

O.R.S.T.O.M ( Institut Francais de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération )

E.N.S.S.A.A ( Ecole Nationale Supérieure des Sciences Agronomiques Appliquées )

C.N.E.A.R.C ( Centre National d'Etude Agronomique des Régions Chaudes)

E.N.S.A.M ( Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier )

## MEMOIRE DE STAGE

MANIFESTATION DES RISQUES CLIMATIQUES  
A L'ECHELLE DE L'EXPLOITATION AGRICOLE,  
CONSEQUENCES SUR LES PRATIQUES PAYSANNES.  
CAS DE L'ALTIPLANO BOLIVIEN

PAR PH. LE TACON

JURY : MM BONNEFOND , BONNEMAIRE , BROCHET , ELDIN  
          JOUVE , MORLON.

OCTOBRE 1989

REMERCIEMENTS : Je tiens à remercier tous ceux qui ont permis directement et indirectement la réalisation de ce stage et plus particulièrement :

- Celestino HUANCA , Antonio MALEA , Miguel POMA paysans de ANTARANI ainsi que Juan MAMANI CRISPIN et Fernando AGUILAR paysans de CARACHUYO pour leur gentillesse et leur patience
- Jean VACHER , mon maître de stage pour son accueil et ses conseils.
- Michel ELDIN , directeur scientifique de mon stage pour l'aide très importante qu'il m'a apportée lors de la rédaction de mon rapport.
- Dominique MOREL stagiaire de l'ISAB sans qui une grosse partie de ce travail n'aurait pu être effectuée.
- Thierry FELLMANN pour son aide en informatique.
- Jacques DIZES, et