses conséquences sur la croissance, l'âge physiologique intervient dans la vigueur des plantes et leur productivité finale (MADEC et PERENNEC, 1975; BEAN et ALLEN, 1980).

ROZIER-VINOT (1969) a mesuré une activité photosynthétique plus élevée au début de la période de végétation sur des feuilles issues de vieux plants que sur celles issues de jeunes plants. Il semble ainsi évident que l'âge du plant exerce un sink sur l'activité photosynthétique; c'est à dire, il influence l'intensité de la photosynthèse des plantes.

Si l'importance de l'âge physiologique a été reconnue depuis fort longtemps déjà (ROZE, 1898; JOSEPH et al., 1959; ZAAG, 1972; JACOBSEN, 1972; MÜNSTER et al., 1973; MÜNSTER, 1975b; KELLER, 1975), elle reste néanmoins encore controversée par d'autres (MOORBY, 1978; BUS et SCHEPERS, 1978). Ceci résulte de la diversité des facteurs en jeu. Il est souvent bien difficile de mesurer la part qui revient à l'âge physiologique dans l'expression d'un caractère aussi complexe que le rendement et la vigueur des plantes (PERENNEC et MADEC, 1980).

1.1.2 La dormance ou le repos végétatif du tubercule

Dès sa formation, le jeune tubercule se trouve en état de repos ou de dormance et est incapable de germer, même par des conditions favorables.

BURTON (1963) définit la dormance comme une absence de croissance des bourgeons en raison d'un état physico-chimique du tubercule qui peut être influencé par un bon nombre de facteurs.

La dormance du tubercule est souvent subdivisée en deux phases suivant les chercheurs.

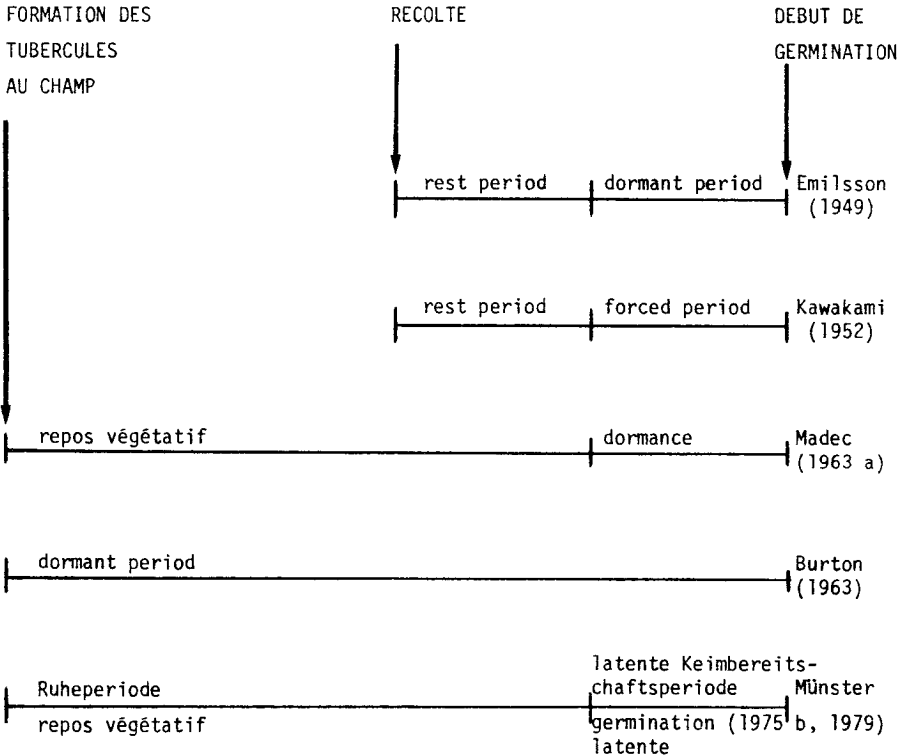
EMILSSON (1949) distingue entre:

- "Rest period" = phase suivant immédiatement la récolte, pendant laquelle le tubercule ne peut germer, même par des conditions favorables et
- "Dormant period" = phase pendant laquelle le tubercule ne germe pas à condition qu'il soit conservé dans des conditions suboptimales.

Lorsque le tubercule se trouve dans un milieu de croissance favorable, alors la "rest period" est égale à la "dormant period".

Ces deux termes anglophones ont été traduits en français par "repos végétatif" pour le premier et "dormance" pour le second (MADEC, 1963a). Une différence fondamentale de définition subsiste cependant entre les auteurs. Selon MADEC et PERENNEC (1969), il semblerait que le repos végétatif commence dès la formation des tubercules et non seulement après la récolte, comme il a été défini par EMILSSON (1949). Cette hypothèse a été confirmée par les essais effectués par les mêmes auteurs qui démontrent que des tubercules d'âge physiologique différent, obtenus par des plantations éche-

Schéma 1 : PRESENTATION SCHEMATIQUE DE LA DORMANCE SELON
DIVERS AUTEURS



lonnées, présentent un écart de fin de repos égal à celui observé entre les dates de formation des tubercules. Il semble ainsi logique de considérer la dormance du tubercule à partir de sa formation et pendant toute sa période de croissance.

D'autre part, il arrive, par des conditions de croissance extrêmes (températures élevées), que le repos végétatif soit déjà terminé avant la récolte (BURTON, 1963; MÜNSTER et REUST, 1977).

Ces dernières observations confirment également la définition du repos végétatif telle qu'elle a été proposée par MADEC et PERENNEC (1969).

KAWAKAMI (1952) subdivise la dormance en "rest period" et "forced rest period". Pendant la première période, le tubercule ne peut germer, même par des conditions optimales et pendant la "forced rest period", les tubercules se trouvent en conditions suboptimales; cette dernière correspond à la "dormant period" d'EMILSSON (1949).

La dormance ou repos végétatif est un caractère étroitement lié au génotype. Il n'y a pas de relation obligatoire entre la précocité et la durée de la dormance chez les variétés de pommes de terre (EMILSSON, 1949; BECKA, 1978). La dormance peut s'étendre de quelques semaines à deux à six mois, selon la variété et l'origine des tubercules (BURTON, 1963; MÜNSTER, 1974).

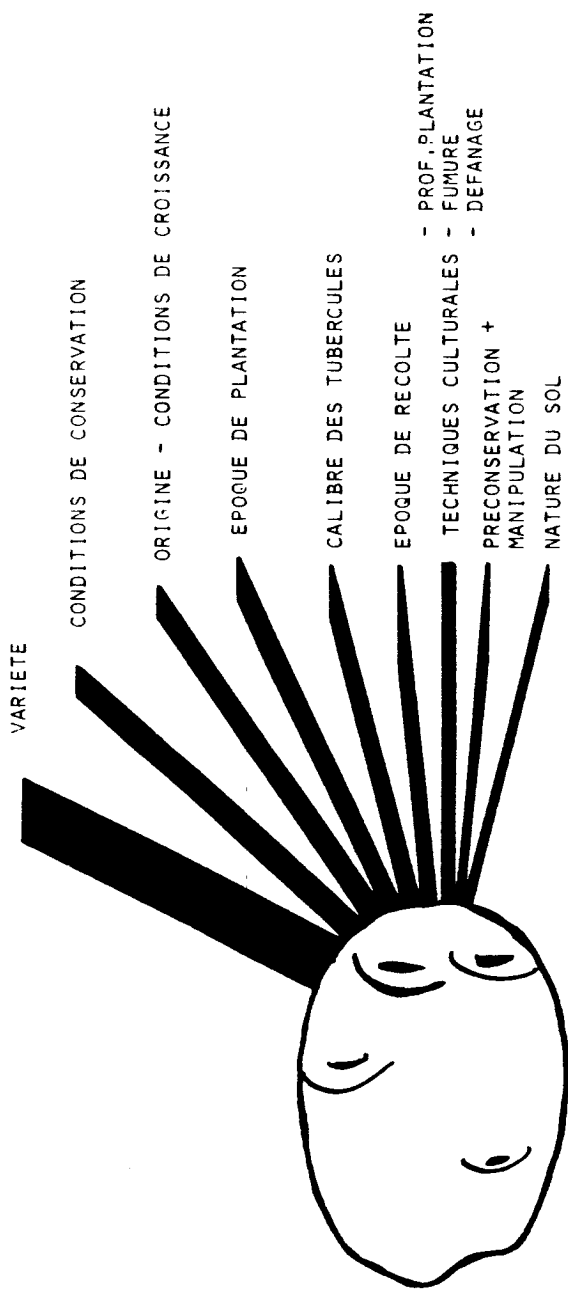
Pour caractériser les variétés selon leur durée de dormance FISCHNICH (1956) et SCHICK et KLINKOSWSKI (1961) distinguent entre (keimwillige oder hitzige Sorten) variétés à courte période de dormance et (keimungsträge oder ruhige Sorten) variétés à longue dormance. ROZTROPWICZ et WARDZYNSKA (1974) et KUBICKI (1975) classent également les variétés selon la durée, la persistance et leur capacité de prolonger la dormance par l'action des températures basses.

Afin d'éviter toute confusion de termes, nous n'utiliserons dans ce travail que la définition ci-dessous de la dormance:

Période entre la formation des tubercules jusqu'à l'apparition du premier germe. Les germes se présentent alors sous forme de petits cônes blancs de un à trois millimètres de longueur.

Cette définition est valable pour tous les tubercules conservés dans des conditions favorables à la germination; elle correspond au repos végétatif

Schéma 2 : LES PRINCIPAUX FACTEURS INFLUENÇANT LA PHYSIOLOGIE DU PLANT



selon MADEC (1963a) et à la "dormant period" selon BURTON (1963).

Il s'agit de la vraie dormance qui est liée aux facteurs endogènes du tubercule.

1.2 Influence de différents facteurs sur la dormance ou le repos végétatif

1.2.1 Influence des conditions de croissance sur la période de dormance

Les conditions de croissance, tels le sol et le climat, influencent considérablement la physiologie des plantes.

Une analyse objective de la littérature sur la dormance de la pomme de terre se heurte à maintes difficultés, en raison de nombreuses définitions discordantes du terme de la dormance.

Nous étudions ici la dormance comme nous l'avons définie ci-dessus et non celle qui peut être "induite" par des conditions de conservation suboptimales et qui est parfois appelée germination latente (MÜNSTER, 1979).

Les différences dans la période de dormance selon la provenance des tubercules peuvent avoir plusieurs origines. BURTON (1966) et GRAY (1973) ont observé que les plants de provenance d'Ecosse avaient une dormance d'une à deux semaines plus longue que ceux cultivés dans leur région plus au sud de l'Angleterre. Des observations sur l'influence de l'altitude ont été faites en Suisse par RAVUSSIN (1972) et MÜNSTER (1973). Les conditions de croissance sont parfois à l'origine de ces différences. Selon WENT (1959), les températures basses ont tendance à prolonger la dormance. En revanche, le même auteur ainsi que BODLAENDER (1972) ont observé que ces tubercules plants sont plus productifs que ceux obtenus par des températures élevées.

Nous avons également observé des écarts de durée de la dormance de 1-2 semaines selon les provenances des variétés et entre différentes altitudes (REUST, 1978a).

Les températures de croissance influencent sensiblement la dormance.

BODLAENDER *et al.* (1964) et REUST (1978b) ont démontré qu'à partir de températures du sol de 22 °C et plus, par des conditions de jours longs (juin, juillet), la dormance des tubercules en croissance pouvait être rompue chez

certaines variétés. Après une courte germination, une nouvelle génération de tubercules se formait. Ce phénomène semble également lié au stade physiologique des plantes car, paradoxalement, les plantes jeunes sont souvent plus sujettes à la germination que les plantes d'un stade de maturité plus avancé (MÜNSTER et REUST, 1977).

Le photopériodisme exerce également une influence sur la croissance et la tubérisation de la plante. La pomme de terre (Solanum tuberosum L.) est en principe une plante du type jour court pour ce qui concerne la formation des tubercules (BURTON, 1960). Cependant, il a été observé des variétés qui ont une réaction facultative ou obligatoire aux jours courts. L'époque sensible au photopériodisme semble se situer au stade de croissance de 6 à 10 feuilles (PUROHIT, 1970; MURTI et SAHA, 1975).

Selon STEINECK (1956), BODLAENDER (1958), et HEDOU (1965), chaque variété a une valeur critique de longueur du jour. Une photopériode inférieure à cette valeur critique favorise la tubérisation; si elle est supérieure, la croissance des fanes est alors avantageée.

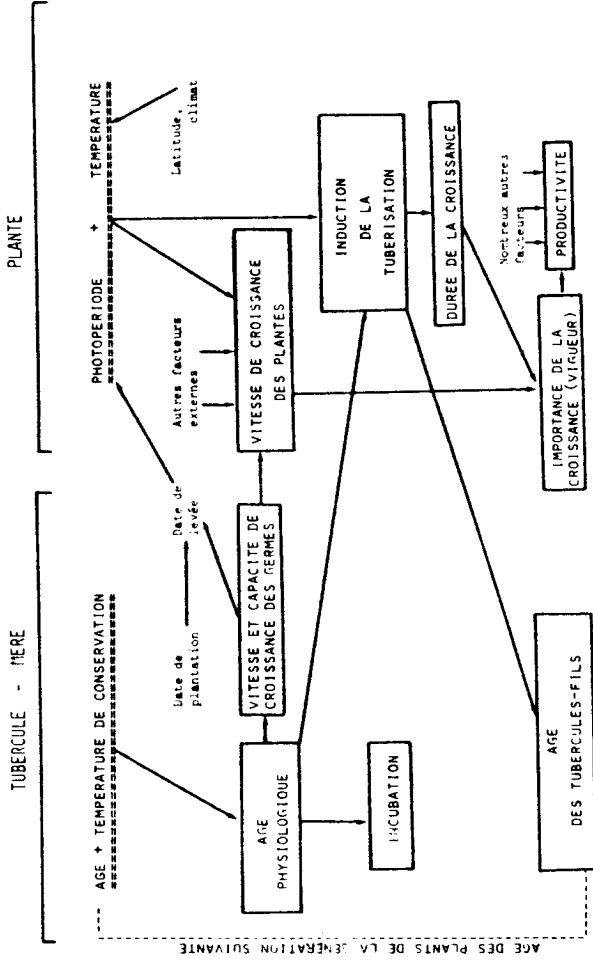
Les hypothèses de l'action de la longueur du jour sur la dormance divergent selon les auteurs. EMILSSON (1949) n'a pas observé de différence significative entre tubercules obtenus en jours longs et ceux cultivés en jours courts. En revanche, BURTON (1966) fait part d'une photopériode au-dessous du seuil critique de la plante, qui raccourcit la dormance.

Le rôle de la nature du sol sur la dormance n'a que très peu été étudié. Cependant GRAY (1973) a noté une levée plus rapide chez les plants issus d'une terre sablonneuse, comparés aux plants produits en sol argileux. Il pourrait s'agir ici d'un effet de la nature du sol sur l'âge physiologique des tubercules, en raison de milieux de croissance différents. L'humidité peut exercer une influence similaire, tout en étant souvent en relation directe avec la nature du sol. Des tubercules provenant de régions arides présentent selon YABLONSKII (1959), cité par WURR (1978b), une dormance plus courte que ceux cultivés dans les sols humides.

1.2.2 Influence des techniques de culture

1.2.2.1 Epoque de plantation

Fig. 1 : Vue schématique de l'interaction des principaux facteurs exogènes et endogènes au cours du cycle végétatif de la pomme de terre (encadré = facteurs ou réactions endogènes, souligné = facteurs exogènes (D'après Madec et Perennec 1962))



Parmi les techniques de culture capables d'influencer la dormance des tubercules, la date de plantation semble avoir l'effet le plus marqué. Des plantations échelonnées permettent en effet d'obtenir des tubercules d'un âge chronologique et physiologique différent.

Cette technique est appliquée dans certaines régions de production du plant. En Bretagne par exemple, la date de plantation est retardée à fin avril-début mai, afin de reporter la dormance des tubercules jusqu'au début de l'hiver. Ceci est indispensable, en raison des mauvaises conditions de conservation inhérentes au climat maritime (HEDOU, 1965).

Des observations semblables ont été faites dans d'autres régions telles l'Angleterre (WURR, 1978a), le Japon (KAWAKAMI, 1972) et en Tunisie (BEN KHEDER, 1980).

1.2.2.2 Profondeur de plantation

La profondeur de plantation dans les limites de 5 à 10 cm ne semble pas influencer la levée de la dormance. En revanche, selon BURTON (1963), une fois la dormance levée, la croissance des germes serait plus rapide sur les tubercules plantés superficiellement.

1.2.2.3 Epoque de récolte

Une théorie répandue dans la pratique prétend que les pommes de terre défanées et récoltées hâtivement présentent une dormance plus courte que celles défanées et récoltées peu avant la maturité physiologique des plantes (KRIJTHE, 1958; BRUINSMA et SWART, 1970; MÜNSTER et CORNU, 1973; O'BRIEN et ALLEN, 1975; HUTCHINSON, 1978).

Nous pensons qu'il s'agit là surtout de l'effet récolte qui provoque un changement brusque du milieu dans lequel se trouve le tubercule, étant donné que la définition de la maturité de la pomme de terre reste encore très relative selon PUTZ (1978).

D'autres travaux ont mis en évidence qu'en arrachant les fanes à différents intervalles tout en maintenant la récolte des tubercules à une même date, que la dormance était levée sensiblement en même temps, indépendamment des

procédés (EMILSSON, 1949; BURTON, 1963).

1.2.2.4 Fumure

Bien que de nombreux travaux aient été publiés sur la fumure de la pomme de terre, en relation avec le rendement, les résultats sont plutôt controversés quant à l'influence des différents éléments sur la dormance. EMILSSON (1949) n'a noté aucun effet des fertilisants sur la période de dormance des tubercules, bien qu'il y ait une modification dans la composition chimique de la pomme de terre. En revanche, WALKER (1968) et THOW (1970), cités par WURR (1978b), ont observé qu'un apport élevé d'azote accélère la croissance des germes sur les pommes de terre récoltées avant leur maturité complète. Selon SCHEPERS et al. (1969), un apport élevé d'azote permet de doubler le taux de protéine brute et même de quadrupler celui du nitrate (NO_3) des tubercules, mais en revanche, le nombre de germes est plutôt bas.

Un apport discontinu d'azote aux plantes peut provoquer l'arrêt de la croissance des tubercules et induire leur germination dans le sol, ainsi que la formation d'une seconde génération (LUGT et al., 1964; KRAUSS, 1977 et 1978).

GRAY (1974) pense que l'effet de l'azote doit être attribué principalement à son action de retarder la maturité des tubercules, ce qui influence considérablement leur âge physiologique.

En revanche, le phosphore accélère la maturité des plantes et augmente la force germinative des tubercules (KELLER, 1970).

Quant à la potasse, il existerait, selon WALKER (1968), cité par WURR (1978), une relation entre cet élément et la précocité de la germination.

1.2.2.5 Influence des contaminations virales

Le virus en tant que particule associée au végétal peut considérablement entraver le métabolisme physiologique de la plante. Les effets des virus sur la croissance et la formation du rendement sont bien connus dans la pratique; leur action sur le métabolisme de la dormance l'est par contre beaucoup moins.

Selon EMILSSON (1949), des tubercules contaminés par les virus Y et de l'enroulement (R) ne présentent cependant pas une période de dormance différente de celle des tubercules sains.

1.2.3 Influence des conditions de conservation et évolution biochimique dans le tubercule

La conservation des pommes de terre a pour but de prolonger leur état "juvénile" tout en les soumettant à des conditions peu favorables au catabolisme des substances endogènes. Selon HILMO et BAUER (1976), ces conditions sont atteintes par des températures de 5-7 °C et une humidité relative d'environ 85%. La température est un des principaux facteurs agissant sur la dormance. Dans une étude sur 40 variétés de pommes de terre conservées entre 3 °C et 20 °C, SCHIPPERS (1956) a observé qu'en augmentant la température de 10 à 20 °C la dormance n'est que peu raccourcie; en revanche, un abaissement de 10 °C à 3 °C prolonge cette période de 150% !

Un brusque changement du milieu, par exemple le trempage des tubercules dans l'eau présentant un certain écart de température ou le sectionnement peuvent être responsables de la levée de la dormance (GOODWIN, 1966).

Une conservation à basse température pendant quelques jours peut également provoquer une rupture de la dormance. Le point de congélation se situe, selon les variétés, de -1 °C à -2,2 °C (BURTON, 1966).

La température a fait l'objet de plusieurs travaux comme base de mesure pour déterminer la dormance. RUDORF (1958) cite des durées de dormance de 5 à 20 semaines selon les variétés conservées à 5 °C. Des périodes de dormance de 21 à 28 semaines ont été observées par BURTON (1966) selon les variétés logées à 10 °C. Nous avons enregistré des périodes de dormance de 22-28 semaines suivant les variétés conservées à 15 °C (REUST, 1977).

La température optimale pour la croissance des germes se situe entre 13 °C et 18 °C (SHORT et SHOTTON, 1970, cités par WURR, 1978b).

Par la cumulation des températures moyennes journalières dans le sol à 10 °C, à partir de la formation des tubercules, et dans le local de conservation, FEDORETS (1977) obtient respectivement des sommes de températures de 2331-

4295 degrés jusqu'à l'apparition des germes selon les variétés examinées. Le seuil n'étant pas indiqué, on pourrait admettre qu'il a été fixé à zéro degré Celsius. L'effet conjugué de la température, de l'obscurité et d'une humidité relative supérieure à 85% favorise la germination et la formation de radicules (KRUG et PÄTZOLD, 1966).

Mis-à-part la température, l'humidité et l'obscurité, la composition du gaz ambiant dans le local de conservation agit également sur la dormance. Une réduction de l'O₂ ou un enrichissement en CO₂ permettent de raccourcir sensiblement la période de dormance des tubercules (BURTON, 1966). Une anaérobiose temporaire a un effet similaire. Selon BURTON (1966), la concentration optimale de CO₂ dans le jus de pomme de terre pour la croissance des germes est de 0,04 à 0,05 ml CO₂ par ml de jus. Ces concentrations sont obtenues à une température de conservation de 20 °C. Selon le même auteur, la stimulation de la croissance des germes par des faibles concentrations en oxygène serait liée principalement à une plus forte multiplication cellulaire.

Un autre gaz naturel, l'éthylène, exerce un double effet sur les pommes de terre. En premier lieu, il active la respiration des tubercules et raccourcit la dormance. Lorsque le traitement se prolonge sur plusieurs jours, il inhibe la croissance des germes, (RYLSKI et al., 1974), et provoque un gonflement (tubérisation) des bourgeons terminaux des germes et des stolons (CATCHPOLE et HILLMAN, 1969).

Peu d'informations existent encore sur les réactions biochimiques de la dormance. Bien qu'un grand nombre de travaux font état des changements intervenant dans les tubercules pendant la conservation, ces derniers ne sont pas nécessairement en relation avec la dormance des tubercules.

D'autre part, la relation entre l'initiation des tubercules et leur dormance n'a pas encore été l'objet d'un travail de recherche.

Selon la théorie de HEMBERG (1958), la dormance serait liée à la présence d'un acide inhibiteur de croissance apparemment identique au complexe β - inhibiteur de KEFFORD (1955) qui s'atténue rapidement après la récolte.

L'évolution des substances dans le tubercule pendant la conservation telles que la perte d'acide ascorbique et des inhibiteurs de croissance,

l'augmentation du glutathion, la diminution d'activité de la catalase et la thyrosinase contribuent à établir une balance dans les tubercules et agissent sur la dormance (MAPSON et BURTON, 1962; BURTON, 1966).

L'acide abscissique ou "dommine" se comporte comme un antagoniste des autres phytohormones. Il inhibe très fortement la croissance et semble jouer un rôle important dans le phénomène de la dormance (COLLET, 1968; REDD-BONWIENDYU, 1979). MOORE (1978) considère que l'acide abscissique est l'unique inhibiteur pouvant être considéré comme véritable hormone intervenant dans la dormance. Cependant l'effet d'un traitement hormonal et son action sur l'anatomie de la plante est encore insuffisamment connue (CUTTER, 1978). L'auteur pense que les gibbèrellines jouent un rôle important en favorisant le développement des stolons, mais paradoxalement, ces substances inhibent la formation des tubercules.

D'autre part, plusieurs substances sont capables de lever la dormance très rapidement tels la rindite, la thiourée, l'acide gibbèrellique, le bisulfite de carbone, le glutathion et les cytoquinines. Cependant, l'acide gibbèrellique stimule avant tout la croissance des germes à partir du moment où les agents qui favorisent la dormance sont suffisamment atténués (LUDWIG, 1958; MADEC et PERENNEC, 1969; BRUINSMA et SWART, 1970; MÜNSTER et CORNU, 1973; STADEN et DIMAILA, 1978).

1.3 La période d'incubation

La période d'incubation de la pomme de terre s'étend de l'apparition des germes jusqu'à la formation des ébauches de tubercules sur les germes. Le stade d'incubation d'un tubercule dépend du degré d'évolution durant cette période (MADEC et PERENNEC, 1955; CLAVER, 1961).

CLAVER (1973) considère que le tubercule arrive au terme de sa période d'incubation lorsque les bourgeons des germes ou les stolons forment de petits tubercules d'environ 3 mm de diamètre.

Le tubercule de la pomme de terre est une tige modifiée, dont les yeux présentent toutes les caractéristiques des bourgeons dormants. Le germe se développe à partir des bourgeons, il peut poursuivre toute son évolution (floraison, tubérisation et maturité), en ne dépendant que des réserves du

tubercule-mère et traduit ainsi l'évolution physiologique du tubercule. CLAVER (1971) a même obtenu 4 générations de tubercules à l'obscurité sans formation de feuilles ni photosynthèse !

La période d'incubation est en étroite relation avec la variété et comme pour la dormance, il n'y a pas de relation entre la précocité d'une variété et la durée de la période d'incubation (MADEC et PERENNEC, 1955; REUST, 1975b).

La morphologie des germes permet, comme nous l'avons vu antérieurement dans ce travail, de définir approximativement le stade physiologique des tubercules. La rapidité de ce développement physiologique est étroitement liée aux facteurs physiques du milieu (MADEC et PERENNEC, 1955).

Le degré d'incubation d'un tubercule détermine finalement la capacité de production d'une plante.

Le tubercule étant un organe bipolaire, c'est sur la couronne qu'apparaît le premier germe; ce phénomène est couramment appelé "germination apicale". On pourrait ainsi émettre l'hypothèse que le stade physiologique n'est pas le même sur tout le tubercule. CLAVER (1972) a démontré, en coupant un tubercule transversalement, que la partie apicale présentait une phase d'incubation plus courte que la partie basale. Le rendement en plein champ a été supérieur pour les cultures issues de la partie apicale des plants à celles issues de la partie basale. Le nombre de bourgeons formés sur les deux parties du tubercule n'étant pas égal, le rendement peut également subir une influence par un peuplement de tiges différent.

Lorsque le tubercule a atteint un stade d'incubation trop avancé, il ne parvient plus à émettre des tiges; c'est le phénomène du boulage qui apparaît. Le plant, au lieu de lever, produit des tubercules-fils. Cette manifestation est étroitement dépendante des conditions de milieu après la plantation (MADEC, 1956).

1.3.1 Influence des conditions de croissance

L'âge physiologique des tubercules est largement influencé par les conditions de croissance. La capacité de production d'un clone de pomme de terre dépend de son âge physiologique. CLAVER et al. (1957) et CLAVER (1964)

ont observé un retard dans la tubérisation et une diminution de rendement de plus de 50% sur des cultures issues de plants cultivés à une température d'environ 35 °C, comparativement aux plants obtenus à 8 °C environ !

Des observations semblables ont été faites par SCARAMELLA (1959 et 1963), KOSLOWSKA (1960) et CARLS et CAESAR (1979) sur des plants de provenance de régions élevées, qui sont généralement plus productifs que ceux des régions basses. Cet effet est attribué à une sénescence plus rapide des plantes par les températures élevées, et à une influence directe sur le stade d'incubation (CLAVER, 1973).

WENT (1959) avance l'hypothèse d'une substance de tubérisation qui est produite en plus grande quantité par les basses températures. L'auteur a observé une productivité supérieure, même pendant 2 générations, sur des plants provenant de régions à basse température.

Bien qu'il soit en étroite relation avec l'incubation, le processus de la formation des tubercules n'est actuellement pas encore bien connu. On a longtemps admis que la tubérisation était le résultat d'une symbiose entre la plante et des champignons du type des mycorhizes (BERNARD, 1901; BERTIN, 1949). Cette hypothèse a cependant été infirmée par YOUNG (1958) et CLAVER *et al.*, cités par MADEC (1963b), qui ont obtenus une tubérisation sur des plantes cultivées en un milieu stérile. D'autre part, il est souvent question d'une substance de tubérisation venant des organes de perception, feuillage ou tubercule-mère, et synthétisée à l'endroit de la formation des tubercules (MADEC et PERENNEC, 1962; PERENNEC, 1966; CLAVER, 1975; MADEC, 1978). Cette théorie ne fait cependant pas l'unanimité des chercheurs; TIZIO (1966), OKAZAWA (1967), RACCA et TIZIO (1968), LANGUILLE (1969), HOLST (1971), TIZIO et MANESCHI (1974), HAMMES et NEL (1975), PARROT (1975) pensent que la formation des tubercules est contrôlée par un équilibre qui s'établit entre les gibbèrellines et les antigibbèrellines tel l'acide abscissique. D'autre part, les cytoquinines ne peuvent pas être considérées comme facteur spécifique de la tubérisation (TIZIO et BIAIN, 1974).

1.3.2 Influence des techniques de culture

Les facteurs qui agissent sur la période de dormance, soit la date de plan-

tation, la localisation des tubercules dans le sol, la fumure, influencent également l'âge physiologique des tubercules (cf. chapitre 1.2.2).

1.3.3 Influence des conditions de conservation et de prégermination

Les conditions de conservation et plus particulièrement la température exercent une influence déterminante sur la rapidité du vieillissement physiologique des tubercules. La durée de la phase d'incubation est réduite proportionnellement à l'élévation de la température dans les limites de 2-20 °C (MADEC, 1963b).

O'BRIEN et ALLEN (1981) ont observé une bonne relation entre la croissance des germes, le rendement, et la somme des températures journalières au-dessus de 4 °C, pendant la conservation des plants.

Les conditions de températures optimales pour le vieillissement des tubercules se situent entre 15,2 °C et 18,7 °C, avec un taux d'humidité de l'air très élevé (CLAVER, 1951).

La phase d'incubation est prolongée par la lumière continue (MADEC et PERENNEC, 1955). En revanche, quelques cycles de lumière naturelle durant 10 heures, sur une période n'excédant pas 30 jours, ont un effet inverse (CLAVER, 1953).

RUDORF et RIMPAU (1963) ont démontré que le germe de pomme de terre était capable de percevoir l'effet des photo-et thermopériodes comme une plante normale. L'exposition des plants à 24 cycles de lumière de 10 à 18 heures et à une température de 14 à 18 °C a permis d'augmenter le rendement et le nombre de tubercules.

Un égermage prolonge la phase d'incubation mais n'interrompt pas le processus de vieillissement des tubercules.

L'âge physiologique optimal du plant est obtenu par la prégermination. Cette technique aujourd'hui largement pratiquée permet d'avancer la levée et l'époque de formation des tubercules (MÜNSTER et JOSEPH, 1960; MÜNSTER, 1970; REUST et MÜNSTER, 1974; REUST, 1975b; HEDIGER, 1979). Cependant, la prégermination des plants doit être optimisée selon l'objectif de la récolte (ALLEN et al., 1979, cité par VEZ, 1979).

Afin de mieux comprendre le but de la prégermination, nous décrivons ci-après les objectifs recherchés selon le type de culture.

Type de culture et objectifs:

POMME DE TERRE PRIMEUR : La production cherche à limiter le nombre de tubercules au profit de leur grosseur et d'une extrême précocité.

POMME DE TERRE PLANT : Un nombre élevé de tubercules d'un calibre moyen et une bonne précocité, afin que le rendement soit économiquement intéressant lorsqu'intervient la destruction des fanes pour empêcher toute contamination virale.

POMME DE TERRE DE CONSOMMATION : Un nombre élevé de tubercules d'un calibre moyen à grand, sans toutefois trop dépasser le calibre supérieur.

POMME DE TERRE DESTINEE A LA TRANSFORMATION INDUSTRIELLE : Un rendement élevé en tubercules et en amidon.

Nous énumérons ci-dessous les principales techniques de prégermination telles qu'elles sont proposées dans la littérature. Cependant, l'objectif que les auteurs cherchent souvent à atteindre n'est pas nécessairement un stade d'incubation optimum mais un bon développement des germes.

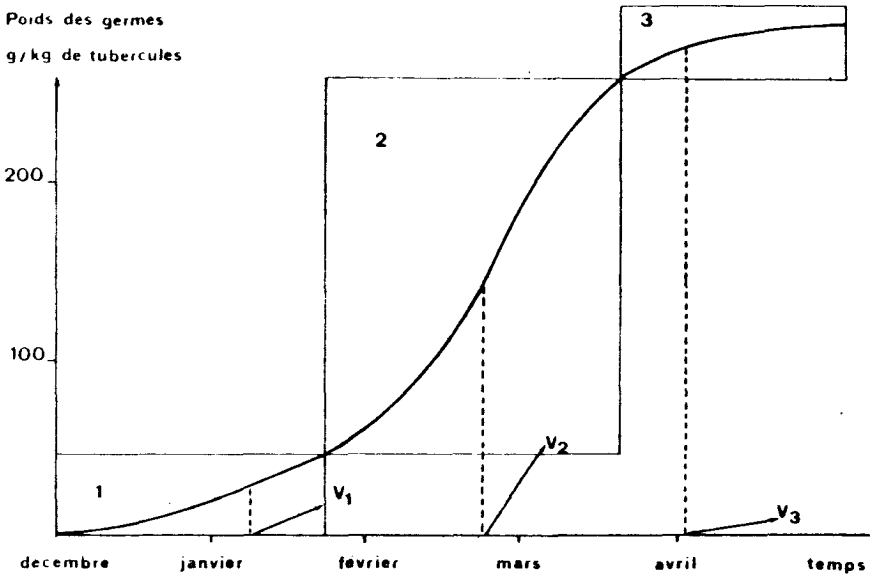
Le but recherché par la prégermination est d'amener les tubercules à un âge physiologique optimal sans dépasser le stade de croissance rapide des germes (phase 2 selon le schéma de la fig. 2).

Il n'est pas souhaitable de planter des tubercules dans les phases 1 et 3 en raison de leur lenteur de levée et de la diminution de vigueur, spécialement dans la phase 3.

Prégermination à l'obscurité

Le principe de cette méthode consiste à faire germer les pommes de terre à l'obscurité afin d'obtenir des germes blancs de 3-5 cm. Après conservation des plants à 4 °C, ils sont mis en prégermination à des températures de

Fig. 2 : Evolution des germes de pommes de terre pendant la phase d'incubation (selon Madec et Perennec 1962)



10-12 °C, peu de semaines avant la plantation. Les tubercules germés sont ensuite exposés à la lumière naturelle quelques heures avant la plantation afin d'obtenir une meilleure élasticité des germes. KOPETZ et STEINECK (1953) et EHRENDORFER (1955) prétendaient ainsi activer la levée des plantes.

Prégermination à la lumière diffuse

Cette méthode est la plus répandue. Elle est actuellement généralisée en Suisse. Il s'agit d'obtenir des germes de 1-2 cm, bien colorés, avec une bonne élasticité. Le germe devrait même résister à la plantation automatique. La température, environ 10-12 °C et la lumière doivent être judicieusement adaptées afin que les germes restent trapus, mais pas trop lignifiés (MÜNSTER et al., 1973).

Prégermination à la lumière et exposition des tubercules à l'obscurité

Les plants prégermés à la lumière diffuse sont mis à l'obscurité avant la plantation. Ce traitement permettrait selon KOPETZ et STEINECK (1953) d'atténuer l'effet inhibiteur de croissance provoqué par la lumière. La croissance des germes dans le sol ne devrait ainsi plus être soumise à une quelconque inhibition d'un type hormonal et la levée activée.

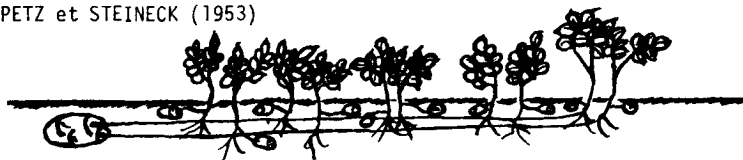
D'autres techniques de prégermination ont été développées; cependant, elles ne sont souvent pas réalisables pour des raisons d'économie du travail. Ainsi l'incision transversale du tubercule au stade de dormance proposé par KOPETZ et STEINECK (1953) permet de supprimer l'effet de dominance du germe apical et favorise la croissance des germes latéraux.

L'augmentation du rendement est attribuée au nombre plus élevé de tiges par plante.

En raison de la vulnérabilité des tubercules aux attaques parasitaires, cette technique ne peut être recommandée.

Les mêmes auteurs proposent une méthode de prégermination à l'obscurité dans le but d'obtenir des germes de 20-35 cm. Les tubercules ainsi prégermés seront suffisamment espacés à la plantation et à partir de chaque bourgeon du germe, une tige devrait se former. KELLER et LANINI (1958) ont observé que cette méthode ne présentait pas d'avantage par rapport à une prégermination à la lumière diffuse, et que la variété Eersteling répond mieux à cette pratique que la variété Bintje, par exemple. Nos essais ont démontré que la dominance de l'apex du germe inhibe généralement toute croissance des tiges latérales (REUST, 1976).

KOPETZ et STEINECK (1953)



REUST (1976)



Prégermination avec un choc de température

Cette méthode décrite par MEIJERS (1971) préconise un choc de température de 18-20 °C pendant 2-3 semaines au début de la prégermination.

Le but recherché par cette pratique répandue dans certaines régions de Suisse et à l'étranger est d'obtenir des germes bien développés et nombreux. Cette technique reste néanmoins controversée et présente souvent des difficultés au niveau de l'application (REUST et MÜNSTER, 1974). Les travaux scientifiques réalisés à ce jour ne permettent pas de démontrer la supériorité de cette pratique lorsqu'elle est comparée à une bonne prégermination à température constante de 10-12 °C. SCHMID (1975) a observé une inhibition de croissance des plantes lorsque les semenceaux sont conservés pendant une période prolongée à une température élevée. Il s'agit de l'effet d'un âge physiologique avancé des plantes. Cette technique pourrait cependant être avantageusement appliquée chez les producteurs qui ne prégerment pas, mais stimulent les plants peu avant la plantation.

1.3.4 Evolution de quelques substances indicatrices de l'âge physiologique

Comme nous l'avons cité antérieurement dans ce travail, plusieurs changements biochimiques interviennent dans le tubercule pendant la croissance et la conservation.

L'âge physiologique d'un tubercule peut être partiellement déterminé à partir de la germination selon la morphologie des germes (KRIJTHE, 1962). Des indications concrètes sur l'évolution des substances capables d'être dosées par des méthodes chimiques sont cependant souhaitables. Le germe traduit bien un changement biochimique dans le tubercule, qui a eu lieu à une certaine époque, mais ne donne pas une information simultanée.

Selon BURTON (1966), il y a dans les tubercules en conservation une perpétuelle conversion de l'amidon en sucre, et d'une forme de sucre en une autre, ainsi que du sucre en amidon. Il s'établit ainsi un équilibre entre les différentes formes d'hydrates de carbone suivant les conditions de l'environnement auxquelles sont exposés les tubercules. Une réaction individuelle et variétale des tubercules à l'environnement a également été notée.

Une augmentation du taux de matière sèche dans les germes, à partir d'un certain stade de vieillissement des tubercules, a été observée par HARTMANS et VAN ES (1981). Les auteurs pensent que l'évolution de la matière sèche dans les germes donnerait une indication sur l'âge physiologique des tubercules.

Pendant leur vieillissement, les tubercules deviennent douceâtres. Ce phénomène a été mis en évidence par une bonne corrélation entre l'accumulation de sucre et la croissance des germes (VAN VLIET et SCHRIEMER, 1963).

Dans une étude sur l'évolution de la qualité de la pomme de terre, MÜLLER (1975a) a dosé chimiquement quelques substances paraissant assez bien traduire l'activité du métabolisme du tubercule. Les principales substances sont le saccharose, les acides citrique, ascorbique, deshydroascorbique et malique. Des substances aromatiques volatiles tels le n-heptanol, 2-hexanol, octanal et nonanone donnent également des indications sur le stade physiologique des tubercules.

D'autre part, l'auteur distingue entre différentes phases du métabolisme, à partir de la maturité physiologique du tubercule. Après la récolte, l'activité est minimale pendant toute la période de dormance. Une phase à activité élevée du métabolisme intervient avec l'apparition des germes (fig. 3). Il a été observé pendant cette dernière phase une reconversion de substances à poids moléculaire bas tels les sucres et les acides aminés, à partir de l'amidon et de la protéine.

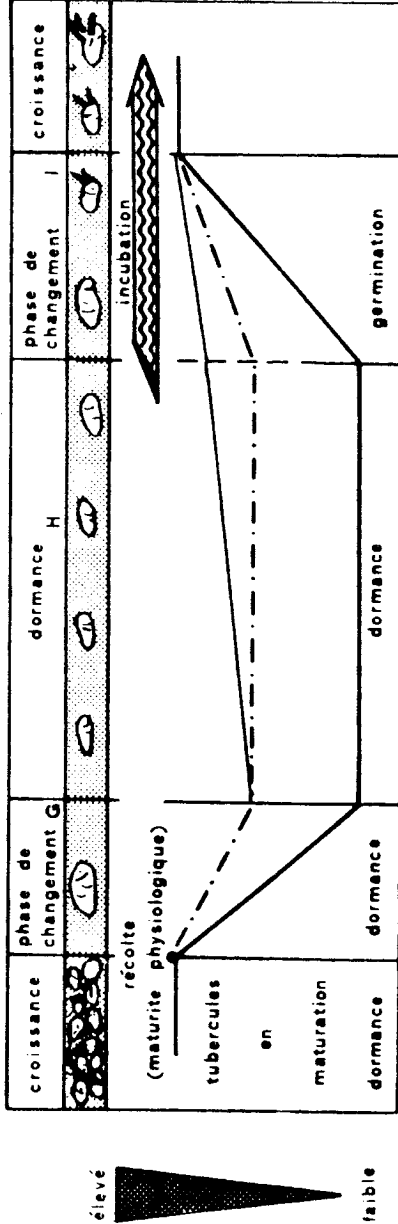
Le taux minimum de saccharose et d'acide malique sont atteints à la maturité physiologique des tubercules. Ils se stabilisent pendant la dormance et croissent subitement avec la germination (SHEKHAR et IRITANI, 1979).

La teneur en acide citrique augmente continuellement pendant la croissance. Sur des tubercules en conservation l'acide citrique diminue, tandis que l'acide malique croît.

Les sucres réducteurs glucose et fructose n'informent de l'activité du métabolisme des tubercules que sur une période limitée (MÜLLER, 1975b). Ces substances ne peuvent par conséquent être prises en considération pour définir l'âge physiologique.

L'époque des changements biochimiques ainsi que leur durée sont principalement liées à la variété comme les périodes de dormance et d'incubation.

Fig. 3 : Activité du métabolisme des tubercules à partir de leur maturité physiologique jusqu'à la germination (selon MULLER, 1975b et partiellement adapté par Reust)



- cas normal
- - - activité élevée lors d'une récolte précoce et conditions de conservation peu favorables lors de la phase de changement G
- activité du métabolisme trop élevée, par des conditions de conservation mal adaptées

III. PARTIE EXPERIMENTALE

1. MATERIEL ET METHODES EXPERIMENTALES

Pour réaliser les essais décrits dans les chapitres suivants, il a fallu préparer un matériel de départ comparable par son origine et les techniques de production.

La première phase comprenait la multiplication des variétés de pommes de terre prévues pour les essais en un même endroit, de 1975 à 1978.

En seconde phase, ces variétés ont été cultivées dans 3 régions de Suisse romande de 1976 à 1978. Les tubercules ainsi obtenus ont été examinés et leur période de dormance et d'incubation déterminées.

Comparativement à ces cultures, un essai a été installé en chambres de croissance, dans le but de mieux cerner le rôle des températures de croissance sur la physiologie des tubercules.

La troisième partie est une application pratique des résultats obtenus. Il s'agit d'un essai comprenant les variétés de pommes de terre de la liste officielle suisse (MÜNSTER, 1978), avec des plants d'âge physiologique différent. L'essai a été répété de 1977 à 1979, sur un domaine de montagne, dans le but de définir le stade d'incubation optimal des plants pour réaliser un bon rendement (schéma 3).

1.1 Sol

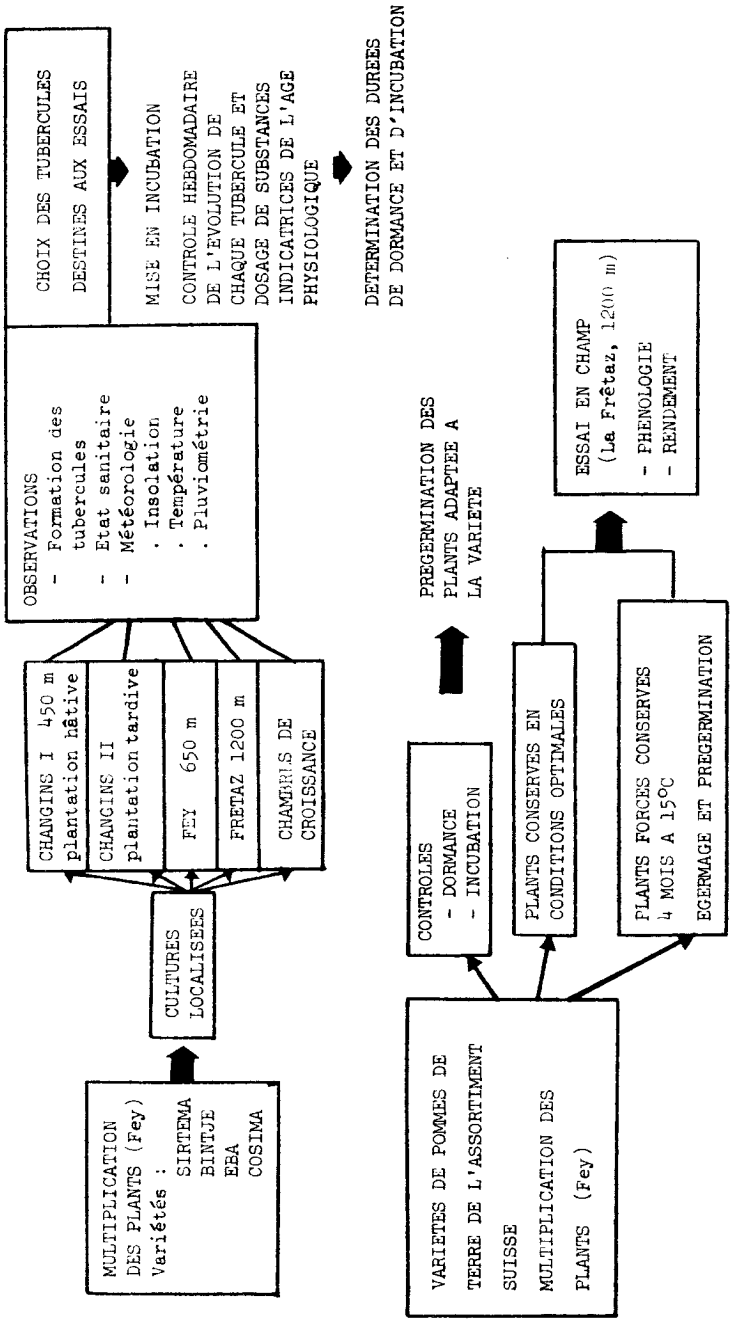
Les principales caractéristiques du sol figurent dans le tableau 1. Les échantillons de terre pour analyse ont été prélevés avant l'apport d'engrais.

1.2 Conditions météorologiques

Les conditions météorologiques sont présentées sur les figures 4 à 9.

L'insolation (sauf à Fey), les températures et les précipitations journalières ont été relevées pour les trois lieux à proximité des parcelles d'essais.

Schéma 3 : Organisation des essais 1975 - 1979



Tabl. 1 : Nature du sol et conditions de production 1976 - 1979

Lieu	CHANGINS			FEY			FRÉTAZ			
	1976	1977	1978	1976	1977	1978	1976	1977	1978	1979
Année										
pH	7,9	7,6	6,5	6,7	6,2	6,2	5,7	5,7	5,6	6,1
indice P ₂ O ₅	9,0	9,2	9,3	29,0	32,0	11,5	1,8	2,1	2,1	2,9
K ₂ O mg/100 g	2,7	1,0	2,2	2,6	3,6	1,6	1,6	2,1	3,6	2,0
matière organique %	2,3	3,3	2,5	1,9	1,9	2,3	4,5	4,5	4,5	4,5
argile %	22,8	23,0	30,6	13,3	13,3	13,9	22,0	22,0	22,0	22,0
limon %	24,0	24,0	33,5	20,5	21,7	18,0	33,0	33,0	33,0	33,0
sable %	51,0	50,5	35,8	66,2	65,0	68,0	45,0	45,0	45,0	45,0
précédent cultural	blé	maïs	blé	blé	orge	blé	prairie artifi- cielle	prairie artifi- cielle	prairie artifi- cielle	prairie artifi- cielle
fumure	paille		paille	paille	paille	paille				
fumier (q/ha)	-	-	-	-	-	-	300	400	400	400
N (kg/ha)	120	100	120	100	80	80	80	60	80	80
P ₂ O ₅ (kg/ha)	100	100	100	100	90	100	120	100	100	75
K ₂ O (kg/ha)	240	300	280	240	240	300	200	150	150	150

Fig. 4 : Conditions météorologiques Changins 1976 - 1977
(moyennes de 5 jours)

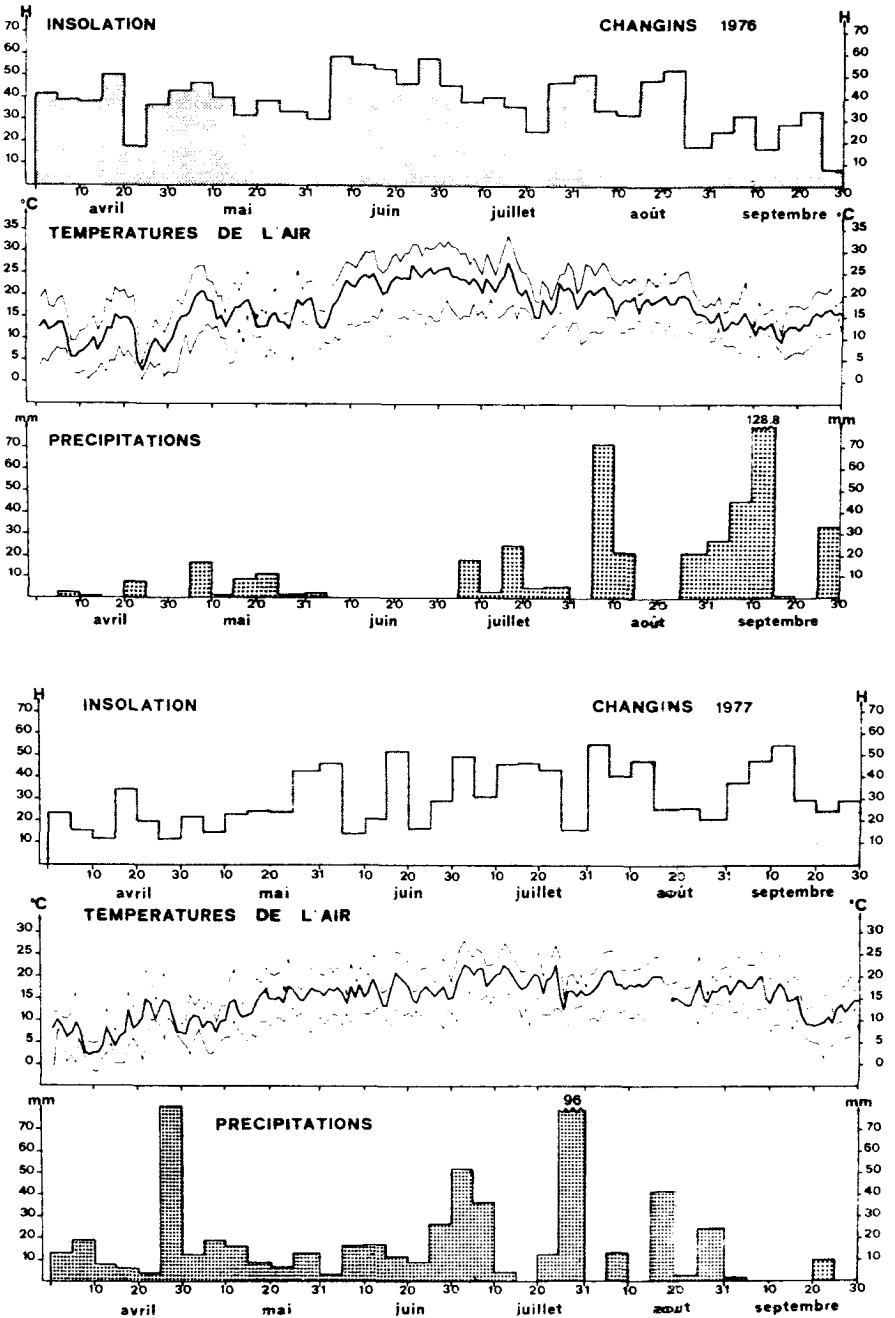


Fig. 5 - Conditions météorologiques Changins 1978
(moyennes de 5 jours)

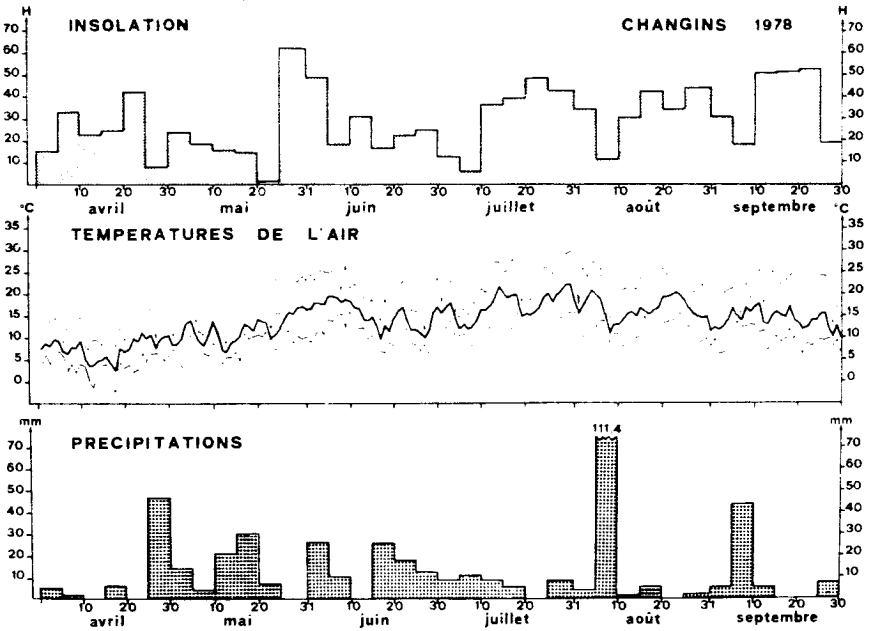


Fig. 6 - Conditions météorologiques Feys 1976 (moyennes de 5 jours)

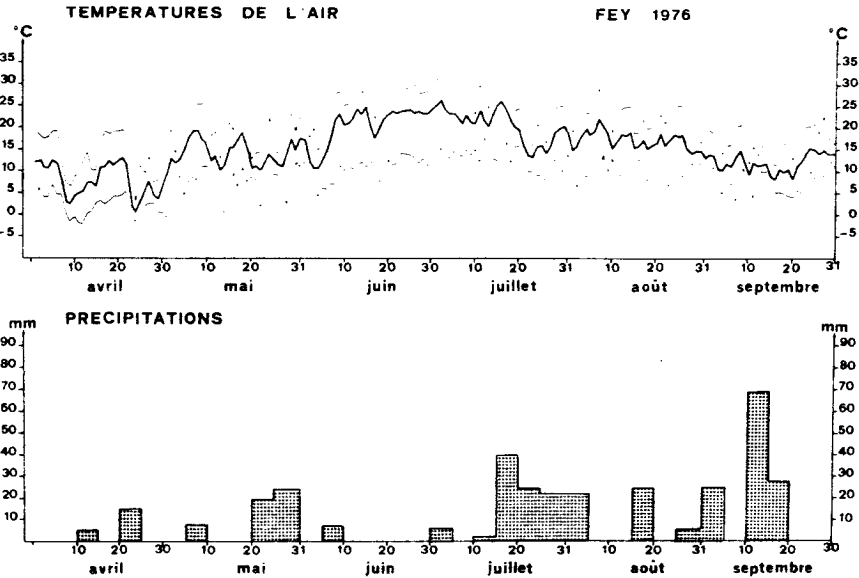


Fig. 7 - Conditions météorologiques Fey 1977 - 1978
(moyennes de 5 jours)

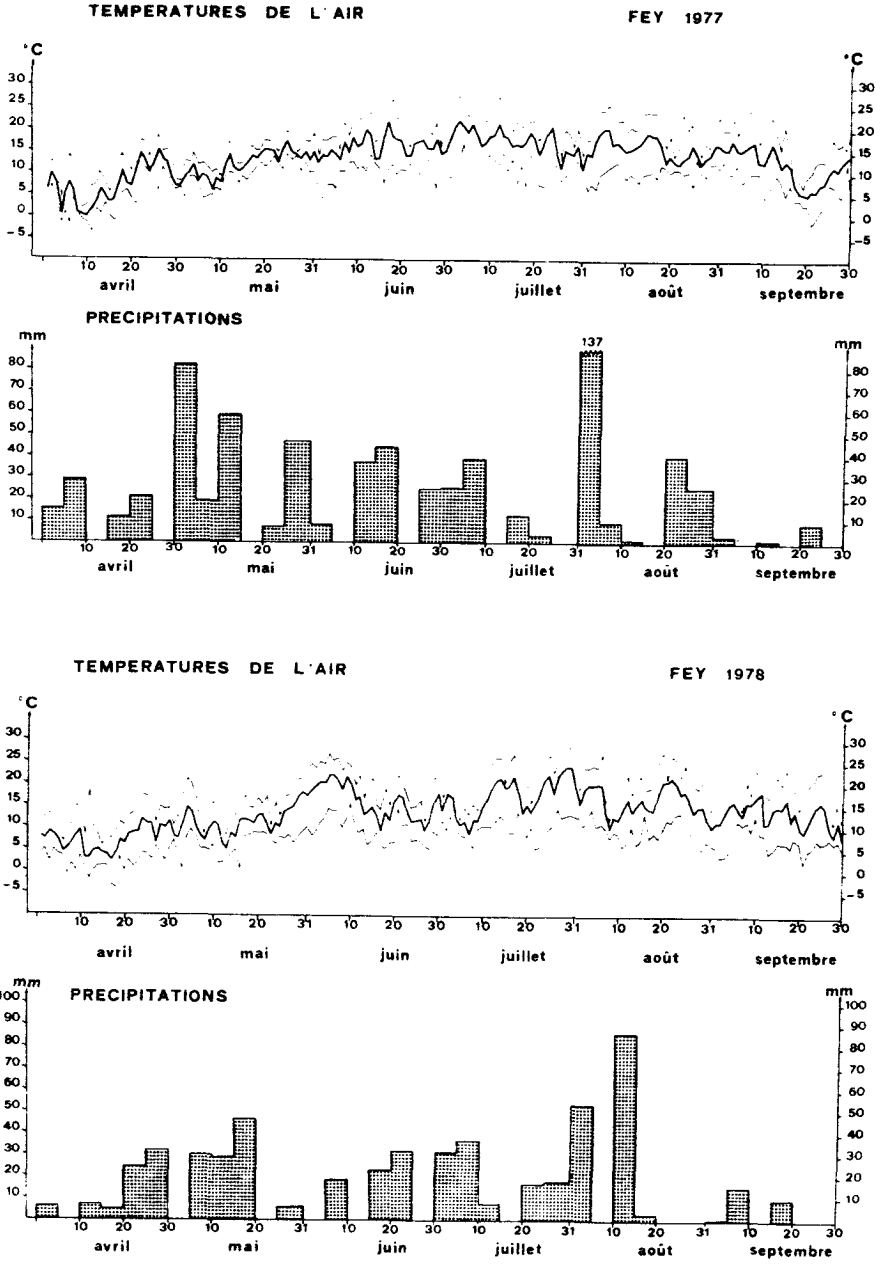


Fig. 8 - Conditions météorologiques Frétaz 1976 - 1977
(moyennes de 5 jours)

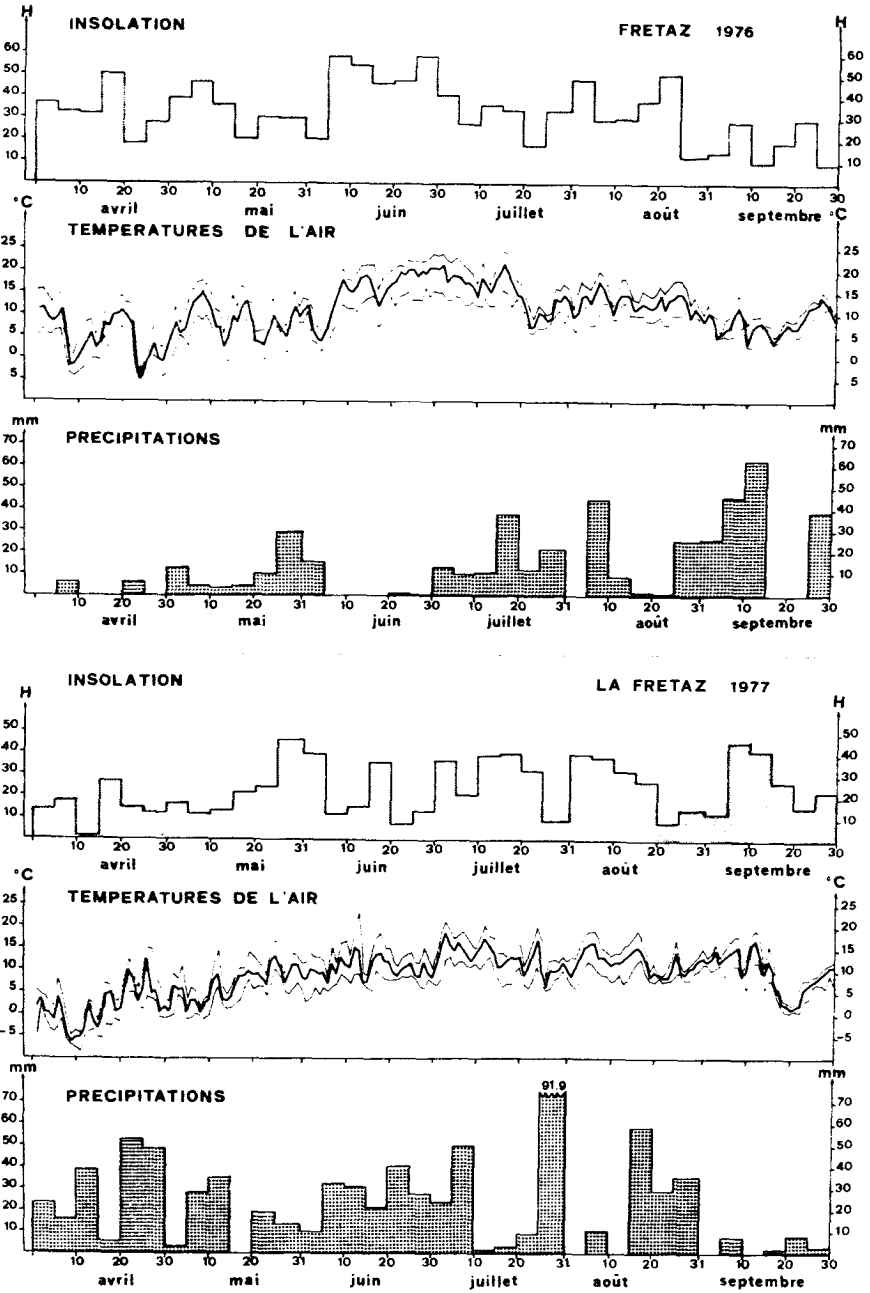
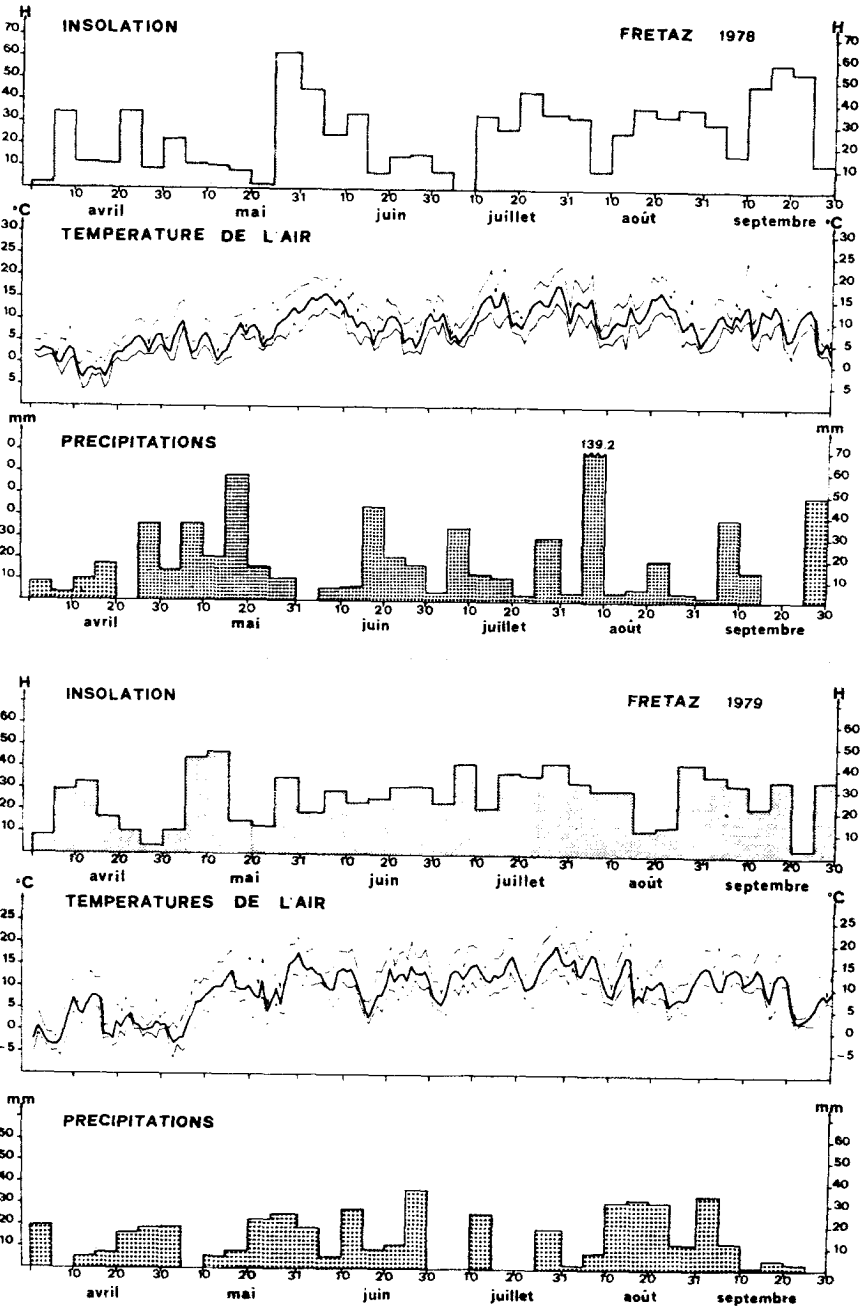


Fig. 9 - Conditions météorologiques Frêtaz 1978 - 1979
(moyennes de 5 jours)



Les mesures sont effectuées à une hauteur de 2 m au-dessus du sol. Les températures moyennes pour Changins et la Frêtaz furent calculées selon la méthode T3 qui correspond à la moyenne de 3 relevés journaliers (CALAME, 1980). Pour le lieu Fey, la température moyenne a été calculée à partir du maximum et du minimum de chaque jour. Ces deux méthodes donnent des résultats très proches, ce qui permet de comparer les moyennes.

Le seuil de température de développement de la pomme de terre n'a jamais clairement été défini et l'on peut admettre que des différences assez importantes existent entre variétés. Selon BODLAENDER (1963), il n'y aurait plus de croissance des fanes au-dessous d'une température de 8 °C. En revanche, en considérant les sommes de températures nécessaires à la croissance et à la formation des tubercules, calculées à partir de différents seuils entre 0 et 10 °C, HEDIGER (1979) a observé que l'écart type le plus faible se situait pour les seuils de températures entre 0 et 3 °C, et l'écart type le plus élevé, au seuil de développement de 10 °C !

Dans ce travail, nous tenons compte des températures à partir de zéro degré Celsius.

2. DETERMINATION DES PERIODES DE DORMANCE ET D'INCUBATION

2.1 Plan d'essai et méthodes

La multiplication des plants pour tous les essais a été réalisée sur le domaine de M. A. Jaunin, Le Nillet à Fey, 650 m d'altitude, Gros-de-Vaud. C'est une région élevée du Plateau suisse où la culture de la pomme de terre est fortement répandue. Les plantations eurent lieu à la mi-avril et les cultures ont été défanées au jour "A", date prescrite par les Stations fédérales de recherches agronomiques pour la production de plants de classe A commerciale. La période de végétation, comptée à partir de la plantation varie selon l'année d'environ 90 jours pour les variétés précoces, à 100-135 jours pour les variétés mi-tardives à tardives. Les récoltes ont été effectuées pendant la première quinzaine du mois d'août.

2.2 Essais localisés dans différentes régions de Suisse romande 1976-1978

Les variétés Sirtema (précoce), Bintje (mi-précoce), Eba (mi-tardive) et Cosima (tardive) ont été cultivées pendant 3 ans à :

- Changins, 450 m, Bassin lémanique, domaine de la Station fédérale de recherches agronomiques de Changins,
- Fey, 650 m, Gros de Vaud, domaine de M. A. Jaunin,
- La Frêtaz, Bullet, 1200 m, Jura vaudois, domaine de la Station fédérale de Changins.

Les plants provenant de Fey (schéma 3) ont été conservés à 3-4 °C à partir de la 4^{ème} semaine après la récolte jusqu'à la prégermination qui a été effectuée selon nos recommandations pour la production du plant (REUST, 1978c) soit:

- Sirtema	6 semaines
- Bintje	5 semaines
- Eba	6 semaines
- Cosima	10 semaines

La température de prégermination a été de 10-12 °C et l'humidité relative de 85%. Dès l'apparition des germes, un apport de lumière artificielle a été donné avec des néons du type Philips TL 65W/29, fournissant une intensité lumineuse d'environ 200 lux au niveau des tubercules.

Les dates de plantation et de récolte figurent sur le tableau 2, elles correspondent à celles de la pratique dans les régions respectives.

A Changins, deux essais ont été mis en place à un mois d'intervalle. Ces plantations différées ont pour but d'étudier l'effet du jour long et des températures élevées sur la tubérisation et le comportement physiologique des tubercules-fils.

Les essais ont été installés en blocs de 50 m², avec 200 plantes par variété. Il n'a pas été fait de détermination de rendement sur ces parcelles.

Les dates de récolte ont été fixées de manière à ce qu'elles correspondent

aux dates de destruction des fanes pour les plants de la classe A commerciale, à partir de 1977 (tabl. 2). La date de tubérisation a été notée pour chaque variété afin d'avoir le plus de précision pour la détermination de la période de dormance.

Ces cultures furent régulièrement épurées des plantes atteintes de viroses ou d'autres maladies.

D'autre part, les cultures de Changins ont été pulvérisées à intervalles réguliers (1 traitement tous les 10 jours) avec une solution de 3% d'huile minérale Sandoz (99% d'huile minérale + 1% d'émulsif) dans 500 l d'eau/ha. Cette pratique est actuellement appliquée dans plusieurs pays pour la production de plants de multiplication; elle a un effet de protection partielle des cultures contre les contaminations par le virus Y (QUEMENER, 1975; CORNU, 1978, 1979).

Avant la récolte, un pointage de maturité des fanes eut lieu selon le barème ci-dessous:

- Notes :
- 9 = tiges et feuilles sont vertes
 - 7 = tiges encore vertes, les feuilles commencent à jaunir
 - 5 = tiges encore vertes, la moitié des feuilles sont mortes
 - 3 = tiges commencent à jaunir, toutes les feuilles sont mortes
 - 1 = tiges et feuilles sont toutes mortes

Après la récolte, les tubercules ont été entreposés dans une chambre climatisée, à l'obscurité, à une température ambiante de 15 °C et une humidité relative de 85%.

Tabl. 2 : Dates de plantation, de récolte et nombre de jours de croissance 1976 - 1978

Lieux	Variétés	P l a n t a t i o n		R é c o l t e			J o u r s d e c r o i s s a n c e			M a t u r i t é *			
		1976	1977	1978	1976	1977	1978	1976	1977	1978	1976	1977	1978
Changins I	Sirtema	2.4	18.4	7.4	19.7	18.7	6.7	109	91	90	3	6	8
	Bintje	"	"	"	27.7	27.7	17.7	117	100	101	7	6	7
	Eba	"	"	"	16.8	17.7	17.7	137	100	101	6	7	7
	Cosima	"	"	"	16.8	8.8	26.7	137	112	110	7	7	9
Changins II	Sirtema	30.4	16.5	5.5	16.8	15.8	3.8	109	91	90	3	7	7
	Bintje	"	"	"	23.8	24.8	11.8	116	100	98	7	7	7
	Eba	"	"	"	3.9	24.8	11.8	127	100	98	7	7	8
	Cosima	"	"	"	3.9	2.9	23.8	127	109	110	7	7	9
Fey	Sirtema	13.4	21.4	14.4	29.7	21.7	13.7	107	91	93	5	7	8
	Bintje	"	"	"	2.8	2.8	24.7	111	103	104	5	7	8
	Eba	"	"	"	25.8	2.8	24.7	134	103	104	7	8	8
	Cosima	"	"	"	25.8	11.8	31.7	134	112	111	7	8	9
Frétaz	Sirtema	14.5	25.5	30.5	25.8	22.8	28.8	104	89	90	5	7	8
	Bintje	"	"	"	8.9	1.9	7.9	119	99	100	7	7	8
	Eba	"	"	"	23.9	1.9	7.9	134	99	100	7	7	8
	Cosima	"	"	"	23.9	1.9	7.9	134	99	100	7	7	8

* Maturité exprimée selon barème 1-9 : 1 = toutes les feuilles sont mortes

9 = toutes les feuilles sont encore vertes

Tabl. 3 : Poids moyens en grammes des tubercules utilisés pour la détermination des périodes de dormance et d'incubation 1976 - 1978

Variété	Année	Changins 1		Changins 2		Fey		Frêtaz	
		G ¹⁾	P ²⁾	G	P	G	P	G	P
Sirtema	1976	74	26	58	20	72	23	62	20
	1977	79	23	80	20	79	24	72	23
	1978	85	22	85	26	82	31	93	25
Bintje	1976	80	29	63	20	74	25	95	23
	1977	95	29	90	30	77	27	80	28
	1978	83	29	105	26	88	33	88	22
Eba	1976	68	21	63	22	74	29	102	16
	1977	99	34	97	30	82	34	73	30
	1978	83	25	83	27	81	32	85	24
Cosima	1976	65	21	64	19	59	25	73	35
	1977	83	25	79	24	79	23	74	25
	1978	80	23	86	25	85	28	79	27

1) G = tubercules du calibre 50 mm

2) P = tubercules du calibre 30 - 35 mm

2.3 Période de dormance

Dès la levée des cultures, nous avons prélevé trois plantes, deux fois par semaine, dans chaque variété et provenance, afin de déterminer le stade de développement des organes souterrains jusqu'à la formation des tubercules.

La date de formation des tubercules a été notée lorsque ceux-ci atteignaient la taille de petits pois (5-6 mm de diamètre). La période de dormance a été calculée à partir de cette date et jusqu'à l'apparition des germes sur les tubercules.

Les périodes de dormance et d'incubation sont exprimées en sommes de

températures (ST). Ces dernières sont obtenues par cumulation des moyennes journalières au-dessus de zéro degré, pour chaque lieu de culture. Nous pouvons ainsi faire une distinction entre ST de croissance et ST de conservation. La période de dormance d'un tubercule est le résultat de l'addition des sommes de températures de croissance et de conservation jusqu'à la germination.

Les périodes de dormance et d'incubation ont été déterminées sur 20 tubercules par variété et provenance de 1976 à 1978. Afin de mieux pouvoir cerner le comportement des pommes de terre de différents calibres, nous avons examiné des tubercules correspondant au petit calibre commercial (32-35 mm) et au calibre généralement utilisé dans la pratique (35-50 mm).

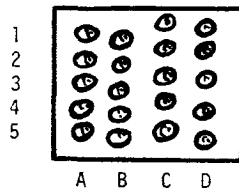
Les tubercules destinés aux examens présentaient un calibre bien défini, les petits avaient un diamètre transversal de 30-35 mm et les grands de 50 mm (tabl. 3). Chaque pomme de terre a été pesée séparément afin d'obtenir un matériel le plus homogène possible. Bien que le calibre ait été le même pour les 3 années d'observations, le volume des tubercules a présenté des variations sensibles d'une saison à l'autre en raison de leur variabilité morphologique (REUST, 1978).

Après la récolte, ces pommes de terre ont été mises pendant 3 semaines à une température de 15 °C et une humidité relative de 85%.

Cette préconservation permet aux tubercules de se cicatriser et l'épiderme durci offre une bonne protection contre toute attaque parasitaire pendant la période d'observation.

Après lavage et brossage sous l'eau à température ambiante, les tubercules sont mis dans des bacs contenant une couche de 5-7 cm de perlite ou de sable fin, régulièrement arrosé avec de l'eau du robinet.

Schéma d'un bac



Des observations hebdomadaires ont permis de noter l'apparition des premiers germes. La dormance arrive à terme lorsque 80% des tubercules présentent des germes de 1-3 mm. En général, il n'apparaît qu'un à deux germes par tubercule sur la couronne (germination apicale).

Les conditions ambiantes ont été les suivantes:

Température: 15 °C, 18 °C et 25 °C selon les locaux climatisés pour l'étude de l'effet des températures sur la dormance et l'incubation. L'humidité a été maintenue entre 85 et 90%. Pendant toute la durée de l'essai, les tubercules ont été logés à l'obscurité, exception faite du temps nécessaire aux observations hebdomadaires.

2.4 Période d'incubation

Les tubercules ont été maintenus dans les mêmes conditions que pour la détermination de la période de dormance. Des observations hebdomadaires ont été poursuivies jusqu'à l'apparition du premier tubercule-fils sur les germes ou les stolons. Cette tubérisation se caractérise par un gonflement du bourgeon terminal.

Il est important que le nouveau tubercule atteigne un diamètre distinctement supérieur à celui du stolon et du germe, car suivant la variété, ces organes peuvent aisément atteindre un diamètre de 3 mm et même davantage.

La date de l'apparition des tubercules-fils a été notée individuellement pour chaque pomme de terre en incubation.

La période d'incubation est le résultat des températures journalières cumulées à partir de la germination jusqu'à la formation des tubercules-fils. L'incubation arrive à terme lorsque le premier tubercule-fils atteint une taille supérieure au diamètre du stolon ou du germe.

2.5. Essai en chambres de croissance

Le but de cet essai était d'étudier l'influence des températures de croissance sur la période de dormance et d'incubation sous un même régime de photopériode. Il s'agissait de produire des tubercules dans

des conditions de croissance bien définies.

Plan d'essai et méthodes

L'essai a été réalisé avec les 4 variétés cultivées en plein champ, soit Sirtema, Bintje, Eba et Cosima.

La plantation a été effectuée à raison d'un tubercule par pot de 5 l et 24 pots par variété et conditions de croissance. Le substrat se composait d'un mélange de terreau stérilisé, tourbe et sable, en proportions respectives de 2 : 1 : 1.

La fumure appliquée à la plantation fut la suivante:

N : P : K = 2 : 3 : 6 g par pot, un complément d'azote sous forme de Wuxal à 0,1% a été donné en couverture à raison de 500 ml par pot.

L'arrosage était régulier selon les besoins des plantes. Une durée de végétation identique à celle des essais en plein champ a été respectée pour chaque variété.

Les essais ont été effectués dans des chambres climatisées "Weiss du type B1" décrites par KRUG et WIEBE (1972).

L'intensité lumineuse au niveau des plantes se situait à environ 25'000 lux.

L'humidité relative a été de 55-60% le jour et 80-85% la nuit.

Les 4 variétés "test" ont été cultivées sous deux conditions de températures:

chambre A = 20 °C jour, 15 °C nuit

chambre B = 16 °C jour, 10 °C nuit

La photopériode de 16 heures est égale pour les deux chambres. Les durées de végétation sont identiques à celles fixées en plein champ.

2.6 Méthode d'analyse du saccharose, des acides citrique et malique dans les tubercules

Parmi les composants de la pomme de terre, le saccharose et les acides

citrique et malique sont les métabolites qui évoluent d'une manière assez régulière pour être pris en considération comme indicateurs de l'âge physiologique d'un tubercule (MÜLLER, 1975 b).

Pour chaque analyse, un échantillon de 15 tubercules d'un calibre homogène de 50 mm est prélevée par variété. Les tubercules sont conservés dans des conditions identiques à celles de l'incubation, soit une température de 18 °C et 85-90% d'humidité relative et à l'obscurité totale.

Les tubercules sont ensuite partagés dans le sens longitudinal, deux quarts opposés sont coupés en dés, congelés à -20 °C et lyophilisés. Le résidu de la lyophilisation est moulu dans un moulin à marteaux. Les sucres et les acides organiques sont extraits de la mouture par l'eau à température ambiante (MÜLLER, 1966).

Pour le dosage du saccharose, une partie de l'extrait aqueux est clarifiée selon CARREA et, après préparation du dérivé pertriméthylsilylé, le saccharose est dosé par chromatographie en phase gazeuse en présence de phényl- β -D-glucopyranoside comme standard interne selon ZÜRCHER et al. (1975) et ZÜRCHER et HADORN (1976).

Les acides organiques sont isolés dans le solde de l'extrait par chromatographie sur colonne échangeuse d'ions (Merck III, forme acétate, élution par l'acide formique 8 N) puis, après estérification par le diazométhane, dosés par chromatographie en phase gazeuse en présence d'un acide glutarique comme standard interne. Les résultats rapportés au poids frais ont été calculés en tenant compte de la perte d'eau lors de la lyophilisation et de la teneur en eau du produit lyophilisé (AERNY, 1978).

2.7 Essai comparatif de plants d'âge physiologique différent avec les variétés de l'assortiment suisse 1977 - 1979

Les variétés de pommes de terre de l'assortiment suisse ont été multipliées à Fey (650 m). Sitôt après la récolte, les tubercules ont été mis en préconservation à 15 °C pendant 3 semaines (période de liégeage) puis logés en frigo à une température d'environ 4 °C.

Ensuite une partie des plants a été mise en incubation à 15 °C et 85-90% d'humidité relative pendant 4 mois. Après ce traitement, les tubercules

ont été égermés, avec détermination du poids des germes, puis remis en prégermination à une température de 10-12 °C avec un apport de lumière artificielle pendant 6 semaines. L'autre partie équivalente des plants, conservée à 4 °C, fut ensuite prégermée selon le plan ci-dessous:

Sirtema	5	semaines	de prégermination
Ostara	4	"	"
Prima	7	"	"
Bintje, Urgenta, Stella	5	"	"
Ulla, Eba, Avenir, Marijke, Aula	6	"	"
Désirée, Isola, Maritta, Saturna,			
Tasso	7	"	"
Cosima	8	"	"

L'essai a été mis en place sur le domaine de la Frêtaz/Bullet (1200 m). C'est une région élevée, qui présente des conditions climatiques auxquelles la pomme de terre est la seule espèce de grande culture qui convienne encore.

Cependant, dans ces régions élevées, des problèmes culturaux, tels que le boulage, peuvent apparaître sur certaines variétés dont le stade d'incubation des plants est trop avancé lors de la plantation. Le boulage se manifeste plus fréquemment dans les régions élevées que dans les régions basses où les températures sont plus favorables à la croissance (MADEC, 1956).

Le dispositif correspond à un essai en blocs avec subdivision des parcelles (split plot) et 4 répétitions de 12,5 m² chacune, dont les variétés présentent les traitements principaux, et les procédés de vieillissement des plants, les sous-traitements.

La levée a été notée sur chaque parcelle et les plants non levés ont été déterrés afin de déterminer si la déficience pouvait être attribuée au boulage ou éventuellement à un quelconque parasitisme.

La maturité des fanes a été notée avant la récolte.

Le rendement a été obtenu par pesage et calibrage de chaque répétition séparément et le taux d'amidon déterminé par la méthode densimétrique

avec la balance à lecture directe du Dr. ECKERT, Maison Sauter, Alestadt 1-Ebingen (RFA).

Les plantations et les récoltes ont été effectuées aux dates ci-après:

	plantation	récolte
1977	25 mai	23 septembre
1978	30 mai	20 septembre
1979	21 mai	19 septembre

3. RESULTATS

3.1 Effet de différents facteurs sur la dormance et l'incubation

3.1.1 Influence de la variété sur la dormance et l'incubation

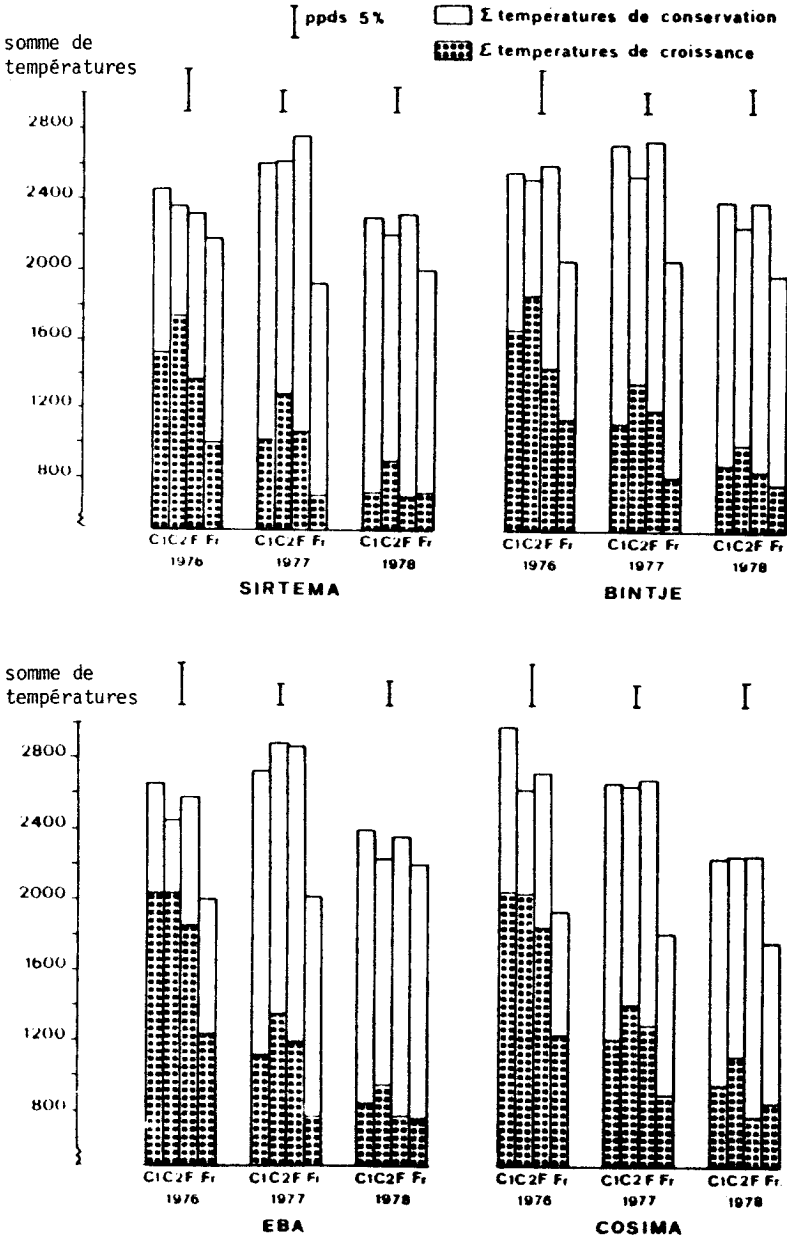
Pour les 4 variétés examinées, l'influence variétale sur la période de dormance est pratiquement négligeable. Bien que ces variétés soient toutes d'un type de précocité différent, les périodes de dormance ne diffèrent que très peu. Elles varient entre 1'800 et 2'900 degrés selon l'origine des tubercules (fig. 10).

Il s'agit cependant d'un groupe de variétés à période de dormance plutôt courtes.

En revanche, les durées d'incubation sont significativement différentes entre variétés. Les variétés Bintje (mi-précoce) et Eba (mi-tardive) présentent des durées d'incubation plutôt courtes, elles ont besoin de 2'100-2'700 degrés alors que Cosima (tardive) en demande 3'100-4'500. La variété Sirtema (précoce) occupe une position intermédiaire avec 2'700-3'450 degrés (fig. 11 et 12).

Ces résultats permettent d'affirmer qu'il n'y a pas de relation obligatoire entre la durée de dormance d'une variété et sa période d'incubation. Le mécanisme responsable de la levée de la dormance et de l'incubation n'évolue pas au même rythme chez toutes les variétés. Nous pouvons ainsi distinguer entre variétés à courte période de dormance et courte période

Fig. 10 : Influence de la provenance, de la variété et de l'année de production sur la période de dormance exprimée en somme de températures obtenues à partir du seuil de 0 °C (température de conservation 18 °C, valeurs moyennes de 20 tubercules par année et par lieu)



d'incubation (Bintje), et variétés à courte période de dormance et longue période d'incubation telle Cosima par exemple.

D'autre part, le caractère variétal semble être beaucoup plus marqué pour la période d'incubation que pour celle de la dormance.

Nous avons observé un dépérissement de l'apex des germes de certaines variétés (Ostara, Eba et parfois Bintje) qui, selon DYSON et DIGBY (1975) semble provenir d'une carence en calcium. Ce phénomène n'a cependant pas perturbé l'évolution physiologique des tubercules.

3.1.2 Effet de la provenance et de l'année de production sur la dormance et l'incubation

3.1.2.1 Effet de la provenance

La provenance des pommes de terre semble jouer un rôle déterminant sur la période de dormance.

A l'exception des variétés Sirtema 1976 et Eba 1978, nous avons observé que la dormance est significativement plus courte sur des tubercules de la Frêtaz que sur ceux de Changins et Fey (fig. 10).

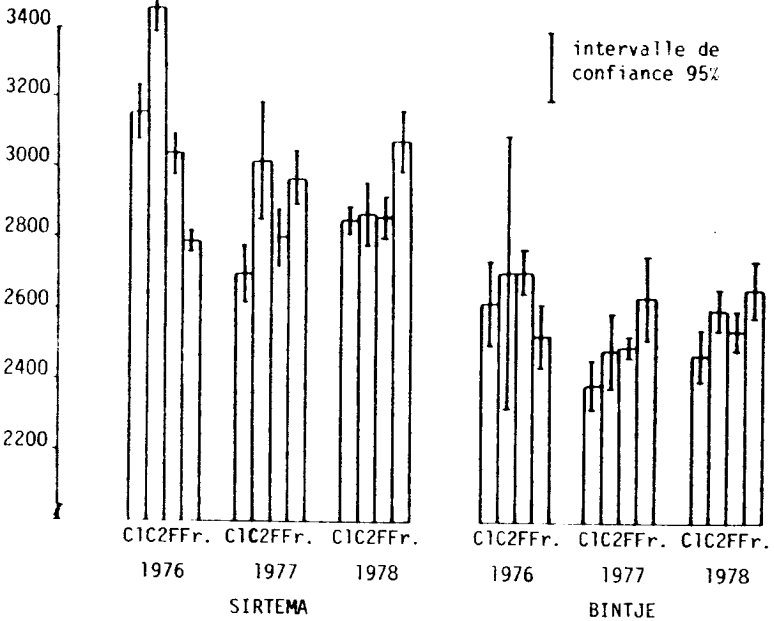
Il semble que les basses températures de croissance exercent dans notre cas un effet de raccourcissement de la période de dormance. WENT (1959) quant à lui, avait observé une dormance plus prononcée sur les tubercules issus de cultures maintenues à basses températures que sur ceux obtenus par des températures plus élevées. Cependant, il s'agit ici d'interprétations différentes de la durée de dormance.

Lors de la plantation tardive à Changins, la période de dormance est souvent réduite par rapport à la plantation normale.

Le jour long n'a pas exercé d'effet particulier sur la culture plantée tardivement. Cependant, comme on pouvait s'y attendre, les sommes de températures enregistrées pendant la croissance ont généralement été plus élevées pour la seconde plantation (fig. 4 et 5).

Fig. 11 : Influence de la provenance, de la variété et de l'année de production sur la période d'incubation exprimée en somme de températures obtenues à partir du seuil de 0 °C (température de conservation 18 °C, valeurs moyennes de 20 tubercules par année et lieu)

somme de températures



somme de températures

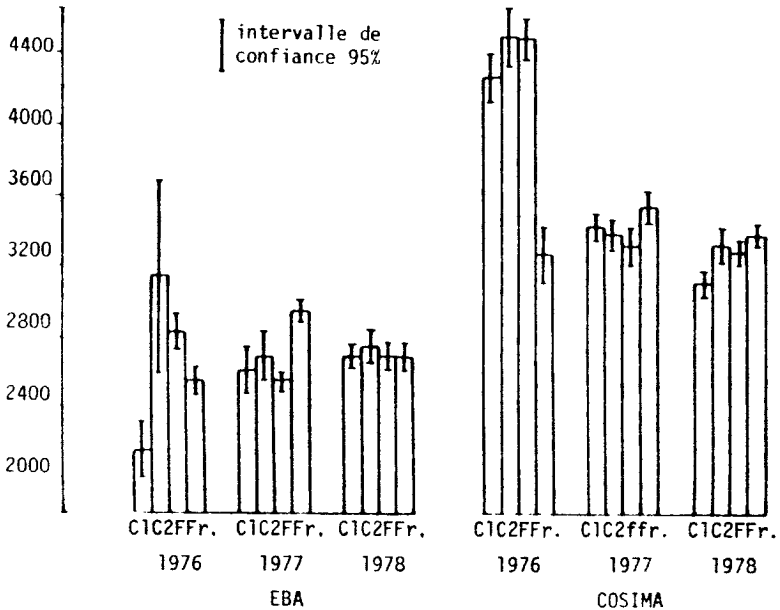
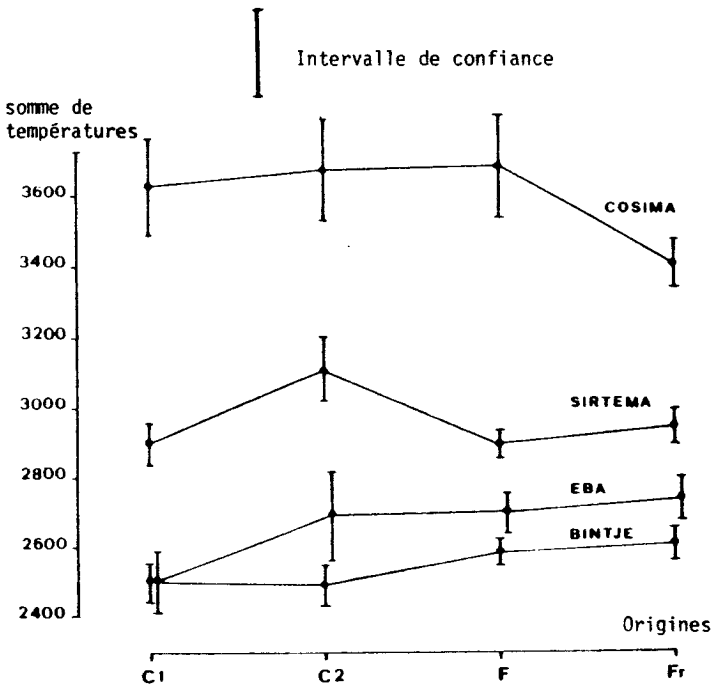


Fig. 12 : Période d'incubation selon les variétés et l'origine des tubercules 1976 - 1978, exprimée en somme de températures calculée à partir du seuil de 0°C (température de conservation 18°C, valeurs moyennes de 60 tubercules par lieu)



3.1.2.2 Effet de l'année

L'effet des conditions de croissance est particulièrement marqué par les différences de températures enregistrées entre les 3 années d'essais (fig. 4-9). Le printemps et l'été 1976 ont été extrêmement chauds et arides; en revanche, 1977 et 1978 ont offert des conditions plutôt humides et fraîches. Nous observons sur la figure 10 que les sommes de températures de croissance sont nettement plus élevées en 1976, comparativement à 1977 et 1978, en raison des conditions extrêmes et d'une période de végétation légèrement plus longue.

La période de dormance a été légèrement plus courte en 1978, année caractérisée par des températures de croissance plutôt basses.

En considérant la dormance à partir de la récolte, comme il a été proposé par EMILSSON (1949) et KAWAKAMI (1952), l'année 1976 se détache nettement des deux suivantes par une somme de températures post-récolte fortement réduite (fig. 10). Ces résultats mettent en évidence que les conditions de croissance influencent de manière déterminante la dormance.

En revanche, la dormance telle qu'elle est définie au début de ce travail n'est souvent pas influencée par les conditions de croissance ou alors seulement dans une moindre mesure.

Quant à la période d'incubation, une interaction température de croissance et variété a été observée. La plantation tardive à Changins a provoqué une prolongation significative de la période d'incubation par rapport à la première plantation pour les variétés Sirtema en 1976 et Eba en 1976 (fig. 11). Pour la provenance Frêtaz 1976, la période d'incubation a été plus courte par rapport aux autres lieux avec une exception pour Eba en plantation normale à Changins. En revanche, en 1977 et 1978, c'est l'inverse qui s'est produit. Nous pensons que la sécheresse qui a sévi pendant l'été 1976 à Changins et à Fey est partiellement responsable de ces différences (fig. 4 et 6).

Les résultats obtenus en 1976 sont également en contradiction avec ceux de CLAVER (1975), qui a noté une activation de la phase d'incubation par les températures élevées. Il pourrait cependant s'agir ici d'une inter-

action de la sécheresse et de la température sur l'activité du métabolisme responsable de l'incubation.

3.1.3 Influence de la date de récolte sur la dormance et l'incubation

On pourrait admettre que le stade de développement des tubercules puisse influencer leur période de dormance comme nous l'avions observé antérieurement en plein champ (MÜNSTER et REUST, 1977).

Afin de vérifier cette hypothèse, nous avons interrompu la croissance des pommes de terre par l'arrachage des fanes, à différents intervalles (1-4R) sur deux cultures de Bintje à Fey et à la Frêtaz en 1977 et 1978. La récolte eut lieu pour tous les procédés lors de la dernière date d'arrachage des fanes (4R).

Jours de végétation

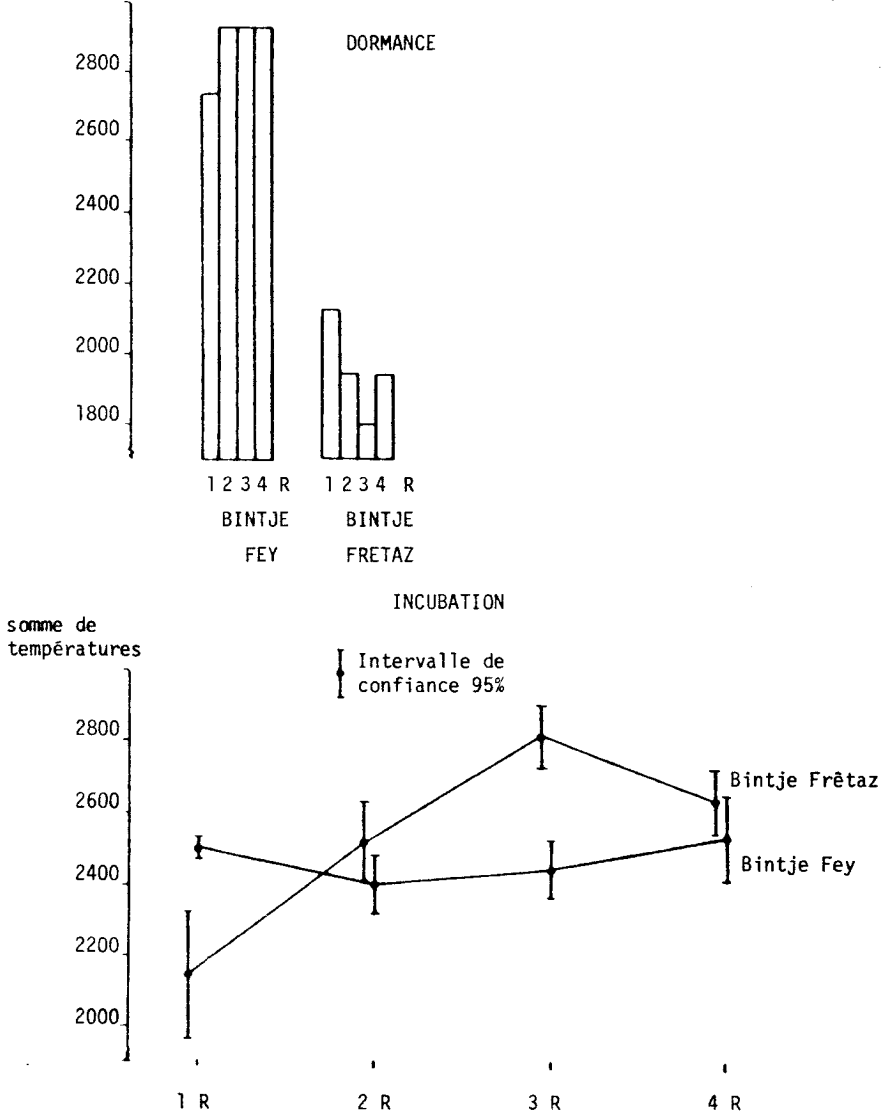
	Provenances	
	Fey	Frêtaz
1R	90	70
2R	100	90
3R	120	100
4R	135	115

En raison de la période de végétation plus courte à la Frêtaz, nous avons avancé les dates d'arrachage des fanes par rapport à Fey.

La dormance des tubercules n'a pas subi d'influence notable par une durée de végétation différente des plantes (fig. 13). Le stade de maturité des pommes de terre ne paraît donc pas jouer de rôle sur la dormance.

La période d'incubation ne subit pas de changements significatifs par les récoltes différées dans la provenance Fey. Une réaction différente est cependant observée dans la provenance Frêtaz où le prolongement de la période de végétation de 70 à 100 jours entraîne une augmentation significative de la durée d'incubation. Par contre, entre 100 et 115 jours de végétation, une diminution de la durée d'incubation a été notée. Cette dernière n'est cependant pas significative (fig. 13).

Fig. 13 : Influence de la date d'arrachage des fanes sur les périodes de dormance et d'incubation 1977-1978, exprimées en somme de températures obtenues à partir du seuil de 0 °C (température de conservation 18 °C) - (1 - 4R = époques de défanage)



3.1.4 Influence des températures de croissance sur la dormance et l'incubation

Un essai a été effectué en chambre de croissance afin d'étudier l'influence des températures sur les périodes de dormance et d'incubation (cf. chap. 2.5).

L'on peut noter sur la figure 14 l'écart significatif des périodes de dormance entre les deux régimes de températures. La période de dormance exprimée en ST est plus courte par des températures de croissance basses que par des températures plus élevées. Ces résultats confirment les observations faites sur des pommes de terre cultivées en plein champ sur le domaine de montagne à la Frêtaz, comparés aux cultures de plaine à Fey et à Changins (fig. 10). En revanche, à l'exception de la variété Cosima, la période d'incubation n'a pas subi d'influence significative par les différentes températures de croissance (fig. 14). Ces résultats concordent également avec les observations faites sur les tubercules obtenus en plein champ de différentes provenances (fig. 12).

3.1.5 Influence des températures de conservation sur la dormance et l'incubation

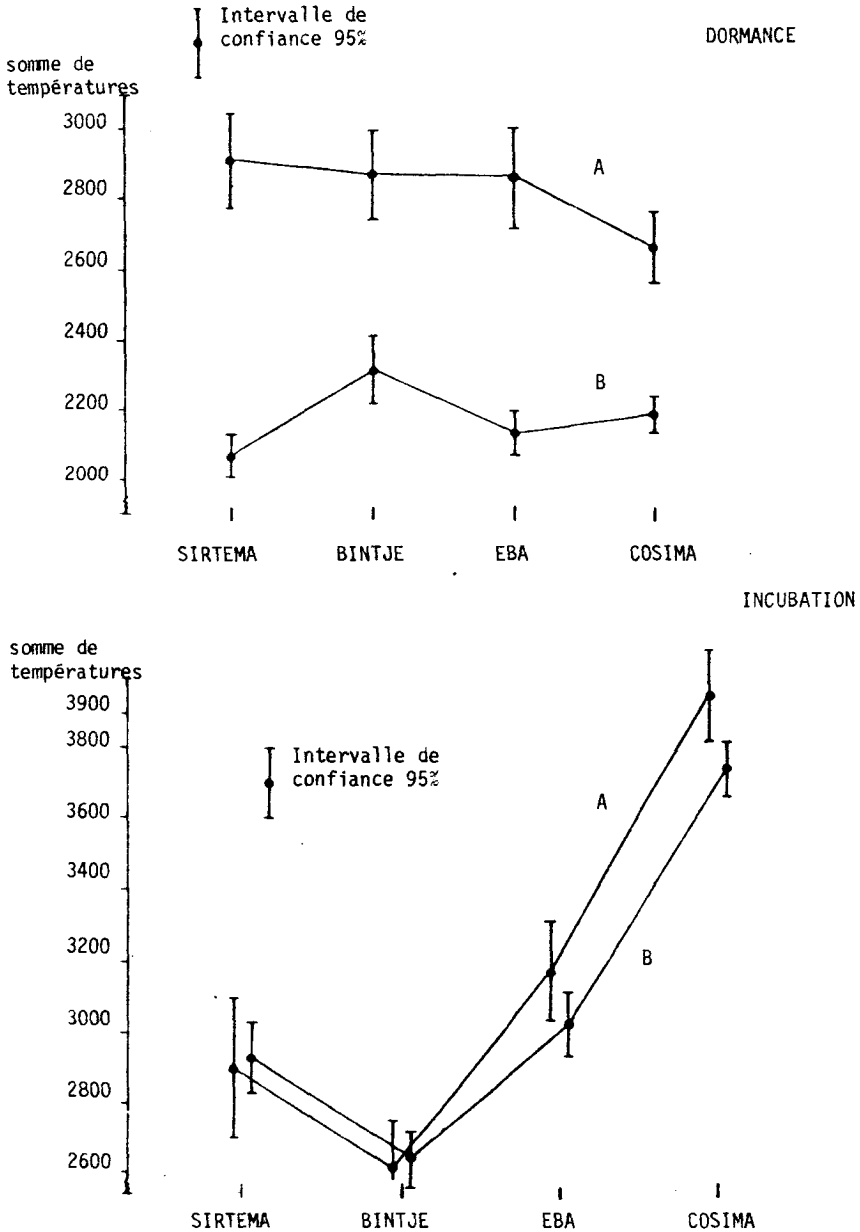
Les températures de conservation exercent une influence directe sur l'activité métabolique de la pomme de terre.

Dans cet essai, avec des tubercules cultivés en plein champ (Fey, schéma 3), nous avons étudié l'influence des températures de conservation soit de 15 °C, 18 °C et 25 °C sur les périodes de dormance et d'incubation, avec l'objectif de mieux cerner la température optimale pour réaliser un vieillissement naturel des tubercules.

Cette fourchette de températures relativement étroite a été choisie sur la base des travaux de CLAVER (1953).

Entre les températures de 15 °C et 18 °C, aucune influence notable sur la période de dormance n'a été décelée. En revanche, une prolongation significative de cette période a été observée à 25 °C (fig. 15). Nous pouvons ainsi considérer les températures de 15 °C et 18 °C comme comparables et favorables à la levée de la dormance.

Fig. 14 : Effet des températures de croissance sur les périodes de dormance et d'incubation exprimées en somme de températures calculées du seuil 0 °C (température de conservation 18 °C)
A : températures jour/nuit = 20/15 °C
B : températures jour/nuit = 15/10 °C
Photopériode : 16 heures pour les deux régimes de températures



L'élévation des températures de 15 °C à 25 °C permet de raccourcir de manière significative la durée d'incubation uniquement pour la variété Sirtema, tandis que pour les autres variétés, 18 °C paraît être la température la plus favorable à l'évolution physiologique des tubercules.

Une interaction entre température de conservation et variété peut ainsi être observée. La variété Sirtema a favorablement réagi aux températures élevées (25 °C) pendant la phase d'incubation, tandis que la réaction a été inverse pour Bintje et Cosima (fig. 16).

3.1.6 Influence du calibre du plant sur la dormance et l'incubation

En admettant que le volume des tubercules à la récolte soit en relation avec l'époque de leur formation, on pourrait penser que leur âge physiologique soit également différent. Il est connu dans la pratique que les petits tubercules forment moins de germes et de tiges que les grands (KELLER et al., 1961; REUST et WINIGER, 1982).

Cette dernière observation nous a incité à examiner de manière plus approfondie l'influence du calibre des tubercules sur leur période de dormance et d'incubation.

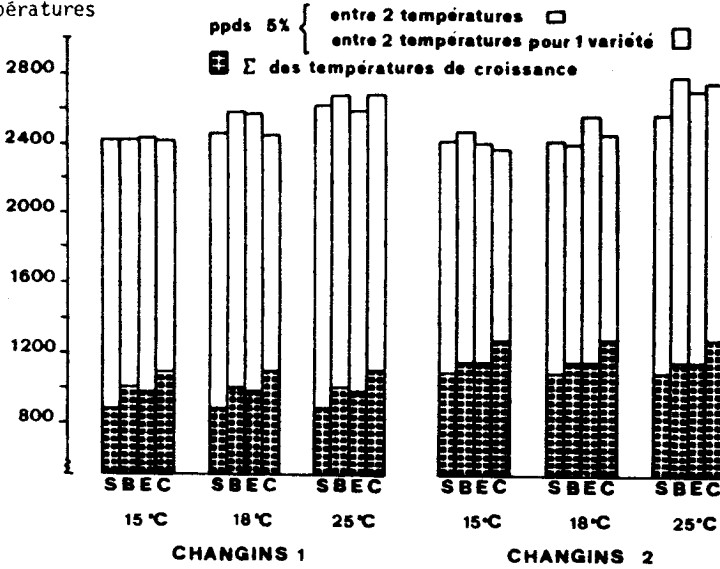
Le producteur de pommes de terre suisse a souvent le choix entre des plants d'un calibre de 32-35 mm et celui de 35-50 mm. Comme le montre le tableau 3, le rapport du volume des plants peut varier de 1 : 3 et plus selon l'année. On pourrait ainsi comprendre l'intérêt du cultivateur à s'approvisionner en plants de petits calibres.

Nous avons effectué des essais comparatifs avec des tubercules de 50 mm et 35 mm de diamètre d'une même origine. Selon la figure 17, la période de dormance est fréquemment plus longue pour le petit calibre que pour le grand.

Un prolongement significatif de la période de dormance des petits tubercules par rapport aux grands a été observé chez les variétés Sirtema, Bintje et Eba, à Changins 2 (plantation tardive). Dans la provenance Changins 1 (plantation normale), aucune différence significative n'a été observée. De la provenance Fey, seule la variété Bintje présente un écart significatif. Le lieu la Frêtaz se distingue par de grands écarts de dormance entre les calibres pour les 4 variétés. Cette dernière obser-

Fig. 15 : Effet des températures de conservation (15 °C, 18 °C et 25 °C) sur la période de dormance exprimée en somme de températures calculées à partir du seuil de 0 °C, selon les variétés et les provenances 1977 - 1978

somme de températures



somme de températures

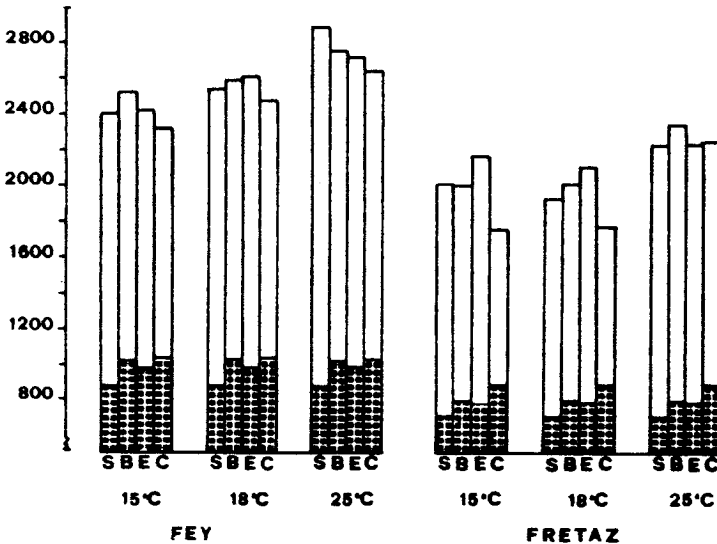
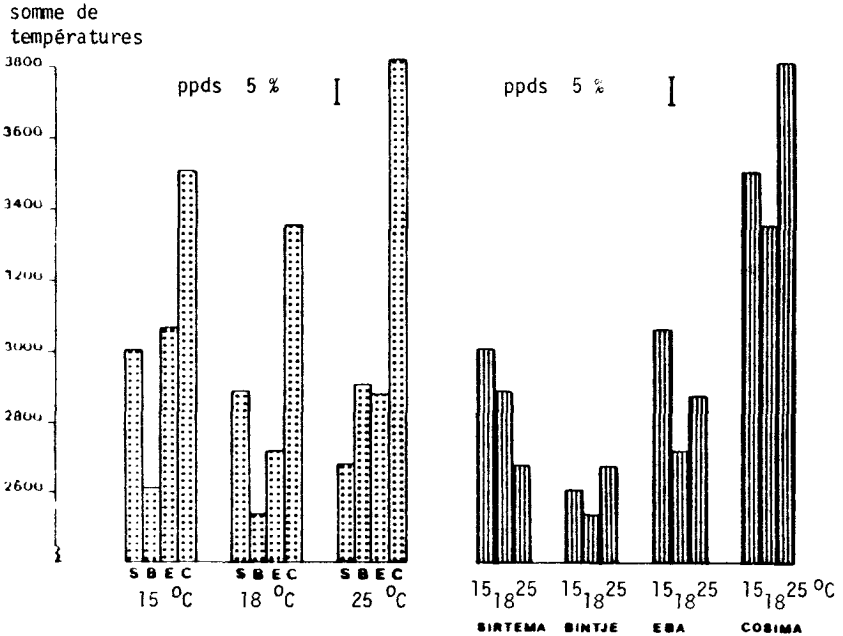


Fig. 16 : Influence des températures de conservation sur la période d'incubation exprimées en somme de températures calculée du seuil de 0 °C, selon les variétés et les provenances 1977 - 1978

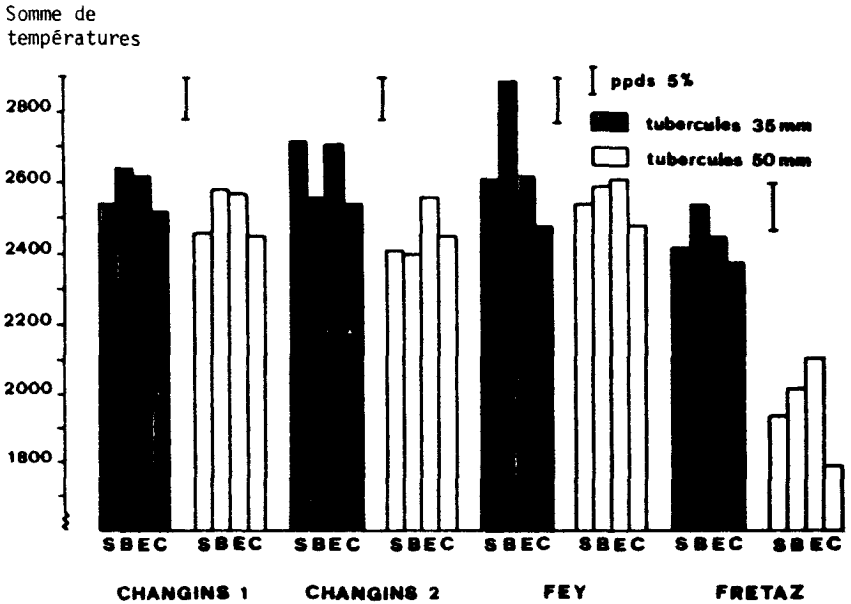


vation pourrait confirmer l'hypothèse selon laquelle les petits et les grands tubercules n'ont pas nécessairement le même âge, et plus particulièrement dans les régions élevées comme la Frêtaç.

La période de dormance étant calculée à partir de la formation des premiers tubercules, ces derniers représentent généralement le grand calibre.

La différence de germination entre calibres semble avant tout liée à une dormance prolongée des petits tubercules. Cet effet pourrait cependant être corrigé assez aisément dans la pratique par une prégermination adaptée des plants.

Fig. 17 : Influence du calibre des tubercules sur la période de dormance exprimée en somme de températures obtenue du seuil de 0 °C (température de conservation 18 °C) 1977 - 1978



La période d'incubation ne présente, en revanche, pas de différence significative entre les calibres (fig. 18).

Entre les provenances Changins, Fey et la Frêtaz, ce sont surtout les températures de croissance qui diffèrent. Bien que les durées de végétation aient été les mêmes pour tous les lieux, l'effet de températures basses de la Frêtaz se manifeste davantage sur la dormance raccourcie que sur l'incubation.

3.1.7 Influence des viroses sur la dormance et l'incubation

EMILSSON (1949) avait observé que les virus Y et celui de l'enroulement (R) n'influencent pas la période de dormance des tubercules.

Fig. 18 : Influence du calibre des tubercules sur la période d'incubation exprimée en somme de températures obtenues du seuil de 0 °C (température de conservation 18 °C) 1977 - 1978

Différence entre calibres non significative

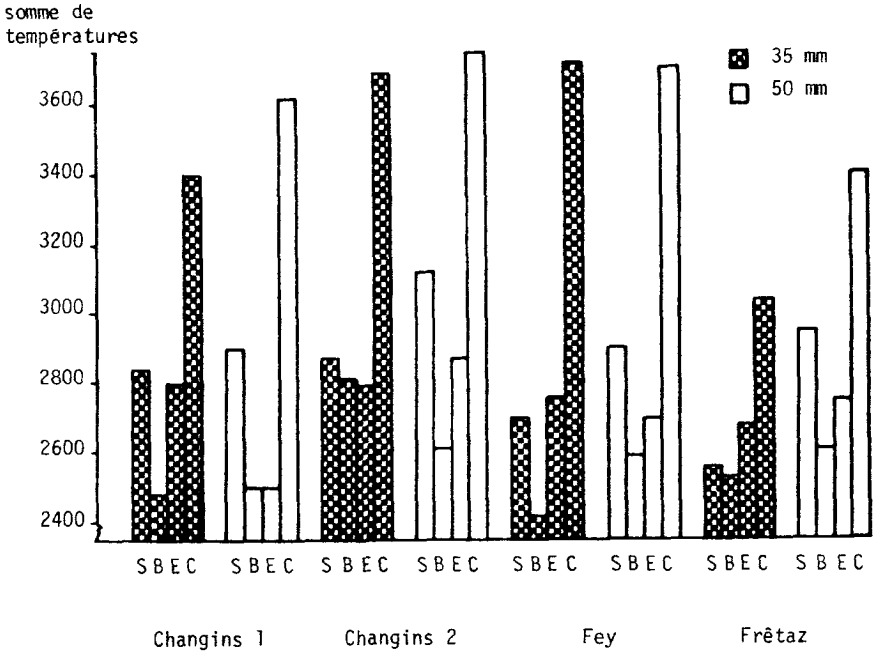
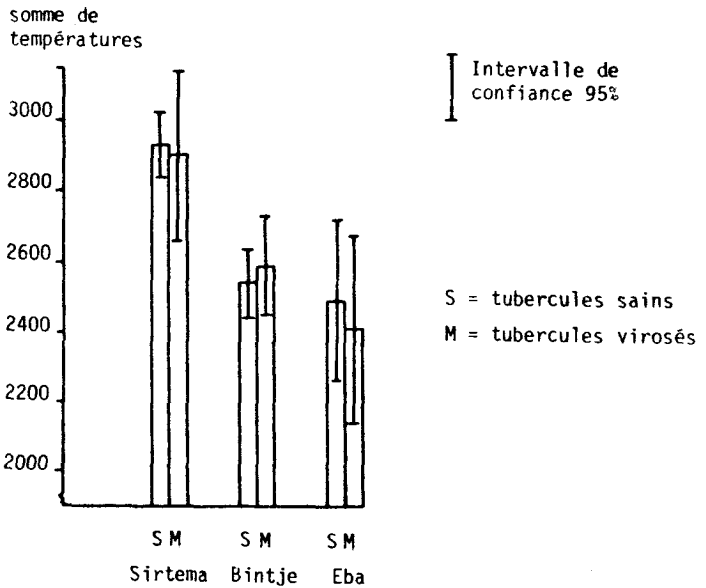


Fig. 19 : Influence de la contamination virale des tubercules sur la durée d'incubation exprimée en somme de températures obtenues du seuil de 0 °C (température de conservation 18 °C) 1976-1978



D'autre part, nous n'avons pas trouvé d'indication dans la littérature de l'influence des virus sur la période d'incubation. Il arrive cependant que la morphologie des germes subisse des changements importants par la présence de certains virus graves tel l'enroulement chez des variétés de pommes de terre hypersensibles (SALZMANN et KELLER, 1969).

Notre examen consistait à effectuer un contrôle virologique, par indexage en serre, de tubercules récoltés sur les germes dans les essais de détermination de la durée d'incubation, soit la descendance de plantes contaminées naturellement au champ.

Nous avons examiné les variétés Sirtema, Bintje et Eba sur la présence de virus, à raison de 20 tubercules par variété et par provenance de 1976 à 1978.

Sur la figure 19 sont représentées les durées d'incubation moyennes pour les 3 années d'essais.

Les différences entre les périodes d'incubation de tubercules sains et tubercules malades ne sont pas significatives. Cependant, nous avons obtenu dans cet essai un coefficient de variation de la durée d'incubation nettement supérieur pour les tubercules virosés (virus Y ou R).

Coefficient de variation de la durée d'incubation (CV)

	CV tub. sains %	CV tub. virosés %
Sirtema	6,5	21,1
Bintje	8,4	11,7
Eba	17,3	17,6

Bien que les viroses n'influencent pas de manière significative la durée d'incubation des tubercules, le vieillissement physiologique semble néanmoins être quelque peu perturbé.

3.2 Evolution des germes pendant la période d'incubation

Le vieillissement physiologique des tubercules s'extériorise par un affaiblissement de la dominance du germe apical et la formation de germes latéraux (MADEC et PERENNEC, 1955).

Un contrôle de l'évolution des germes a été effectué à partir de la récolte 1977 sur 50 tubercules de provenance Changins, plantation début avril. Des tubercules d'un calibre homogène et d'un poids moyen de 50 g ont été mis en incubation à une température de 15 °C et une humidité de 90% à l'obscurité totale.

Un égermage mensuel a été effectué de fin octobre à fin avril. Lors de cette opération, les germes ont été dénombrés et pesés.

L'on peut relever de la figure 20 une augmentation constante du nombre de germes jusqu'en février, époque à laquelle tous les yeux normalement développés ont germé. Le nombre de germes maximum se situe entre 7 et 8 par tubercule. L'égermage permet d'accroître le nombre de germes sur un tubercule de manière beaucoup plus rapide que cela serait le cas en conditions naturelles. Cette pratique est connue de certains agriculteurs désirant un nombre plus élevé de tubercules par plante, comme il est souhaité pour la production de plants par exemple.

La phase de croissance initiale est généralement lente jusqu'à début novembre, ensuite c'est la phase de croissance rapide jusqu'à fin janvier pour les variétés Sirtema, Bintje et Eba. A ce stade, les tubercules atteignent une incubation déjà avancée. La croissance diminue ensuite progressivement jusqu'à la fin de la période d'incubation. Dès qu'apparaissent les premiers tubercules, cette élongation peut être considérée comme terminée. La variété Cosima a une période d'incubation très longue et évolue moins rapidement. La croissance des germes se poursuit par conséquent jusqu'en avril (fig. 20).

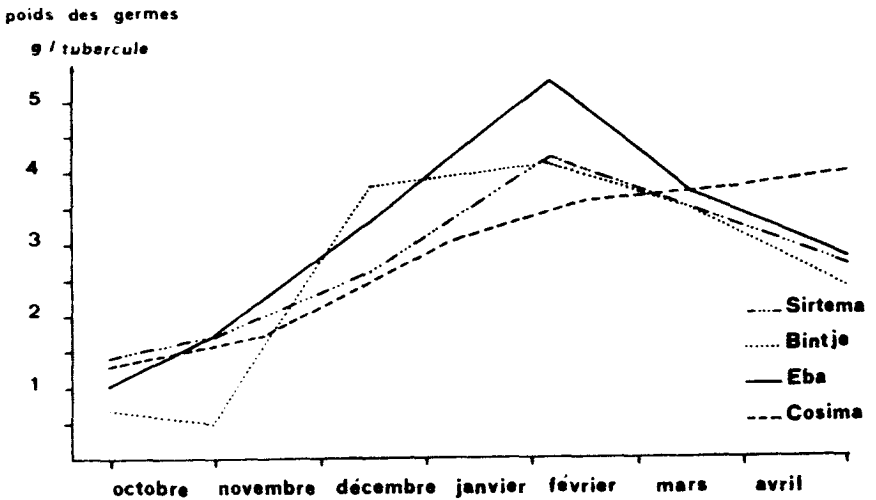
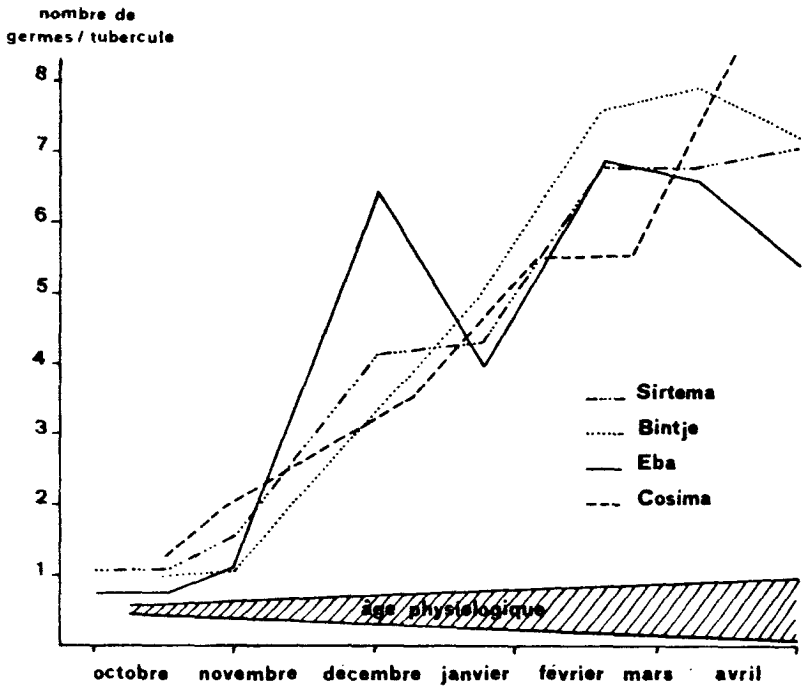
3.3 Evolution du saccharose des acides citrique et malique dans les tubercules pendant la conservation

Sur la récolte 1976, nous avons prélevé deux échantillons par variété et lieu de culture (à Changins uniquement pour la première plantation). Le premier échantillon a été prélevé au stade germination et le second après l'apparition de tubercules-fils (tabl. 4).

Le comportement des 4 variétés est similaire pour Changins, Fey et la Frêta. Au stade germination, la teneur en saccharose est d'environ 0,1% du poids frais (PF), tandis qu'au stade tubérisation, il atteint 0,45-1,9% suivant les variétés.

La teneur en acide citrique est de 0,36-0,6% au début de la germination et de 0,24-0,57% au stade tubérisation. Chez les variétés Eba et Cosima, la diminution entre les deux stades est moins forte que chez Sirtema et Bintje. L'acide malique varie de 0,07-0,2% à la germination et de 0,32-0,47% à la tubérisation.

Fig. 20 : Evolution du nombre et du poids des germes par tubercule pendant leur incubation (égermage mensuel) 1977 - 1978



Sur la récolte 1977, nous avons effectué 3 prélèvements, le premier pendant la période de dormance, le second au début de la germination et le troisième peu après l'apparition de tubercules. Le comportement des variétés est de nouveau semblable et l'on peut fréquemment observer une légère diminution de la teneur en saccharose et d'acide malique entre le stade de dormance et la germination, tandis que l'acide citrique se comporte de manière inverse. Les teneurs en saccharose varient cependant fortement entre les provenances au stade de tubérisation. Changins 1 présente généralement le taux le plus élevé et Frêtaz le plus faible, tandis que Fey prend une position intermédiaire (fig. 21 et 22).

Les résultats des deux années d'analyse ont démontré que le comportement des variétés était similaire. En revanche, il ne nous a pas été possible de cerner le moment du changement d'activité du métabolisme dans le tubercule. Pour cette raison, nous nous sommes limités à une variété en 1978 (Bintje) et aux provenances Fey et Frêtaz dont les prélèvements eurent lieu chaque semaine à partir du début de germination.

L'évolution des substances est présentée sur les figures 23 et 24. Le saccharose et l'acide malique atteignent leur taux le plus bas au début de la germination (0,1-0,2% du PF) et le changement intervient avec la phase de croissance rapide des germes. Tandis qu'au même stade environ, la teneur en acide citrique atteint son point le plus élevé (0,4-0,55% du PF). La tubérisation intervient pour la provenance Fey lorsque le saccharose atteint un taux de 1,2-1,5% tandis que pour la provenance Frêtaz, cette teneur se situe entre 1,5-2%. La teneur en acide citrique est d'environ 0,1% pour la provenance Fey et 0,25% pour la Frêtaz. En revanche, le taux d'acide malique se situe vers 0,5% pour les deux provenances.

Les résultats obtenus de 1976 à 1978 concordent avec les travaux de MÜLLER (1975a). L'évolution de ces substances se poursuit de manière assez régulière pendant les phases de dormance et d'incubation. Cependant, des différences quantitatives apparaissent selon les variétés et les origines. Nous pensons que ces différences peuvent être attribuées aux conditions de croissance tels le sol et le climat, qui agissent sur le stade physiologique des plantes.

Tabl. 4 : Teneur en saccharose, acides citrique et malique, selon les variétés et provenances, des tubercules de pommes de terre 1976

Variété	provenance	date du prélèvement	stade physiologique des tubercules	mg/100 g poids frais (PF)		
				saccharose	acide malique	acide citrique
Sirtema	Changins	11.11.76	germination	119	71	483
	Changins	7. 6.77	tubérisation	562	336	326
	Fey	11.11.76	germination	105	79	443
	Fey	7. 6.77	tubérisation	840	328	294
	La Frêtaz	11.11.76	germination	69	120	501
	La Frêtaz	30. 6.77	tubérisation	455	324	314
Bintje	Changins	11.11.76	germination	100	80	472
	Changins	3. 5.77	tubérisation	1357	401	241
	Fey	11.11.76	germination	100	68	492
	Fey	7. 6.77	tubérisation	985	349	338
	La Frêtaz	11.11.76	germination	122	117	469
	La Frêtaz	7. 6.77	tubérisation	938	472	236
Eba	Changins	11.11.76	germination	97	161	360
	Changins	3. 5.77	tubérisation	970	458	243
	Fey	11.11.76	germination	99	108	430
	Fey	7. 6.77	tubérisation	1564	434	386
	La Frêtaz	11.11.76	germination	121	106	554
	La Frêtaz	30. 6.77	tubérisation	1105	356	570
Cosima	Changins	11.11.76	germination	101	149	502
	Changins	26. 7.77	tubérisation	1033	344	546
	Fey	11.11.76	germination	117	102	562
	Fey	26. 7.77	tubérisation	1893	316	575
	La Frêtaz	11.11.76	germination	80	211	599
	La Frêtaz	26. 7.77	tubérisation	1513	335	484

Fig. 21 : Evolution du saccharose dans les tubercules selon les variétés et la provenance, à partir du stade de dormance (récolte) jusqu'à la formation de tubercules sur germes 1977

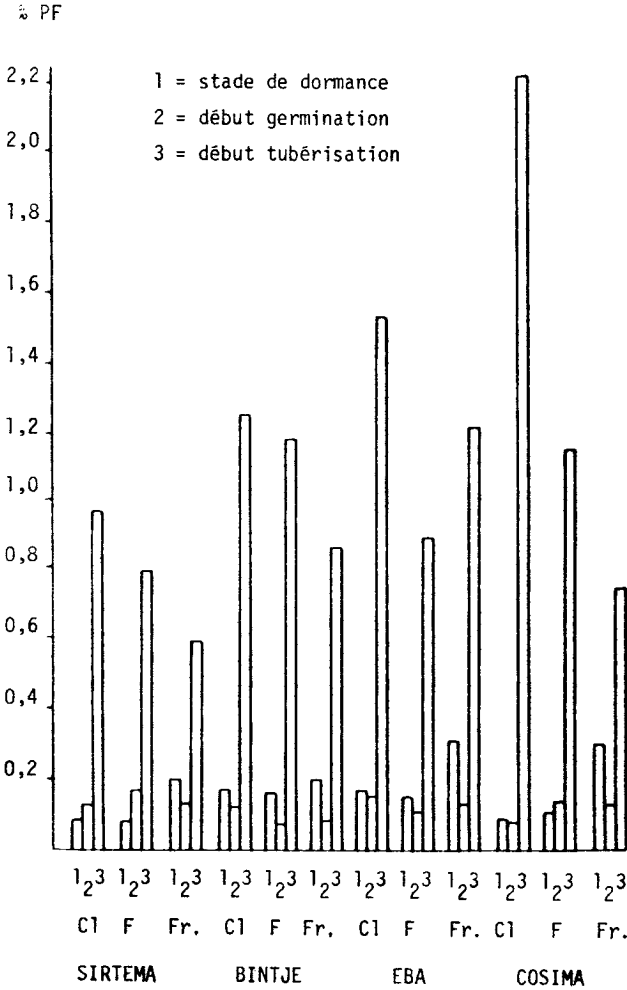
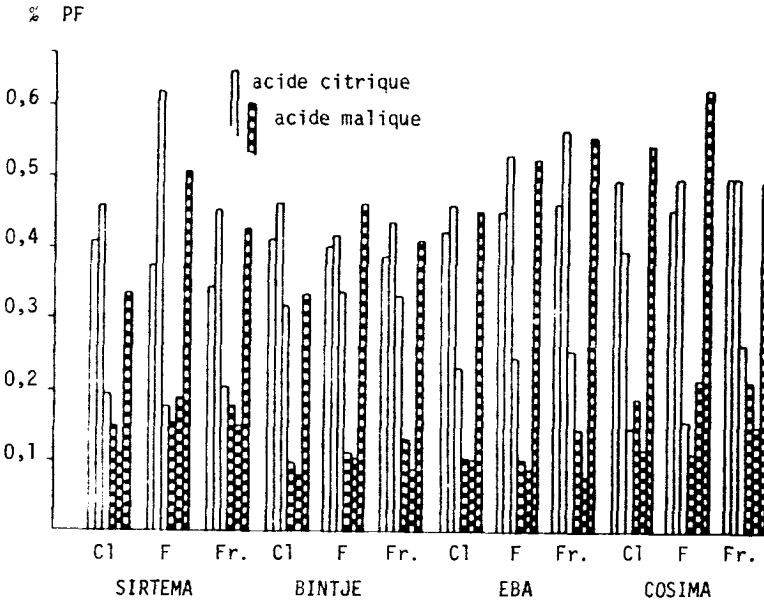


Fig. 22 : Evolution des acides citrique et malique dans les tubercules selon les variétés, à partir du stade de dormance et jusqu'à la formation de tubercules sur germes 1977

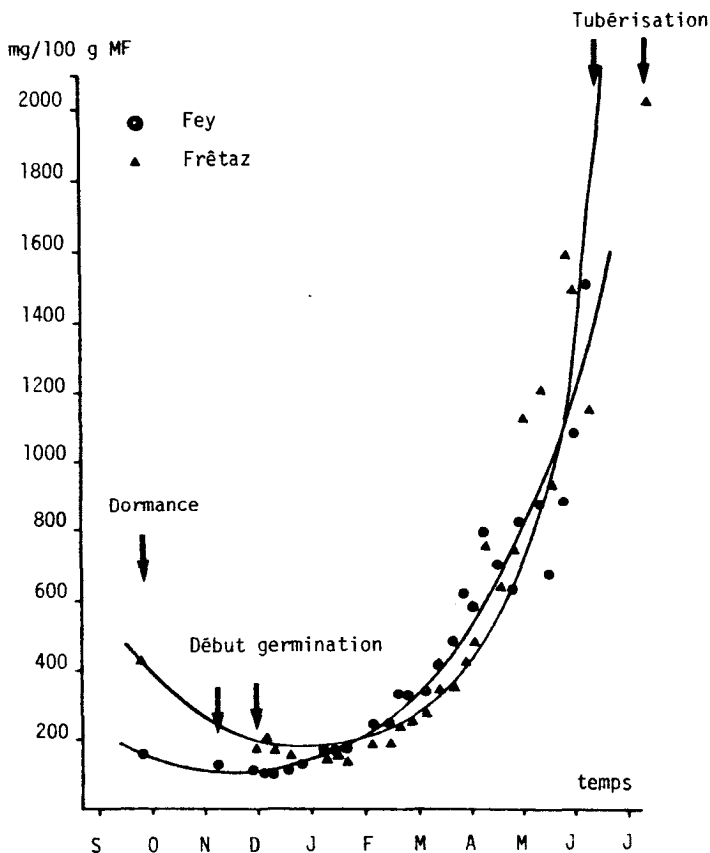


première colonne = stade de dormance
seconde " = début germination
troisième " = début tubérisation
(de gauche à droite)

3.4 Etude du comportement des variétés de l'assortiment suisse au vieillissement

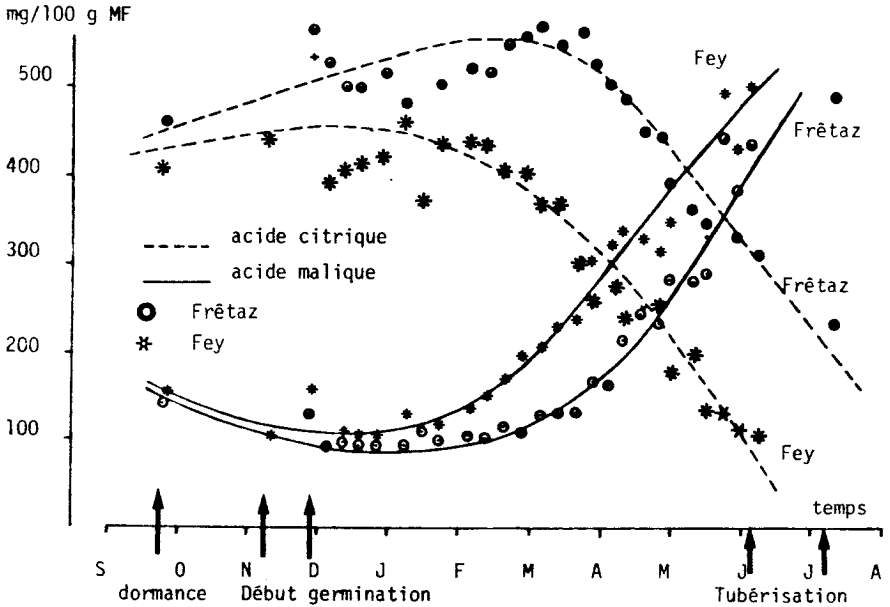
L'âge physiologique du plant exerce une influence considérable sur la croissance des tiges, feuilles et tubercules (MADEC et PERENNEC, 1955). Selon cette théorie, le tubercule devrait être planté à un stade physiologique optimal qui cependant, demande à être défini selon l'objectif de culture et le lieu de production.

Fig. 23 : Evolution du saccharose dans les tubercules de la variété Bintje, de provenance Fey et la Frêtaz, à partir de la récolte et jusqu'à la formation des tubercules-fils 1978



Pour les cultures prévues être récoltées avant leur maturité, il est préférable d'utiliser des plants ayant atteint un stade physiologique plus avancé afin de raccourcir la période de végétation tandis que s'il s'agit de cultures destinées à atteindre leur maturité physiologique, des plants peu vieillis favoriseront le développement d'une surface foliaire maximale.

Fig. 24 : Evolution des acides citrique et malique dans les tubercules de la variété Bintje, de provenance Fey et la Frêtaz, à partir de la récolte jusqu'à la formation de tubercules-fils 1978

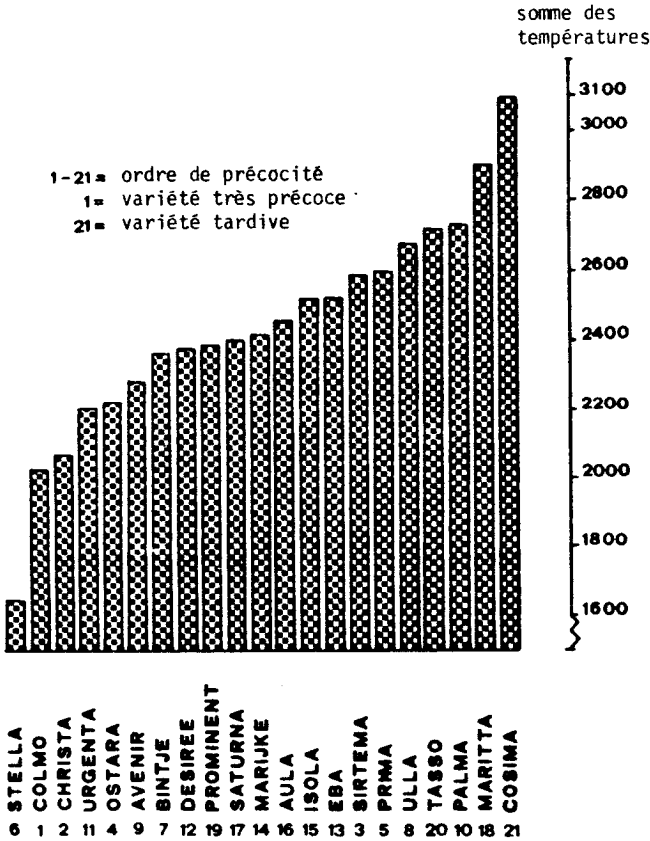


Nous avons comparé dans cet essai des plants fortement vieillis avec des plants dont la durée de la pérgermination a été adaptée à la durée d'incubation des variétés.

3.4.1 Période d'incubation des variétés de pommes de terre de l'assortiment suisse

La période d'incubation a été déterminée selon la méthode décrite au chapitre 2.1 pour toutes les variétés de la liste officielle suisse sur

Fig. 25 : Durées d'incubation exprimées en somme de températures obtenues du seuil de 0 °C, des variétés de pommes de terre de la liste officielle suisse (températures d'incubation 18 °C)
Provenance des tubercules Fey, 1976 - 1979



des tubercules de provenance Fey, de 1976 à 1979. Dans la figure 25 sont présentées les périodes d'incubation exprimées en somme de températures. L'on peut noter le grand écart entre certaines variétés; par exemple, la variété Stella demande à peine plus de 1'600 degrés de la germination à la tubérisation, tandis que la variété Cosima en exige environ 3'100.

Tabl. 5 : Influence de l'âge physiologique des plants ainsi que du poids des germes sur le taux de plantes levées des variétés de pommes de terre de la liste officielle suisse, La Frêta, 1977 - 1979

Variétés	Poids des germes à l'égermage g/tubercule *				Plantes levées en %							
	1977	1978	1979	moyenne	1977 A ¹⁾ B ²⁾		1978		1979		moyenne	
Procédés	B				A	B	A	B	A	B	A	B
Sirtema	7,9	10,7	12,6	10,4	100	99	98	66	96	96	98	87
Ostara	6,8	6,1	5,1	6,0	100	90	100	10	100	86	100	62
Prima	4,4	6,1	6,3	5,6	100	99	98	94	100	98	99	97
Bintje	7,5	11,6	13,0	10,7	100	69	100	22	100	98	100	63
Ulla	5,1	7,2	7,8	6,7	100	80	100	62	100	100	100	81
Avenir	7,6	11,7	9,3	9,5	100	93	98	90	100	92	99	92
Urgenta	15,3	21,7	17,4	18,1	99	69	100	66	100	64	100	66
Désirée	9,3	12,3	12,4	11,3	99	97	100	96	100	98	100	97
Eba	5,7	8,9	10,0	8,2	99	58	100	62	98	96	99	72
Marijke	5,0	6,0	5,6	5,5	99	12	96	40	96	82	97	45
Isola	4,0	9,0	9,3	7,4	100	100	98	94	100	96	99	97
Aula	-	5,8	8,9	7,4	-	-	98	74	100	98	99	86
Saturna	5,5	7,7	6,8	6,7	100	100	100	98	100	98	100	99
Maritta	7,7	10,4	9,2	9,1	100	89	100	94	100	100	100	94
Tasso	6,6	10,5	9,6	8,9	99	63	98	54	100	98	99	72
Cosima	5,1	10,4	3,9	6,5	100	100	96	98	100	100	99	99
Stella	-	10,1	11,5	10,8	-	-	100	68	100	96	100	82
Moyenne	6,9	9,8	9,3	8,8	99,7	81,2	98,8	69,8	99,4	93,9	99,3	81,8
ppds 5%	entre deux moyennes 2,42				entre deux variétés				14,56			
					entre procédés				6,35			

1) A = plants prégermés de manière optimale (cf. chapitre 4.2)

2) B = plants fortement incubés (conservation 4 mois à 15 °C, ensuite égermage et prégermination pendant 6 semaines)

* Les tubercules ont été calibrés et pesés, leur poids était de 50 ± 10 g/tubercule

3.4.2 Relation entre la période d'incubation, la masse de germes produits par les plants et le taux de boulage des variétés cultivées en Suisse

De 1977 à 1979, un essai a été effectué afin de vérifier en plein champ la réaction des variétés à un vieillissement prononcé des plants. Une partie des tubercules a été mise à 15 °C pendant 4 mois, ensuite égermée, et prégermée pendant 6 semaines (chapitre 4.2).

Le poids des germes a été obtenu par pesage sur 200 tubercules d'un calibre 40-50 mm, par variété et par année.

Au tableau 5 figure le poids moyen des germes par variété et tubercule. Des écarts significatifs ont été obtenus entre les variétés. La variété Prima n'a produit que 5,6 g de germes par tubercule contre 18,1 g pour la variété Urgenta. Des différences entre tubercules d'un volume comparable ont également été observées entre les années. En 1977, les tubercules de la récolte 1976 ont produit significativement moins de germes (poids) que les deux années suivantes. On peut admettre que les conditions de croissance particulièrement chaudes et arides ont agi sur la vigueur des plants, comme l'avait déjà observé CLAYER *et al.* (1957).

D'autre part, en prenant en considération l'ensemble des variétés, nous n'avons pas noté de corrélation significative entre la masse des germes et le nombre de plantes levées (fig. 26). Ces résultats illustrent parfaitement que la longueur ou la masse des germes ne renseigne pas de manière générale et fidèlement sur l'âge physiologique d'un plant. Il y a des variétés qui germent peu telles Ostara et Marijke mais qui sont, en revanche, assez sensibles au boulage et d'autre part, des variétés comme Urgenta qui, avec une très forte production de germes avant la plantation, sont également sensibles au boulage. Ces observations ressortent du tableau 5 avec le pourcentage de plantes levées, les non levées présentant du boulage. Une assez bonne relation est cependant observée entre la durée d'incubation et le taux de boulage (fig. 25 et tabl. 5). Plus la période d'incubation est courte, plus les variétés sont sensibles au boulage, avec cependant des variétés intermédiaires telles Marijke, Eba et Tasso dont les durées d'incubation sont moyennes à longues et qui présentent une assez forte sensibilité au boulage.

3.4.2.1 Relation entre le poids des germes et le rendement

Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, le poids des germes ne donne souvent pas une indication fiable sur l'âge physiologique des tubercules.

En mettant le poids des germes en relation avec le rendement obtenu à partir de plants fortement incubés, égermés et prégermés une seconde fois, aucune corrélation significative n'a été obtenue pour l'ensemble du groupe de variétés examiné. En revanche, une bonne relation a été obtenue entre la période d'incubation des variétés et leur rendement après un vieillissement prononcé des plants (fig. 25 et 29). Les variétés à courte période d'incubation réagissent généralement par une diminution très sensible du rendement, lorsque les plants ont atteint un âge physiologique avancé à la plantation. Sur le diagramme de la figure 29 présentant le rendement, on trouve en position inférieure, les variétés Marijke, Bintje, Urgenta et Stella. Mis à part Marijke, variété extrêmement sensible au boulage, les autres variétés présentent toutes des durées d'incubation courtes. En revanche, les variétés Isola et Cosima, avec des périodes d'incubation moyennes à longues, ne subissent pas de diminution de rendement par un même traitement des plants.

Ces résultats nous ont incité à faire des distinctions entre variétés pour ce qui concerne les conditions de conservation et de prégermination.

3.4.2.2 Relation entre la précocité de la variété et la durée d'incubation

De la figure 25 on peut relever qu'il n'y a pas nécessairement de relation entre la durée d'incubation d'une variété et sa précocité.

Les variétés précoces Sirtema et Prima ont des durées d'incubation longues tandis que les variétés mi-précoces Stella et Urgenta présentent des périodes d'incubation très courtes à courtes.

Ces résultats confirment les observations sur la période d'incubation de MADEC et PERENNEC (1955).

Fig. 26 - Relation entre la masse des germes produite par tubercule et le taux de plantes levées au champ, La Frétaz, 1977 - 1979, variétés de pommes de terre de la liste officielle suisse

$$Y = 87,2 - 0,6x$$
$$r = - 0,12$$

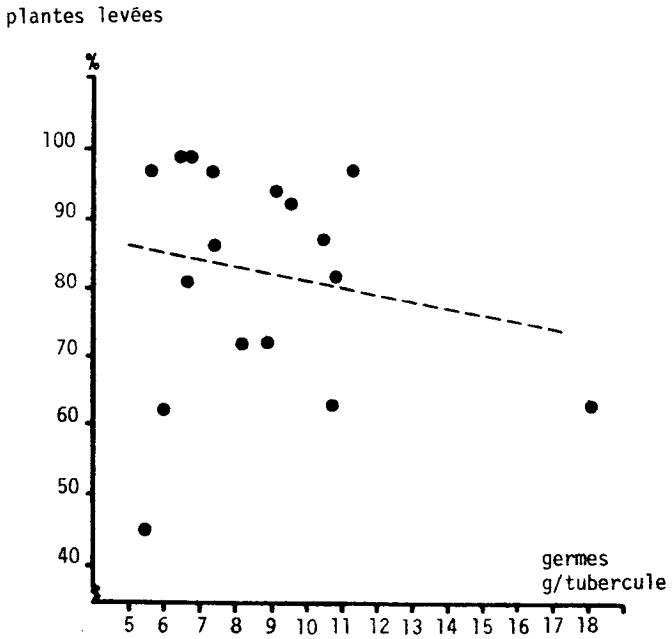
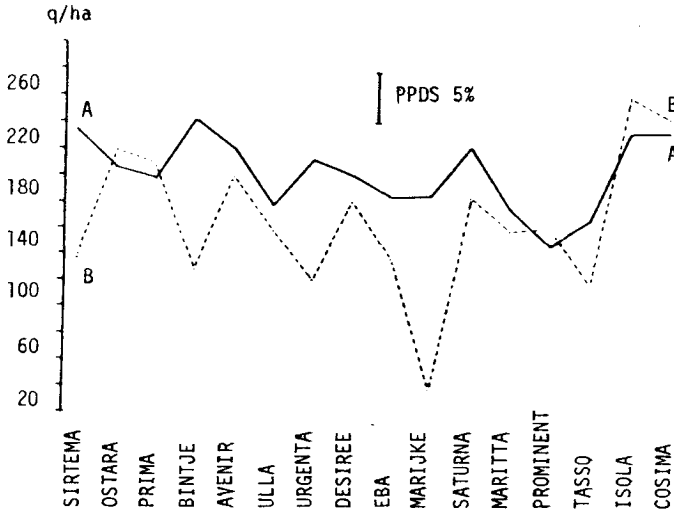


Fig. 27 : Effet d'un vieillissement excessif des plants sur le rendement des variétés de la liste officielle suisse, 1977

A = vieillissement des plants adapté à la variété
B = vieillissement très prononcé des plants

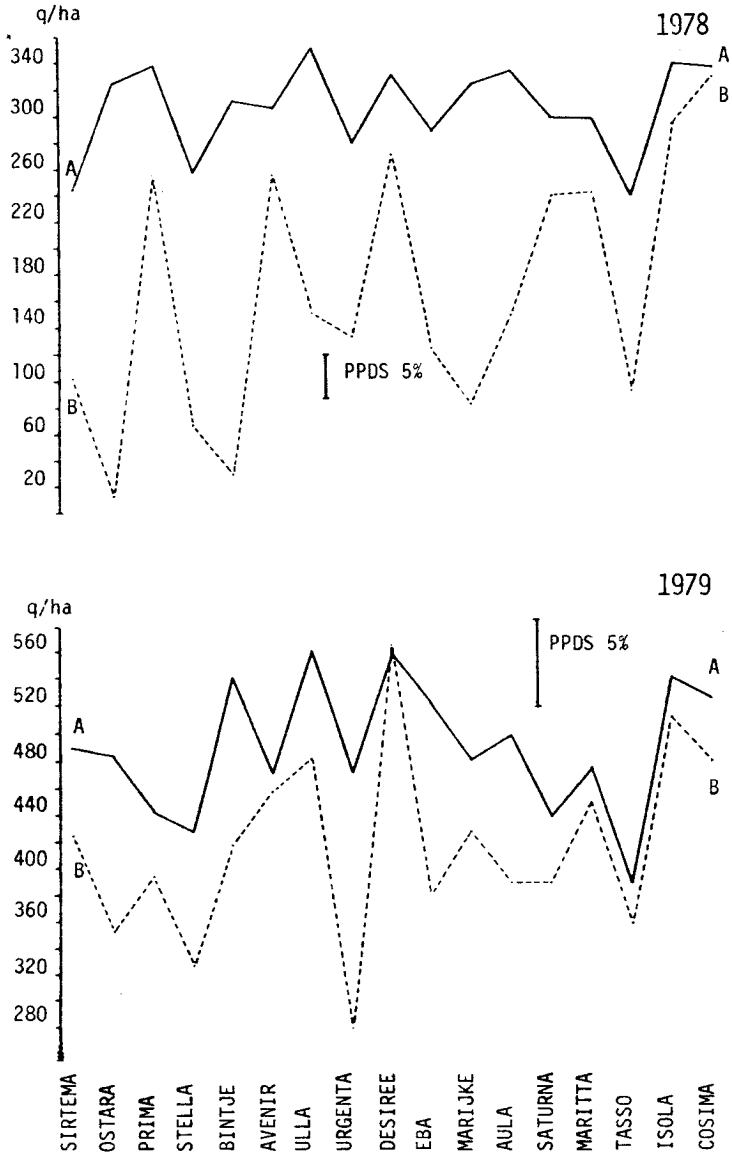


3.4.2.3 Influence de l'année et de l'âge physiologique des plants sur le rendement

L'été 1977 a été marqué par des températures plutôt basses et une pluviométrie excédentaire en juin et juillet (fig. 5). Les cultures en ont généralement souffert, et surtout dans les régions élevées, seuls 81% des plants fortement vieilliss (B) ont levé. Les rendements étaient par conséquent assez médiocres. Des écarts significatifs de rendement ont été obtenus entre les deux procédés de préparation des plants (A et B). La prégermination adaptée à la variété (A) a donné des rendements supérieurs comparée au vieillissement excessif des plants (B) pour les variétés Sirtema, Bintje, Urgenta, Eba, Marijke et Tasso (fig. 27).

Fig. 28 : Effet d'un vieillissement excessif des plants sur le rendement des variétés de la liste officielle suisse 1978 et 1979

A = vieillissement des plants adapté à la variété
B = vieillissement très prononcé des plants



En 1978, les températures du mois de juin étaient de nouveau inférieures à la normale, 10,4 °C (11 °C = moyenne de 16 années) et juillet également 12,1 °C contre 13,1 °C (fig. 5). Le taux de boulage était particulièrement élevé; à peine 70% des plants fortement vieillis (procédé B) avaient levé, contre 99% pour la prégermination adaptée à la variété (tabl. 5). L'effet sur le rendement a été marqué d'une manière significative, seule la variété Cosima avec une très longue période d'incubation n'a pas subi de diminution de rendement par un vieillissement très prononcé des plants (fig. 28).

Enfin l'année 1979 a offert des températures correspondant à la normale. La levée a été satisfaisante avec 93,9% de plants pour le procédé B. Les rendements étaient très bons; cependant, nous avons observé des écarts significatifs entre les procédés de préparation des plants pour les variétés Ostara, Stella, Bintje, Ulla, Urgenta, Eba et Aula (fig. 28).

Il ressort de cet essai que les conditions de croissance et spécialement la température exerce une influence prédominante sur la levée et la formation du rendement.

Cet effet est particulièrement marqué lorsque les plants ont atteint un stade physiologique avancé au moment de la plantation.

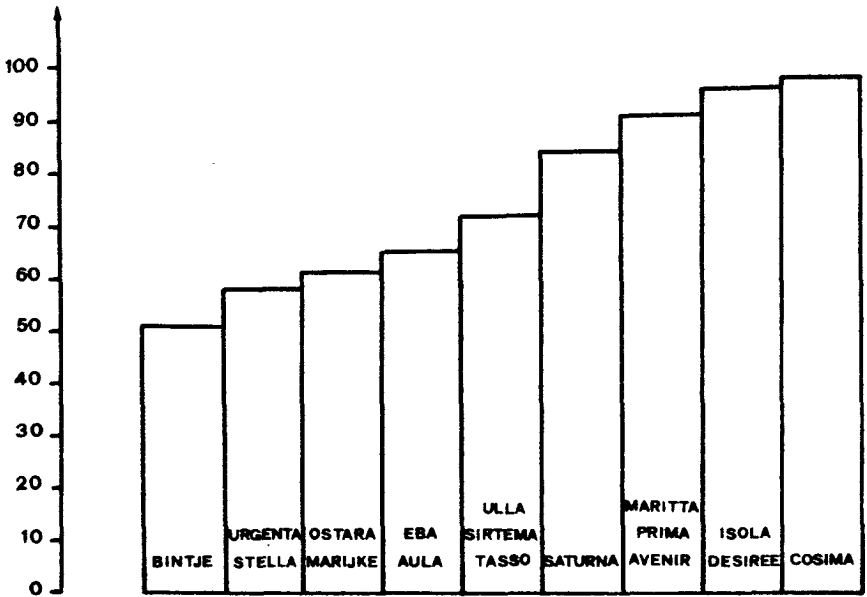
3.4.2.4 Influence de l'âge physiologique des plants sur le calibre des tubercules à la récolte

D'une manière générale, il a été observé que par un vieillissement physiologique des plants on arrivait à augmenter la proportion de grands tubercules (REUST et MÜNSTER, 1974; RAVUSSIN, 1972; HEDIGER, 1979). Cet effet peut être expliqué par une tubérisation plus hâtive des plants d'un âge physiologique avancé. Cependant, lorsque l'âge physiologique des plants est extrêmement avancé, comme cela a été le cas pour les variétés Bintje, Stella et Aula par exemple, cet effet se perd en raison de la diminution de vigueur des plantes. Les rendements en tubercules du petit calibre (< 35 mm) et du calibre moyen (35-55 mm) ont été inférieurs chez la plupart des variétés, lors d'un vieillissement excessif des plants (tabl. 6).

Fig. 29 : Sensibilité des variétés de pommes de terre de la liste officielle suisse à un vieillissement prononcé des plants provoqué par 4 mois de conservation à 15 °C, ensuite égermage et prégermination pendant 6 semaines

100 = rendement obtenu avec des plants conservés et prégermés dans des conditions adaptées aux variétés 1977 - 1979, la Frêtaz

% du rendement optimal



3.4.2.5 Influence de l'âge physiologique des plants sur la teneur et le rendement en amidon

Les plants d'un âge physiologique avancé présentent un développement initial très rapide (SINGH, 1972). Cependant, lorsque l'incubation est trop avancée, les plantes ne sont plus capables de se développer normalement et la formation foliaire peut être totalement absente (boulage) ou fortement réduite.

Tabl. 6 : Rendements calibrés, en valeurs relatives, obtenus avec des plants d'un âge physiologique avancé (procédé B). 100 = rendements obtenus avec des plants d'un âge physiologique adapté à la variété (procédé A).

Variétés de la liste officielle suisse, 1977 - 1979, la Frêtaz

Variétés	Rendements relatifs procédé B			Total
	< 35 mm	35-55 mm	> 55 mm	
Sirtema	93	77	62	68 *
Ostara	38	48	104	57 *
Prima	66	86	127	87
Stella	68	54	56	58 *
Bintje	59	52	39	52 *
Ulla	79	75	56	72 *
Avenir	78	88	105	91
Urgenta	37	50	143	55 *
Désirée	99	83	135	93
Eba	38	69	64	64 *
Marijke	20	41	144	55 *
Isola	105	95	90	95
Aula	106	66	50	65 *
Saturna	90	84	57	85 *
Maritta	65	90	121	89
Tasso	52	73	144	71 *
Cosima	91	90	112	96

* Différence de rendement significative par rapport au procédé A = 100 (P = 5%)

Tabl. 7 : Taux et rendement d'amidon (q/ha), et notes de maturité à la récolte selon les procédés de vieillissement des plants
Valeurs moyennes 1977 - 1979, La Frêtaz

Procédé	A M I D O N				1) Notes de maturité à la récolte	
	%	%	q/ha	q/ha	A	B
	A 2)	B 3)	A	B	A	B
Sirtema	11,8	11,9	37,7	27,9	2,5	2,3
Ostara	12,1	12,0	40,2	22,1	3,7	2,5
Prima	13,2	13,8	42,5	38,6	3,5	3,7
Stella	12,1	11,9	41,5	23,0	5,5	6,3
Bintje	14,9	13,5	52,5	24,1	5,7	4,0
Avenir	14,1	13,9	46,0	41,4	5,8	5,2
Ulla	13,0	13,1	46,1	33,7	5,0	5,2
Urgenta	13,6	13,1	42,8	22,3	3,5	4,7
Désirée	13,3	13,4	47,6	43,7	5,7	5,7
Eba	14,6	13,6	48,0	28,5	7,0	7,0
Marijke	13,9	12,9	44,6	23,5	6,0	5,7
Saturna	16,1	15,8	51,0	42,1	4,7	4,8
Aula	14,5	14,2	60,3	38,9	6,5	6,8
Maritta	15,1	15,1	46,7	42,1	7,8	7,5
Tasso	16,1	14,6	41,6	27,4	7,3	8,0
Isola	13,3	13,3	49,3	46,5	6,2	6,3
Cosima	13,7	14,2	48,8	49,0	7,7	7,7
Moyenne	13,8	13,5	46,3	33,8	5,5	5,5
Ppds 5%	n.s.		4,33			

1) Notes : 1 = maturité complète
9 = toutes les fanes encore vertes

2) A = plants prégermés de manière optimale

3) B = plants fortement incubés (âge physiologique très avancé)

Nous avons déterminé la teneur en amidon durant les 3 années sur un échantillon comprenant un mélange de tubercules de calibre moyen des 4 répétitions. Les résultats (moyennes de 3 ans) figurent sur le tableau 7.

On peut noter de manière générale que les teneurs en amidon sont plutôt basses en raison du stade de maturité des cultures peu avancé lors de la récolte. Les cultures étant plantées fin mai-début juin, et le défanage ayant lieu début septembre, la période de végétation se trouve ainsi limitée à 3 mois.

Les procédés de préparation des plants n'exercent pas une influence significative sur la teneur en amidon de la récolte. En revanche, l'écart est significatif pour ce qui concerne le rendement en amidon.

3.4.3 Prégermination des plants adaptée à la variété

Comme il ressort des figures 27, 28 et 29, la réaction des variétés au vieillissement présente une grande variation. Nous avons observé que des variétés à courte durée d'incubation présentent une très forte diminution de rendement lorsque les plants sont fortement vieillis, dont particulièrement Bintje, Urgenta et Stella. En revanche, les variétés à longue durée d'incubation telles Cosima et Maritta, ne réagissent pratiquement pas. Un grand nombre de variétés ont un comportement intermédiaire. La variété Marijke semble présenter une exception par son extrême sensibilité au bouillage lorsque les plants ont été vieillis et égermés avant la plantation.

Ces observations nous ont incité à différencier la prégermination selon les caractéristiques physiologiques de chaque variété (durées de dormance et d'incubation) et l'objectif de culture, soit pommes de terre prévues être récoltées avant leur maturité (primeurs et plants) et pommes de terre récoltées à la maturité telles consommation, industrielles et fourragères (tabl. 8).

Il s'agit par la prégermination d'obtenir un vieillissement optimal des plants tout en tenant compte des conditions de croissance (températures) et de préconservation.

L'âge physiologique du plant ainsi obtenu doit permettre à la plante de développer une surface foliaire optimale, mais pas au désavantage de la tubérisation.

Tabl. 8 : Durées de prégermination différenciées des variétés de pommes de terre de la liste officielle suisse, exprimées en semaines. Les tubercules sont exposés à une température de 10-12 °C.

OBJECTIFS DE CULTURE			
Variétés classées dans l'ordre de précocité	Consommation, industrielle, fourragère (récolte à maturité)	Production de plants	Culture de primeurs
Colmo	4	4- 5	8- 9
Christa, Sirtema, Ostara	4- 5	5- 7	10-12
Prima	6- 8	8-10	12-13
Bintje, Urgenta, Avenir	4- 5	5- 6	-
Stella	4	4- 5	-
Ulla, Eba, Marijke	5- 6	6- 7	-
Palma, Désirée, Isola,			
Aula, Saturna	6- 7	7- 8	-
Maritta	7- 8	8	-
Tasso	6- 7	7- 8	-
Cosima	9-10	10-12	-

Comme il ressort du tableau 8, il est indispensable de faire une distinction à l'intérieur d'un groupe de variétés d'une même précocité. Par exemple, la variété Colmo demande à être prégermée moins longtemps que Sirtema et Christa, sous peine d'en compromettre le rendement.

Les durées de prégermination sont basées sur des températures de 10-12 °C et une humidité relative de l'air de 85%, avec lumière diffuse dès l'apparition des germes. Lorsque les températures sont plus élevées, ces durées seront légèrement diminuées ou, dans le cas contraire, augmentées.

IV. DISCUSSION ET CONCLUSIONS

1. DISCUSSION

Généralités et définition de l'âge physiologique

Nos essais ont permis de confirmer les résultats de BURTON (1965) et MADEC et PERENNEC (1969), selon lesquels l'âge physiologique des pommes de terre est à prendre en considération à partir de leur formation et non seulement depuis la récolte, comme l'avait suggéré EMILSSON (1949) et KAWAKAMI (1952).

Comme l'avaient démontré antérieurement EMILSSON (1949), MADEC et PERENNEC (1955), REUST (1975 et 1977), ces deux phases sont étroitement liées au génotype et subissent d'importantes influences par les conditions de croissance.

Afin de rendre possible la mesure de l'âge physiologique, nous avons exprimé le degré de vieillissement des tubercules à l'aide de sommes de températures obtenues à partir du seuil de zéro degré.

La dormance et l'incubation sont déterminés sur des tubercules reposant sur un support de perlite ou de sable constamment humidifié, et entreposés dans un local offrant des conditions favorables au vieillissement.

La température la plus favorable pour l'évolution physiologique des variétés examinées se situe entre 15 et 20 °C, à l'obscurité, avec un taux d'humidité très élevé (85-95%).

Ces résultats concordent avec les travaux réalisés par CLAVER (1953).

La température de 25 °C est moins propice à la croissance des germes.

Nous n'avons pas observé de différences significatives de la période de dormance entre les variétés comme l'a signalé BURTON (1963), mais celles que nous avons étudiées ici se caractérisent par des périodes de dormance plutôt courtes. Quant à la période d'incubation, des différences significatives ont été obtenues entre variétés indépendamment de leur précocité.

La provenance des tubercules semble exercer un effet déterminant sur la

dormance. En général, nous avons observé que les tubercules de provenance Frêtaz (1200 m) présentaient une dormance plus courte que ceux des régions basses. Nous avons été en mesure de confirmer ces résultats par des essais en chambre de croissance. Ces résultats peuvent paraître en contradiction avec les observations de WENT (1959) qui avait noté une dormance plus prononcée sur des tubercules cultivés en basses températures. Il s'agit cependant d'une interprétation différente de la dormance.

D'autre part, il semble qu'une plantation tardive, c'est à dire début mai, puisse également raccourcir la dormance. Nous ne pouvons expliquer ce dernier cas qui pourrait cependant présenter une similitude avec les années fraîches et humides telles 1977 et 1978 où la période de dormance des tubercules produits en plaine a également été raccourcie par rapport à l'année chaude et aride de 1976.

Pour ce qui concerne la période d'incubation, la plantation tardive a souvent provoqué une prolongation par rapport à la première plantation. En revanche, la provenance Frêtaz présente régulièrement la période d'incubation la plus courte.

- Facteurs influençant l'âge physiologique

La température de conservation est le principal facteur agissant sur l'âge physiologique des pommes de terre. Les températures les plus favorables pour une rapide évolution physiologique des variétés examinées se situent entre 15 et 20 °C (25 °C pour la variété Sirtema) avec un taux d'humidité très élevé (85-95%).

Selon EMILSSON (1949), les viroses ne semblent pas affecter la dormance des tubercules. Quant à leur influence sur la période d'incubation, il n'a pas été observé d'effet significatif par les deux plus importants virus de la pomme de terre pour notre région qui sont la mosaïque (Y) et l'enroulement (R). Cependant, la variation de la durée d'incubation de tubercules contaminés est plus élevée que celle de tubercules sains.

- Indicateurs de l'âge physiologique

L'évolution des germes a été mise en relation avec la durée d'incubation.

La croissance des germes est souvent plus lente sur les variétés à longue période d'incubation que sur celles à périodes moyennes et courtes.

Comme l'avait suggéré MÜLLER (1975), le saccharose, les acides citrique et malique semblent être des indicateurs physiologiques fiables. Cependant, des écarts importants sont apparus entre les variétés, provenances et années. Bien que la teneur en saccharose des tubercules atteigne des valeurs comparables entre les provenances pendant la dormance, au stade de tubérisation on a observé des écarts plus importants entre lieux de culture. La teneur en acides citrique et malique peut également présenter des écarts importants selon les provenances malgré leur évolution similaire. L'acide citrique atteint son taux maximum lorsque celui de l'acide malique est au point le plus bas, soit au stade de germination. Au stade de tubérisation, c'est l'inverse, le taux d'acide citrique s'abaisse généralement à un minimum alors que l'acide malique atteint son plus haut niveau.

Ces substances permettent de fournir des indications précises sur l'âge physiologique des tubercules. Cet aspect nouveau nous paraît d'une grande importance pour interpréter l'âge physiologique d'un tubercule, car ces substances pourraient être utilisées comme indicateurs physiologiques du potentiel de rendement du plant pour une variété. Il s'agit d'établir pour chaque variété une limite supérieure de la teneur en saccharose ou de l'acide malique, et une limite inférieure pour celle de l'acide citrique des tubercules. Lorsque les seuils de ces substances sont dépassés, des risques culturels tels une diminution de vigueur des plantes et de rendement, en serait la conséquence.

Contrairement à ce qu'avait observé CARLS (1979), la masse des germes produits avant la plantation ne permet pas de donner d'information générale sur l'âge physiologique des tubercules. Il n'a pas été obtenu de relation significative entre la masse de germes et le nombre de plantes levées, lorsqu'on considère l'ensemble des variétés. Cependant, cette observation pourrait s'avérer correcte sur quelques rares variétés telles Bintje et Urgenta qui présentent une luxuriante germination et une incubation plutôt courte. En revanche, une bonne relation a été observée entre la durée d'incubation des variétés et leur sensibilité à un vieillissement excessif. Les variétés à courtes périodes d'incubation réagissent plus défavorablement au rendement que les variétés à longue incubation lorsque les plants sont trop vieilliss.

Certaines variétés, particulièrement Marijke, font exception par leur sensibilité très élevée au boulage, malgré une période d'incubation moyenne.

- Influence de l'âge physiologique sur le rendement

Le rendement des variétés est donc plus ou moins influencé par l'âge physiologique des plants. La diminution moyenne du rendement consécutive à l'âge physiologique trop avancé des plants a été d'environ 30% par rapport à une culture issue de plants conservés dans des conditions optimales. Ces résultats se basent sur 3 ans d'essais et 17 variétés cultivées en Suisse.

Le rendement en tubercules de grand calibre (>55 mm) ainsi que le taux d'amidon n'ont pas subi d'influence significative selon que les plants ont été plus ou moins incubés. Des observations semblables ont également été faites par CARLS (1978). En revanche, le rendement en tubercules plus petits que 55 mm a subi une diminution significative par le vieillissement excessif des plants.

- Adapter l'âge physiologique à la variété et à son utilisation

Chaque variété ayant un comportement physiologique différent, il s'agit d'en tenir compte pour la conservation et la prégermination des plants. Nous proposons des durées de prégermination spécifiques à la variété (génotype) tout en tenant compte de leur utilisation.

2. CONCLUSIONS

2.1 Appréciation de l'âge physiologique

L'âge physiologique des tubercules renseigne sur leur degré de vieillissement. Cependant, il n'est pas aisé de reconnaître le stade physiologique uniquement par la morphologie du tubercule et des germes.

Le stade physiologique étant à prendre en compte à partir de la formation

des tubercules, il est indispensable de connaître les périodes de dormance et d'incubation pour chaque variété, tout en tenant compte de leur origine.

Les périodes de dormance et d'incubation peuvent être déterminées sur des tubercules placés sur un support de sable ou de perlite constamment humidifié et maintenu à une température entre 15 °C et 20 °C à l'obscurité.

La période de dormance s'étend de la formation du tubercule jusqu'à l'apparition du premier germe et la période d'incubation entre le début de germination et l'apparition des premiers tubercules-fils sur les germes.

Des contrôles hebdomadaires sont indispensables afin de pouvoir cerner exactement ces deux périodes. On peut considérer que chacune de ces deux périodes arrive à terme lorsque 80% des tubercules mis en observation ont respectivement germé ou formé des tubercules.

La longueur des germes ne donne pas d'indication fiable de manière générale sur l'âge physiologique des tubercules.

2.2 Importance de l'âge physiologique

L'âge physiologique des plants exerce une influence considérable sur le calibre des tubercules, le rendement, et finalement sur le taux de récolte commercial. Ce degré de vieillissement doit être adapté à la variété et à l'objectif de culture. Par exemple, pour produire des pommes de terre primaires, les plants seront fortement vieillis afin d'avancer le plus possible la tubérisation. Pour une culture de sélection, le vieillissement des plants devra être choisi suffisamment long, afin que le rendement économique soit bon lorsque intervient le défanage. Il s'agit ici de combiner les techniques culturales et l'âge physiologique des plants pour obtenir un maximum de tubercules de calibre moyen. Les plants pour les cultures de transformations industrielles seront suffisamment vieillis, afin d'obtenir une teneur en amidon et un degré de maturité élevé à la récolte. En revanche, pour une culture de consommation, récoltée à maturité, il sera préférable de ne pas trop incuber les plants. Ces cultures devront atteindre une vigueur maximale pendant une longue période de croissance. Les variétés à longue période d'incubation demandent des sommes de températures plus élevées (prégermination plus longue) que celles à courte

période. D'autre part, il faut tenir compte de la provenance des tubercules plants. Les tubercules issus de régions élevées présentent un retard dans leur développement et exigent par conséquent des sommes de températures plus élevées que les provenances de basse altitude pour atteindre le même stade d'incubation à une époque donnée. Le retard de développement a été principalement expliqué par le décalage (dans la saison) de la mise en place de la culture.

Les tubercules du petit calibre (35 mm) présentent une dormance plus longue que ceux du grand calibre (50 mm) et particulièrement s'ils proviennent de régions élevées. En revanche, il n'y a pas de différence dans la durée d'incubation entre tubercules de différents calibres.

Pour obtenir un âge physiologique optimal des plants lors de la plantation, il est indispensable de connaître la durée d'incubation de chaque variété.

Nos observations complétées par les données de la littérature sur l'effet de l'âge physiologique des plants sur la culture de pommes de terre, sont présentées dans le tableau 9.

Tabl.9 : INFLUENCE DE L'AGE PHYSIOLOGIQUE DES TUBERCULES PLANTS SUR LE DEVELOPPEMENT DE LA CULTURE

	AGE PHYSIOLOGIQUE DU PLANT	
	JEUNE	VIEUX
LEVEE	LENTE	RAPIDE
SENSIBILITE AUX ACCIDENTS DE LEVEE, BOULAGE	TRES FAIBLE	ELEVE
CROISSANCE DES PLANTES	LENTE	RAPIDE
NOMBRE DE TIGES	MOYEN A FAIBLE	MOYEN A ELEVE (PEUT VARIER SELON LES VARIETES)
HAUTEUR DES FANES	HAUTES	COURTES
DUREE DE VEGETATION	LONGUE	PLUS COURTE
NOMBRE DE TUBERCULES PAR PLANTE	MOYEN	MOYEN A ELEVE (PEUT VARIER SELON LES VARIETES)
CALIBRE DES TUBERCULES		PLUS GRAND (DEPEND DE L'EPOQUE DE LA RECOLTE)
RENDEMENT : HATIF	BAS	ELEVE
MATURITE	ELEVE	MOINS ELEVE
SENSIBILITE AUX PARASITES DU SOL (FUSARIUM SP.)	PEU	ELEVEE
SENSIBILITE AUX VIRUS (INFECTION PRIMAIRE)	ELEVEE	MOINS ELEVEE

V. RESUME

1. L'âge physiologique de la pomme de terre est la conséquence d'une évolution du tubercule qui se manifeste sur la croissance et la tubérisation. Pour la pratique, la notion d'âge physiologique était jusqu'à présent difficile à interpréter en raison de la méconnaissance de la physiologie fondamentale des variétés, telles les périodes de dormance et d'incubation.
2. Dans une revue de la littérature, la notion d'âge physiologique d'un tubercule a été analysée et définie avec l'aide des périodes de dormance et d'incubation. La période de dormance d'un tubercule se situe entre sa naissance et l'apparition des premiers germes. La période d'incubation comprend le temps entre la germination des tubercules et la tubérisation. Les ébauches de tubercules doivent alors présenter un diamètre distinctement supérieur à celui du stolon. Ces deux périodes sont fortement liées au génotype, mais elles subissent également les influences des conditions de croissance.
3. La partie expérimentale comprend l'étude des périodes de dormance et d'incubation pendant les années 1976 à 1979, sur 4 variétés de pommes de terre, cultivées dans trois régions de Suisse romande: Nyon/Changins, (Bassin lémanique, altitude 450 m); Fey (Gros-de-Vaud, altitude 650 m) et Bullet/Frêtas (Jura, altitude 1200 m). D'autre part, la période d'incubation a également été déterminée sur toutes les variétés de pommes de terre de la liste officielle suisse, cultivées à Fey (altitude 650 m). Un essai comparatif de plants d'âge physiologique différent, avec ces mêmes variétés, a été installé à la Frêtas (altitude 1200 m) de 1977 à 1979, dans le but d'en déterminer l'influence sur le rendement.

Les périodes de dormance et d'incubation ont été déterminées sur des tubercules proprement lavés et placés dans un milieu de sable ou de perlite humide. La température ambiante du local d'incubation a été choisie de 15 °C à 25 °C, et l'humidité relative de 85-95%; l'obscurité est maintenue pendant toute la période d'observation.

L'âge physiologique a été exprimé par des sommes de températures obtenues par cumulation des moyennes journalières au-dessus de 0 °C.

4. RESULTATS

- Pour le groupe de variétés étudiées, il n'a pas été observé de différence significative entre les périodes de dormance. Cependant, des écarts significatifs ont été obtenus entre les provenances; la même variété nécessite une somme de températures de 2'000 à 2'800 °C.

La période de dormance est généralement plus courte sur les tubercules de la provenance Frêtaz (1200 m) que sur ceux cultivés à Changins (450 m) et Fey (650 m).

- La période d'incubation varie entre une somme de températures de 1'600 à 3'100 °C selon les variétés.
- Il n'y a pas nécessairement de relation entre la période de dormance et la période d'incubation des variétés. On peut distinguer entre variétés à courte période de dormance et courte incubation et variétés à courte période de dormance et longue période d'incubation et vice-versa.
- L'époque d'arrachage des fanes entre 90 et 135 jours de végétation n'influence pas la dormance des tubercules, mais la période d'incubation a tendance à être prolongée avec l'augmentation de la durée de croissance.
- Les températures les plus favorables à l'évolution physiologique des tubercules se situent entre 15 °C et 20 °C.
- Le calibre des plants exerce une influence sur la dormance. En général, les petits tubercules (35 mm) présentent une dormance plus longue que ceux d'un calibre de 50 mm. En revanche, il n'a pas été observé de différence de période d'incubation entre les calibres.
- Les viroses sont responsables d'une plus grande variation dans l'évolution physiologique des tubercules, mais pas de manière significative.
- Le saccharose et les acides citrique et malique peuvent être considérés comme indicateurs de l'âge physiologique. Le saccharose et l'acide malique atteignent leur taux le plus bas au début de la germination et le plus élevé lors de la tubérisation, tandis que l'acide citrique présente une évolution inverse.
- La masse des germes produite avant la plantation ne donne pas d'indication

généralement fiable sur l'âge physiologique des tubercules. Certaines variétés germent peu mais vieillissent rapidement, par exemple Ostara, Marijke, et d'autres germent beaucoup mais vieillissent lentement, par exemple Sirtema et Désirée. Enfin, une troisième catégorie germe avec luxuriance et vieillit rapidement telles Bintje, Urgenta et Stella.

- Une bonne relation a été observée entre la période d'incubation et la sensibilité des plants à un vieillissement excessif. Les variétés à courte période d'incubation sont, à l'exception de Marijke, généralement plus sensibles au boulage que les variétés à longue période.
- Les cultures issues de plants d'un âge physiologique avancé produisent généralement moins de petits tubercules que celles qui proviennent de plants jeunes.
- Pour réaliser un âge physiologique optimal des plants, il est indispensable de prendre en considération la durée d'incubation de la variété ainsi que l'objectif de culture.
- D'une manière générale, nous avons observé que le comportement physiologique diffère sensiblement entre les variétés et les provenances. Ces différences peuvent cependant être atténuées par des conditions de conservation et de prégermination adaptées à la variété et à la provenance.

ZUSAMMENFASSUNG

BEITRAG ZUR UNTERSUCHUNG DES PHYSIOLOGISCHEN ALTERS DER KARTOFFELKNOLLEN UND BESTIMMUNG SEINER WIRKUNG AUF DEN ERTRAG

1. Das physiologische Alter der Kartoffel wird durch die Entwicklung der Knolle bedingt, es übt einen bedeutenden Einfluss auf das Wachstum und die Knollenbildung aus. Für die Praxis ist es oft schwierig, das physiologische Alter einer Knolle zu beschreiben, da die Grundkenntnisse über die Keimruhe- und Inkubationsperiode fehlen.
2. In einer Literaturübersicht wird der Begriff des physiologischen Alters einer Knolle mit Hilfe der Umschreibung der Keimruhe- und Inkubationsperiode diskutiert. Die Keimruhe beginnt mit der Knollenbildung und endet mit Beginn der Keimung. Die Inkubationsperiode erstreckt sich von der Keimung bis zur Bildung von Tochterknollen. Diese beiden Lebensabschnitte einer Knolle werden nicht nur genotypisch beeinflusst, sondern auch von den Wachstumsbedingungen.
3. Der experimentelle Teil befasst sich mit der Bestimmung der Keimruhe- und Inkubationsperiode in den Jahren 1976-1979 von vier Kartoffelsorten und drei Herkünften aus der Westschweiz: Changins b. Nyon (Bassin lémanique, 450 m H.ü.M); Fey (Gros-de-Vaud, 650 m H.ü.M) und Bullet (La Frêtaz, Jura, 1200 m H.ü.M). Es wurde ebenfalls die Inkubationsperiode aller in der schweizerischen Sortenliste eingeschriebenen Kartoffelsorten bestimmt. Ein Anbauversuch dieser Sorten mit unterschiedlicher Alterung des Saatgutes wurde in La Frêtaz (1200 m H.ü.M.) von 1977-1979 angelegt. In diesen Versuchen wurde der Einfluss des physiologischen Alters der Saatkollen auf den Ertrag untersucht.

Zur Bestimmung der Keimruhe- und Inkubationsperiode wurden die Knollen sorgfältig gewaschen und auf feuchten Sand oder Perlit angesetzt. Die Raumtemperatur betrug je nach Verfahren 15 °C bis 25 °C und die relative Luftfeuchtigkeit 85-95%. Die Knollen wurden während der ganzen Versuchsdauer in der Dunkelheit gehalten.

Das physiologische Alter wurde in Temperatursummen angegeben (Tagesmittel über 0 °C).

4. Ergebnisse

- Zwischen den vier Sorten wurde kein gesicherter Unterschied in der Keimruhedauer beobachtet. Hingegen traten gesicherte Unterschiede zwischen den Herkünften auf. Die gleiche Sorte erfordert je nach Herkunft eine Temperatursumme von 2'000-2'800.
- Die Keimruheperiode ist im allgemeinen kürzer bei Knollen der Herkunft La Frêtaz (1200 m H.ü.M.) als bei jenen aus Changins (450 m H.ü.M.) und Fey (650 m H.ü.M.).
- Die Inkubationsperiode variiert zwischen einer Temperatursumme von 1'600 und 3'100 je nach Sorte. Es besteht keine allgemein gültige Relation zwischen der Keimruhe- und Inkubationsperiode. Es wurden grundsätzliche Unterschiede gefunden zwischen Sorten mit kurzer Keimruhe- und kurzer Inkubationsperiode und Sorten mit kurzer Keimruhe- und langer Inkubationsperiode und umgekehrt.
- Der Zeitpunkt des Krautziehens nach 90 bis 135 Vegetationstagen beeinflusst die Keimruhe nicht, hingegen neigt die Inkubationsperiode dazu, bei zunehmender Wachstumszeit länger zu werden.
- Die günstigsten Temperaturen für das physiologische Altern der Knollen befinden sich zwischen 15 °C und 20 °C.
- Das Kaliber des Saatgutes beeinflusst die Keimruheperiode. Im allgemeinen haben kleine Knollen (35 mm) eine längere Keimruhe als solche von 50 mm Quermass. Bei der Inkubationsperiode wurde jedoch kein Unterschied beobachtet.
- Virusranke Knollen zeigen eine grössere Variation in der physiologischen Entwicklung. Die Inkubationsperiode wurde jedoch durch Virusbefall nicht signifikant verändert.
- Saccharose wie Zitronen- und Apfelsäure können als Indikatorsubstanzen des physiologischen Alters betrachtet werden. Saccharose und Zitronensäure erreichen ihren tiefsten Gehalt zu Keimbeginn und den höchsten bei Knollenansatz. Der Gehalt an Zitronensäure zeigt einen umgekehrten Verlauf.
- Das Keimgewicht vor der Pflanzung gibt keine allgemein gebräuchliche Angabe über das physiologische Alter der Knollen. Einige Sorten

keimen wenig aber altern sehr rasch, wie zum Beispiel Ostara, Marijke; andere Sorten hingegen sind sehr keimfreudig aber altern langsam, z.B. Sirtema und Désirée. Eine dritte Sortengruppe ist sehr keimfreudig und altern rasch, z.B. Bintje, Urgenta und Stella.

- Es wurde eine gute Relation zwischen der Inkubationsperiode und ihrer Altersempfindlichkeit bei den Sorten beobachtet. Sorten mit kurzer Inkubation neigen mit Ausnahme von Marijke im allgemeinen mehr zur Knöllchensucht als solche mit langer Inkubationsperiode.
- Pflanzen aus physiologisch gealtertem Saatgut bilden im allgemeinen weniger kleine Knollen als diejenige aus physiologisch jungem Saatgut.
- Das optimale physiologische Alter des Pflanzgutes kann im Hinblick auf die Ertragsbildung je nach Sorte und Verwendungszweck festgelegt werden.
- Es konnte in dieser Arbeit gezeigt werden, dass bedeutende Unterschiede im physiologischen Verhalten zwischen Sorten und Herkünften bestehen. Solche Unterschiede können jedoch zu einem grossen Teil durch Lagerungs- und Vorkeimungsbedingungen, die den Sorten und den Herkünften angepasst sind, behoben werden.

SUMMARY

ESTIMATION OF THE PHYSIOLOGICAL AGE OF POTATO TUBERS (SOL. TUBEROSUM) AND STUDY ON ITS INFLUENCE ON THE YIELD

1. Physiological aging of the potato is the result of tuber senescence which influences growth and tuberization.

Since there was a lack of basic information concerning physiological aging, such as duration of dormancy and incubation periods of each variety, it was often very difficult for the grower to apply this concept.

2. In a literature review, the term physiological age was analysed and defined according to dormancy and incubation phases.

Tuber dormancy takes place between tuber formation and sprouting. The incubation period is the time between sprouting and tuberization on the sprout in the darkness. Both periods are strongly dependent on the genotype, but also influenced by growing conditions.

3. Dormancy and incubation periods were studied during the experimental part from 1976 until 1979. 4 potato varieties were chosen and cultivated at 3 different locations in Switzerland/ Changins-Nyon (Bassin lémanique 450 m), Fey (Gros-de-Vaud, 650 m) and Bullet-FrêtaZ (Jura, 1200 m).

Furthermore, the incubation period was also determined for all potato varieties cultivated in Switzerland. A comparative trial with seed tubers of the same varieties, using tubers of different physiological ages, was carried out from 1977 to 1979 in the Jura region, (La FrêtaZ, 1200 m). The aim was to study the influence of physiological age on yield.

Dormancy and incubation periods were determined using well washed tubers, which grew on a sand or perlite medium and were kept constantly wet. Room temperature was between 15 °C and 25 °C depending on the trial, with a relative humidity of about 85-95%. The incubation room was kept dark.

Physiological age was expressed as the sum of temperature which were obtained by summing up the daily mean temperatures above zero degree Celsius.

4. Results: There was no difference in dormancy time for the varieties tested. However, significant differences were found for locations. The same variety may need a sum of temperatures from 2'000 to 2'800, depending on its origin.
 - Dormancy is generally shorter for tubers produced at higher altitudes than for those produced at lower altitudes.
 - The incubation periode lasts from a sum of temperatures between 1'600 to 3'100, depending on variety.
 - There is not necessarily a connection between dormancy and incubation time. Some varieties had short dormancy and short incubation time, and other short dormancy and long incubation, and vice versa.
 - Time of haulm-pulling after 90 to 136 days of growth does not influence dormancy of tubers but incubation time seems to be prolonged when growing time is longer.
 - The most favourable temperature for tuber senescence is between 15 °C and 20 °C.
 - Tuber size affected duration of dormancy. Small tubers (35 mm) were dormant longer than average-sized tubers (50 mm). On the other hand, there was no difference in the length of the incubation period for tubers of different sizes.
 - Virus contamination does not influence physiological aging significantly.
 - Sucrose, citric and malic acids may be considered as indicators of physiological aging. Sucrose and malic acids are present in low concentrations at sprout apparition; higher concentrations are found during tuber formation. The reverse is true for citric acid.
 - Sprout bulk, produced before planting, provides an unreliable indication of the physiological age of tubers. Some varieties have a very

poor sprouting, but physiological senescence is quick, i.e. Ostara, Marijke, other cultivars have a very luxuriant sprouting, but the senescence is slow, i.e. Sirtema and Désirée. A third group of cultivars with very fast sprout growth have also a fast senescence, i.e. Bintje, Urgenta, and Stella.

- A good relation was observed between incubation time and sensitivity of seed tubers to little potato. Varieties with short incubation, Marijke excepted, are generally more sensitive to little potato formation than varieties with longer incubation time.
- Crops from physiologically old seeds usually produce fewer small tubers than those from physiologically young seed tubers.
- In order to obtain tubers of optimal physiological age, it is necessary to consider incubation time of the variety and the objective of cultivation.
- It could be concluded that there are important differences in the physiological behaviour between cultivars and origins. However, such differences could largely be attenuated with appropriate storage and presprouting conditions for each variety and each origin.

VI. BIBLIOGRAPHIE

- AERNY J. (1978): Dosages de saccharose, d'acide malique et d'acide citrique dans les pommes de terre. Rapport interne. Station fédérale de recherches agronomiques de Changins/Nyon (non publié).
- ALLEN E.J., BEAN J.N., GRIFFITH R.L. and O'BRIEN P.J. (1979): Effects of length of sprouting period on growth and yield of contrasting early potato varieties. *Journal of agr. science UK*. 92 (1) 151-163.
- ANONYME (1977): Croissance et tubérisation de la pomme de terre. Institut technique de la pomme de terre. Fiche d'information no 59. La Pomme de terre française, 378.
- ANONYME (1980): Catalogue néerlandais des variétés de pommes de terre. Institut de l'Etat pour la recherche sur les variétés de plantes cultivées (RIVRO), Wageningen, Pays-Bas.
- BEAN J.N. and ALLEN E.J. (1980): Effect of physiological age and variety on growth and light interception in the potato. Conf. Physiology Section EAPR, Gjøvik, Norvège 1979. *Potato Res.* 23, 256-257.
- BECKA J. (1978): Study of dormancy in potato cultivars with different duration of the growing period. *Potato Abstracts* 1978, 3, 219.
- BEN KHEDER M. (1980): Influence de l'âge physiologique et des conditions climatiques sur le comportement de la pomme de terre dans les régions côtières en Tunisie. Conf. section physiologie de l'EAPR, Gjøvik, Norvège, 1979. *Potato Res.* 23, 255.
- BERNARD N. (1901): Etudes sur la tubérisation. *Compt. Rend. Acad. Sci.* 132, 355-357.
- BERTIN G. (1949): La pomme de terre en voie de dégénérescence pourra-t-elle rajeunir ? *La Tribune de Genève*, 8 septembre.
- BODLAENDER K.B.A. (1958): De invloed van verschillende daglengten op de ontwikkeling van aardappel, *Jaarboek 1958 Medeling 49 van het J.B.S.*, Wageningen, Netherlands.

- BODLAENDER K.B.A. (1963): Influence of temperature, radiation and photo-period on development and yield. The growth of the potato. Ed. Ivins and Milthorpe, Butterworths, London, 199-210.
- BODLAENDER K.B.A., LUGT C. and MARINUS C. (1964): The induction of second growth in potato tubers. Eur. Potato J. 7, 57-71.
- BODLAENDER K.B.A. (1972) Influence of temperature during growth of seed tubers on their seed value. Proc. 5th triennial Conf. EAPR, Norwich, 1972, 151.
- BRUINSMA J. and SWART J. (1970): Estimation of the course of dormancy of potato tubers during growth and storage with the aid of gibberellin acid. Potato Res. 13, 29-40.
- BURTON W.G. (1960): The physiology of the potato: Problems and present status. Proc. first triennial Conf. of EAPR, Braunschweig-Völkenrode, 1960, 79-117.
- BURTON W.G. (1963): Concepts and mechanism of dormancy. Publ. in the Growth of the potato, ed. J.D. Ivins and F.L. Milthorpe, Butterworths, London, 17-40.
- BURTON W.G. (1966): The potato. A survey of its history and of factors influencing its yield, nutritive value, quality and storage. H. Weenman & Zonen N.V., Wageningen, Holland
- BUS C.B. and SCHEPERS A. (1978): Influence of pretreatment and physiological age of seed on growth and yield of potatoes c.v. Bintje. Proc. 7th triennial Conf. EAPR, Warsaw, 1978, 16-17.
- CALAME F. (1980): Calcul de la moyenne de la température journalière. Rapport interne Station fédérale de recherches agronomiques de Changins/Nyon (non publié).
- CARLS J. (1978): Zur Ertragsstruktur der Kartoffel (Solanum tuberosum L.) unter verschiedenen ökologischen Bedingungen in Sri Lanka. Potato Res. 21, 89-103.
- CARLS J. und CAESAR K. (1979): Zum Einfluss der Lagerungs- und Aufwuchstempertur auf das physiologische Alter und den Nachbauwert von Pflanzkartoffeln unter Tropischen Bedingungen. Potato Res., 22, 87-97.

- CATCHPOLE A.H. and HILLMAN J. (1969): Effect of ethylen on tuber initiation in Solanum tuberosum L. Nature, 223, 1387
- CLAVER F.K. (1951): Influencia de luz, oscuridad y temperatura sobre la incubacion de la papa. Phytion 1, 3-12.
- CLAVER F.K. (1953): Factores que influyen en la incubacion de la papa. Turrialba, 3, 32-34.
- CLAVER F.K., TIZIO T., MONTALDI R.E. (1957): Efecto degenerativo de altas temperaturas durante la formacion de los tuberculos de papa. Revista de investigaciones agricolas T. XI, 209-214.
- CLAVER F.K. (1961). Ensayos sobre incubacion de plantas tuberosas. Rev. Fac. Agron. 37, 73-95.
- CLAVER F.K. (1964): Estudio sobre la tuberization de plantas y brotes de papa. Rev. de Agron. 40, 171-183.
- CLAVER F.K. (1971): Formacion de quatro generaciones de tuberculos sin follaje en Solanum tuberosum L. Rev. de Agron. 47, 65-73.
- CLAVER F.K. (1972): Difference in the state of incubation between apical and basal buds of potato tubers. Proc. 5th trien. Conf. EAPR, Norwich, 1972, 188-189.
- CLAVER F.K. (1973): Influence of temperature during the formation of tubers in relation with their incubation state (physiological age) and seed value. Experienta 30, 97-98.
- CLAVER F.K. (1975): Influence of temperature during the formation of potato tubers and its effects on the first progeny. Phytion, 33, 1-6.
- COLLET G.F. (1968): Le rôle des phytohormones dans le développement végétal. Rech. agron. suisse, 7, 371-388.
- CORNU P. (1978): Essai de lutte contre la propagation du virus Y de la pomme de terre à l'aide de traitements à l'huile minérale. Rapport interne Station fédérale de recherches agronomiques de Changins/Nyon (non publié).

- CORNU P. (1979): Essai de lutte contre la propagation du virus Y de la pomme de terre à l'aide de traitements à l'huile minérale. Rapport interne Station fédérale de recherches agronomiques de Changins/Nyon (non publié).
- CUTTER G. (1978): Structure and developemnt of the potato plant. In the Potato Crop. Ed. by P.M. Harris Chapman and Hall, London, 70-152.
- DAVIES H.T. and ALLABY E.S. (1971): The effect of green sprouting on yield of early potatoes. *Am. Potato J.* 48, 381-384.
- DAVIN A. (1971). Absorption d'eau des lamelles de pommes de terre en fonction de l'âge physiologique des tubercules stockés. Conférence EAPR section physiologie, Prague, 1971. *Potato Res.* 14, 327-328.
- DYSON P.W. and DIGBY J. (1975): Effects of calcium on sprout growth and sub-apical necrosis in Majestic potatoes. *Potato Res.* 18, 290-305.
- EHRENDORFER K. (1955): Vergleichende Vorkeimversuche mit Licht-und Dunkelkeimen. *Die Bodenkultur* 8, Heft 2, Wien.
- EMILSSON B. (1949): Studies on the rest period and dormant period in the potato tuber. *Act. Agr. Suec.* 111, 189-284.
- FEDORETS B.P. (1977): Temperature for storage of different potato cultivars. *Field Crop Abstracts* 30, 604.
- FISCHNICH O. (1956): Lagertemperatur und Keimstimmung von Kartoffelpflanzgut. *Kartoffelbau* 7, 52-55.
- GOODWIN P.B. (1966): The effect of water on dormancy in the potato. *Eur. Potato J.* 9, 53-63.
- GRAY D. (1973): Some effects of seed sowed on early growth in Maris Pear potatoes. *Ann. appl. Biol.* 75, 83-91.
- GRAY D. (1974): Effect of nitrogen fertilizer applied to the seed crop on the subsequent growth of early potatoes. *J. agric. sci. Camb.* 82, 363-369.
- HAMMES P.S. and NEL P.C. (1975): Control mechanisms in the tuberization process. *Potato Res.* 18, 262-272.

- HARTMANS K.J. and VAN ES A. (1981): Aspects and preliminary results of research on physiological ageing sprouting capacity. 8th trien. Conf. of EAPR, abstr. of Conf. papers, Munich 1981, 68-69.
- HEDIGER E. (1979): Analyse der Zusammenhänge zwischen physiologischem Alter von Kartoffelknollen und der Entwicklung des Ertrages. Travail de diplôme, Institut de production végétale, ETH-Zurich (non publié).
- HEDOU J. (1965): Connaissances nouvelles sur la croissance et la tubérisation de la pomme de terre. La pomme de terre française 306, 3-23.
- HEMBERG T. (1958): The significance of the inhibitor B. complex in the rest period of the potato tuber. *Physiologica Pl.* 11, 615-626.
- HILMÖ B. und BAUER H. (1976): Das Wärmeequilibrium in einem Kartoffelstapel. Das System: niedriges Luftvolumen-Hohe Luftfeuchtigkeit. Jahrestagung der Forschungsvereinigung der Nahrungsmittelhersteller aus Kartoffel (FNK) 1976, The Hague, Netherlands.
- HOLST U.B. (1971): Some properties of inhibitor A from Solanum tuberosum L. compared to abscisic acid. *Physiol. Planta* 24, 392-396.
- HUNNIUS W. (1977): Zur Ertragsphysiologie der Kartoffel, Kalibriefe, 10 Folge, Mai 1977, 1-13.
- HUTCHINSON R.W. (1978): The dormancy of seed potatoes. 1. The effect of time of haulm destruction and harvesting. *Potato Res.* 21, 257-265.
- JACOBSEN B. (1972): Seed potato production in Europe. Systems, techniques and quality standards. Proc. 5th trien. Conf. EAPR, Norwich, 1972, 28-37.
- JOSEPH E., MÜNSTER J. et MAYOR G. (1959): Contribution à l'étude de la tubérisation chez la pomme de terre. *Eur. Potato J.* 2, 1-21.
- KAWAKAMI K. (1952): Physiological aspects of potato seed tubers. *Mem. Hyogo Agric. Coll.* 2, 1-11.
- KAWAKAMI K. (1972): Sirtema potatoes in a spring-autumn cropping system. Proc. 5th trien. Conf. of the EAPR, Norwich 1972, 151-152.

- KAWAKAMI K. (1975): Age of seed tubers affecting productivity in the summer crop of irish potatoes. Abstr. 6th trien. Conf. EAPR, Wageningen, 172-173.
- KEFFORD N.P. (1955): The growth substances, separated from plant extracts by chromatography, J. exp. Bot. 6, 129-151.
- KELLER E.R. und LANINI F. (1958): Licht-oder Langkeim bei Kartoffelsaatgut. Mitteilungen der Schw. Landw. 43-47.
- KELLER E.R., BERCES H. und MÜNSTER J. (1961): Über die Auswirkungen der Saatkartoffelsortierung und der Pflanzdistanz auf die Ertragsleistung. Mitt. für die Schweiz. Landw. 9, 136-144.
- KELLER E.R. (1970): Vorlesung "Hackfruchtbau" Institut de production végétale Eidg. Technische Hochschule Zürich (non publié)
- KELLER E.R. (1975): Neue Wege im Ackerbau. Schweiz. Monatshefte 53, 1-30.
- KOPETZ L.M. und STEINECK O. (1953): Neue Wege im Kartoffelbau. Leopold Stocker Verlag, Graz und Göttingen.
- KOZLOWSKA A. (1960): Effects of environment on tuber production, potassium absorption and susceptibility of potatoes to virus disease in Poland. Am. Potato J. 37, 366-372.
- KRAUSS A. (1977): Einfluss der Stickstoff-Ernährung auf Knollen-induktion und Wuchstoffhaushalt der Kartoffel. Potato Res. 20, 148.
- KRAUSS A. (1978): Tubercization and abscisic acid content in Solanum tuberosum L. affected by nitrogen nutrition. Potato Res. 21, 183-193.
- KRIJTHE N.K. (1958): Changes in the germinating power of potatoes from the time of lifting onwards. Eur. Potato J. 1, 69-71.
- KRIJTHE N. (1962): Observations on the sprouting of seed potatoes. Eur. Potato J. 5, 316-333.
- KRUG H. und PÄTZOLD CH. (1966): Einfluss von Licht, Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit während des Vorkeimens von Kartoffelpflanzgut auf Keimwachstum und Pflanzenentwicklung. Proc. 3rd trien. Conf. EAPR Zurich 1966, 178-179.

- KRUG H. und WIEBE H.J. (1972): Klimakammern mit indirekter Solekühlung und Taupunktkühler: Konstruktion, Funktion, Leistungen und Erfahrungen. Gartenbauwissenschaft 37, 331-344.
- KUBICKI K. (1975): Einfluss des Lagerklimas auf das Ergebnis der Lagerung von Kartoffeln verschiedener Gebrauchswerte. Potato Res. 18 335.
- LANGUILLE A.R. (1969): Effect of growth regulators in controlling "little tuber" condition. Can. J. Plant Sci. 49, 800-802.
- LASCARIDES D.L. (1967): Shortening the dormant period of spring-grown seed potatoes for midsummer planting. Eur. Potato J. 10, 100-107.
- LUDWIG H. (1958): Die Verwendung von Gibberellin bei der Augenstecklingsprüfung von Pflanzkartoffeln. Z. Landw. Vers.-u. Untersuchungsw. 4, 387-401.
- LUGT C., BODLAENDER K.B.A., and GOODIJK (1964): Observations on the induction of second-growth in potato tubers. Europ. Potato J. 7, 219-227
- MADEC P. et PERENNEC P. (1955): Les possibilités d'évolution des germes de la pomme de terre et leurs conséquences. Ann. Amél. des Plantes 5, 555-574.
- MADEC P. (1956): La nature et les causes du bouillage chez la pomme de terre. Ann. Amél. des Plantes 6, 151-169.
- MADEC P. (1958): Le rôle du tubercule-mère dans l'évolution des germes de pommes de terre. Ann. Amél. des Plantes 8, 15-26.
- MADEC P. et PERENNEC P. (1959): Le rôle respectif du feuillage et du tubercule-mère dans la tubérisation de la pomme de terre. Eur. Potato J. 2, 22-49.
- MADEC P. et PERENNEC P. (1962): Les relations entre l'induction de la tubérisation et la croissance chez la plante de pomme de terre (Solanum tuberosum L.). Ann. Physiol. Vég. 4, 5-84.
- MADEC P. (1963 a): Les développements les plus récents dans le domaine de la physiologie de la pomme de terre. Proc. 2nd trien. Conf.EAPR, Pisa 1963, 36-59.

- MADEC P. (1963 b): Tuber-forming substances in the potato. Publ. in the Growth of the Potato, ed. J.D. Ivins and F.L. Milthorpe, Butterworths, London, 121-130.
- MADEC P. (1966): Croissance et tubérisation chez la pomme de terre. Bull. Soc. Fr. Physiol. Vég. 12, 159-173.
- MADEC P. et PERENNEC P. (1969): Levée de la dormance de tubercules de pommes de terre d'âge différent: action de la rindite, de la gibbèrelline et de l'oeilletonnage. Eur. Potato J. 12, 96-115.
- MADEC P. et PERENNEC P. (1975): Conséquences de la qualité physiologique des plants chez quelques variétés de pommes de terre. 6th trien. Conf. of the EAPR. Abstr. of Conf. papers, Wageningen, 1975, 168-169.
- MADEC P. (1978): Some effects of the physiological age of the tuber upon sprouting and upon plant development. Potato Res. 21, 57-59.
- MAPSON L.W., BURTON W.G. (1962): The terminal oxydases of the potato tuber. Biochim. J. 82, 19-25.
- MEIJERS C.P. (1971): Richtlinien für die Kartoffellagerung. Publicatie 235 IBVL Wageningen, Netherlands.
- MOORBY J. (1978): The physiology of growth and tuber yield. In: The Potato Crop. The scientific basis for improvement. ed. P.M. Harris, Chapman and Hall, London, 153-188.
- MOORE T.C. (1978): Biochemistry and Physiology of Plant Hormones. Springer-Verlag New-York.
- MÜLLER K. (1966): Über die Quantitative Bestimmung von Zuckern und einigen organischen Säuren in Kartoffelblättern und -Knollen. Proceedings 3rd trien. Conf. of EAPR, Zurich 1966, 183
- MÜLLER K. (1975 a): Analytisch fassbare Indikatoren für die Qualität der Kartoffel. Abstr. 6th. trien. Conf. of EAPR. Conf. papers, Wageningen 1975, 4-5
- MÜLLER K. (1975 b): Kennzeichnung des Vegetations- und Lagerungsverlaufes der Kartoffel. Der Kartoffelbau 6, 166-167
- MÜLLER K. (1978): Changes in composition of the tuber as a criterion of its physiological age. Potato Res. 21, 55-57

- MÜNSTER J. et JOSEPH E. (1960): Choix et préparation des plants de pommes de terre. Rev. rom. d'agr., de vit. et d'arboric. 10-11, 93-97.
- MÜNSTER J. (1970): La culture de la pomme de terre primeur. Rev. bot. suisse 43, 65-69.
- MÜNSTER J. (1973): Das physiologische Verhalten der Kartoffel, insbesondere hinsichtlich Herkunft und Tageslänge. Bericht über die Arbeitstagung 1973 der Arbeitsgemeinschaft der Saazuchtleiter in Gumpenstein, 214-223.
- MÜNSTER J. et CORNU P. (1973): La préculture, méthode de contrôle virologique des plants de pommes de terre. Rev. suisse Agric. 5, 45-49.
- MÜNSTER J., CORNU P. et REUST W. (1973): Utilisation de plants de pommes de terre dans les planteuses automatiques. Rev. suisse Agr. 5, 167-170.
- MÜNSTER J. (1974): Das physiologische Verhalten der Kartoffel. Schweizer Bauer (Wochenmagazin für den Bauernhof) 19. Januar 1974, Nr. 7/3, 5-7.
- MÜNSTER J. (1975 a): Assortiment officiel suisse des variétés de pommes de terre. Tiré-à-part. Rev. suisse Agr. 7, TAP 1090.
- MÜNSTER J. (1975 b): Das physiologische Alter der Kartoffel. Grundbegriffe und Anwendung. Der Kartoffelbau 26, 304-306.
- MÜNSTER J. et REUST W. (1977): Sensibilité des variétés de pommes de terre de l'assortiment suisse à la vitrosité et détermination de ce phénomène par le poids spécifique. Rev. suisse Agr. 9, 53-58.
- MÜNSTER J. (1978): Liste officielle suisse des variétés de pommes de terre 1978. Rev. suisse Agr. 9, I-VI.
- MÜNSTER J. (1979): Die Phasen der Knollenentwicklung und deren Folgerungen für die Praxis. Inform. Informationsblatt für Düngung und Saatgut. Linz 1-2, 6-7.
- MURTI G.S.R. and SAHA S.N. (1975): Effect of stage of perception of photo-periodic stimulus and number of short day cycles on tuber initiation and development of potato. Ind. J. of Plant phys. 18, 184-188.

- O'BRIEN P.J. and ALLEN E.J. (1975): Effect of area of seed production and date of lifting of seed crops on the performance of the progeny tubers. Abstr. of Conf. papers 6th trien. Conf. EAPR Wageningen 1975, 41-42.
- O'BRIEN P.J. and ALLEN E.J. (1981): The concept and measurement of physiological age. 8th trien. Conf. of EAPR, Abstr. of Conf. papers, Munich 1981, 64-66.
- OKAZAWA Y. (1967): Physiological studies in the tuberization of potato plants. Journ. Facul. Agr. Hokkaido Univ. Sapporo 55, 267-335.
- PARROT F. (1975): Interactions des sels minéraux et de l'acide gibbérellique ou du chlorure de (2-chloroethyl) triméthylammonium (CCC) sur la tubérisation de fragments de tiges de pommes de terre cultivés in vitro. Potato Res. 18, 446-450.
- PERENNEC P. et MADEC P. (1960): Influence du tubercule-mère sur la croissance et le développement du germe de pomme de terre. Ann. Physiol. Vég. 2, 29-67.
- PERENNEC P. (1966): Induction de la tubérisation et inhibition des bourgeons chez la pomme de terre (Solanum tuberosum L.) Bull. Soc. Franç. Physiol. Vég. 12, 175-192.
- PERENNEC P. et MADEC P. (1975): Age physiologique des plants et formation du rendement chez la pomme de terre, cv. Bintje. 6th trien. Conf. of EAPR, Abstr. of Conf. papers, Wageningen 1975, 170-171.
- PERENNEC P. et MADEC P. (1980): Age physiologique du plant de pomme de terre. Incidence sur la germination et répercussions sur le comportement des plantes. Potato Res. 23, 183-199.
- PUROHIT A.N. (1970): The qualitative and quantitative photoperiodic response of Indian potato varieties. New. Phytol. 69, 521-527.
- PUTZ B. (1978): Die Reife der Kartoffel und ihre Bedeutung für die Veredelung. Dissertation, Institut für Pflanzenbau der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.
- QUEMENER J. (1975): Essais de protection contre le virus Y par des traitements à base d'huile minérale. La Pomme de terre française 371, 5-16.

- RACCA R.W. and TIZIO R. (1968): A preliminary study of changes in the content of gibberellin-like substances in the potato plant in relation to the tuberization mechanism. *Eur. potato J.* 11, 213-220.
- RAVUSSIN J.M. (1972): Influence du vieillissement physiologique du plant et de la provenance sur la levée et le développement de la pomme de terre. Travail de diplôme, Institut de production végétale, Ecole Polytechnique fédérale, Zurich.
- REDD-BONWIENDYU D.D. (1979): A study of growth substances and other chemicals during dormancy and sprouting of potato tubers (*Solanum tuberosum* L.). *Potato Abstracts* 4, 238.
- REUST W. et MÜNSTER J. (1974): Prégermination des plants de pommes de terre avec ou sans chocs thermiques. *Rev. suisse Agric.* 6, 9-12.
- REUST W. (1975 a): Observations sur trois variétés de pommes de terre soumises à différents procédés de prégermination et plantées à deux époques. *Potato Res.* 18, 332.
- REUST W. (1975 b): La période d'incubation des variétés de pommes de terre de l'assortiment suisse et son importance. *Rev. suisse Agr.* 7, 185-187.
- REUST W. (1976): Plantation de tubercules avec de longs germes étiolés. Rapport interne, Station fédérale de recherches agronomiques de Changins/Nyon (non publié).
- REUST W. (1977): La période d'incubation des pommes de terre et son importance. *Potato Res.* 20, 147.
- REUST W. (1978): Facteurs responsables de la variation de la forme des tubercules de pommes de terre. *Rev. suisse Agr.* 10, 13-17.
- REUST W. (1978 a): Physiological age of potato tubers and its importance. *Potato Res.* 21, 53-54.
- REUST W. (1978 b): Influence des conditions climatologiques extrêmes de l'été 1976 sur la croissance et la qualité des tubercules de pommes de terre. *Potato Res.* 21, 48-49.

- REUST W. (1978 c): La prégermination des pommes de terre doit être adaptée à la variété. La Terre romande 4, 28 janvier 1978.
- REUST W. (1979): Evolution du rendement et de l'amidon en relation avec les stades phénologiques de la pomme de terre. Rev. suisse Agr. 11, 25-32.
- REUST W. et ESCHER F. (1979): Formation du rendement et de l'amidon en relation avec les stades phénologiques, et évolution du pH dans les tubercules de pommes de terre pendant la croissance. Potato Res. 22, 305-317.
- REUST W. et WINIGER F.A. (1982): Technique de production d'une proportion élevée de gros tubercules. Rev. suisse Agr. 14 (sous presse).
- ROZE E. (1898): Histoire de la pomme de terre. J. Rotschild éditeur, Paris, 13, rue des Saints-Pères.
- ROZIER-VINOT C. (1969): Influence de l'âge des tubercules de semence sur l'activité photosynthétique de la plante de pomme de terre. Proc. 4th trien. Conf. of EAPR, Brest 1969, 158-159.
- ROZTROPOWICZ S. and WARDZYNSKA H. (1974): Observations of the tuber dormancy of twenty polish potato varieties. Biuletyn Instytutu Ziemiaka Jadwisin, Serock nr. 14.
- RUDORF W. (1958): Entwicklungsphysiologie und Pflanzenzüchtung. Moderne Methoden der Pflanzenzüchtung. DLG-Verlag, Frankfurt a/Main.
- RUDORF W. und RIMPAU R.H. (1963): Photoperiodisch-und thermische Untersuchungen zur Vorkeimung von Solanum tuberosum L. Zeitschrift für Pflanzenzüchtung 49, 55-80.
- RYLSKI J., RAPPAPORT L. and PRATT H.K. (1974): Dual effects of ethylene on potato dormancy and sprout growth. Plant. Physiol. 53, 658-662.
- SALZMANN R. und KELLER E.R. (1969): Krankheiten und Schädlinge der Kartoffel. Landw. Lehrmittelzentrale Zollikofen, 1969.
- SCARAMELLA P. (1959): Morphological characters considered as an indication of physiological age of Solanum tuberosum plants cultivated in different ecological localities. Eur. Potato J. 2, 153-164.

- SCARAMELLA P. (1963): L'influence de la température sur la morphologie de la pomme de terre. *Eur. Potato J.* 6, 242-257.
- SCHEPERS A., HOOGLAND R.F. and KRITJE N. (1969): Influence of NPK-application to seed-potato crops on the productivity of the progeny. *Eur. Potato J.* 12, 251-263.
- SCHICK R. und KLINKOWSKI M. (1961): Die Kartoffel (ein Handbuch). VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin N4, Rheinhardtstrasse 14.
- SCHIPPERS P.A. (1956): De duur van de rustperiode van een veertigtal aardappelrassen, beward bij verschillende constante temperaturen. *Publ. Aardappelbew.*, Wageningen, Ser. A, 112, Pp 10.
- SCHMID J. (1975): Beurteilung verschiedener Methoden zum Vorkeimen von Pflanzkartoffeln. Diplomarbeit. Institut für Pflanzenbau Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (non publié).
- SHEKHAR V.C. and IRITANI W.M. (1979): Changes in citric and malic acid contents during growth and storage of Solanum tuberosum L. *Am. Potato J.* 56, 87-94.
- SINGH CHARANJIT M. (1972): Zum Einfluss unterschiedlicher Vorkeimbedingungen auf Wachstum und Ertrag der Kartoffel. Dissertation, Institut für Acker- und Pflanzenbau der Technischen Universität Berlin.
- SLOMNICKI J. and RYLSKI J. (1964): Effect of cutting and gibberellin treatment on *autumn-grown* seed potatoes for spring planting. *Eur. Potato J.* 7, 184-192.
- STADEN J.V. and DIMAILA G.G. (1978): Endogenous cytokinins and the breaking of dormancy and apical dominance in potato tubers. *J. of Exp. Bot.* 29, 1077-1084.
- STEINECK O. (1956): Tageslänge und Knollenbildung bei Kultursorten der Kartoffel. *Zeitsch. für Pflanzenzüchtung* 36, 197-213.
- TIIZIO R. (1966): Interaction du facteur radicaire et de l'acide gibberellique sur la croissance des stolons et la tubérisation. *C.r. hebd. Séance Acad. sci. Paris* 262, 667-770.

- TIZIO R. and BIAIN M.M. (1974): Are cytokinins the specific factors of tuber formation in the potato plant ? Field crop Abstracts 27, 598.
- TIZIO R. and MANESCHI E. (1974): Different mechanisms of tuber initiation and dormancy in the potato (Solanum tuberosum L.). Field crop Abstracts 27, 533.
- TOOSEY R.D. (1963): The influence of sprout development at planting on subsequent growth and yield. The growth of the Potato. ed. J.D. Ivins and F.L. Milthorpe, Butterworths, London, 79-83.
- TOOSEY R.D. (1964): The pre-sprouting of seed potatoes: Factors affecting sprout growth and subsequent yield. Field crop Abstracts 17, 161-168.
- VARIS E. and LAAKIA S. (1979): On the chitting of seed potatoes under northern conditions. University of Helsinki, Dep. of Plant Husbandry. Finlande (rapport non publié).
- VEZ A. (1979): Variétés et techniques culturales. La Recherche agron. suisse 3, 197-203.
- VLIET W.F. VAN and SCHRIEMER W.H. (1963): High temperature storage of potatoes with the aid of sprout inhibitors. Eur. Potato J. 6, 201-217.
- VOLDEN B. (1972): Chitting experiments with Pimpernel. Preliminary results from Vågånes States experiment station. Field crop Abstracts 25, 772.
- WENT F.W. (1959): Effects of environment of parent and grand-parent generations on tuber production by potatoes. Amer. Journ. Bot. 46, 227-282.
- WURR D.C.E. (1978 a): Studies of the measurement and interpretation of potato sprout growth. Journ. of Agr. Science UK 90, 335-340
- WURR D.C.E. (1978 b): Seed tuber production and management. Publ. in the Potato Crop, ed. by P.M. Harris, Chapman and Hall, London. 327-354

ZAAG D.E. VAN DER (1972): Requirements of the user of seed potatoes. Standards of health, grading and physiological age; time and mode of delivery; price. Proc. 5th. trien. Conf. EAPR, Norwich. 1972, 38-46.

ZÜRCHER K., HADORN H. und STRACK CH. (1975). Gaschromatographische Zuckerbestimmung, Herstellung und gaschromatische Trennung der Zuckeroxim-silylderivate. Trav. chim. aliment. hyg. 66, 92-116.

ZÜRCHER K., HADORN H. (1976): Vergleichende Zuckerbestimmungen an Kraftnährmitteln und Frühstückgetränken. Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. 67, 379-388

CURRICULUM VITAE

- 16 mars 1946 Né à Sornetan (BE), fils d'Alfred Reust et de Jeanne, née Graber
- 1953 - 1962 Ecole primaire de Sornetan
- 1962 - 1964 Ecole cantonale d'agriculture Rütli à Zollikofen (BE) avec apprentissage agricole
- 1964 - 1967 Préparation de l'examen d'admission à l'Ecole Polytechnique fédérale de Zurich, Institut Humboldtianum à Berne
- 1967 - 1971 Etude à la section d'agronomie de l'Ecole Polytechnique fédérale de Zurich
- 1969 Stage à l'université agricole de Rehovot, Israël
- dès le 1.11.1971 Collaborateur scientifique à la Station fédérale de recherches agronomiques de Changins, Nyon (VD)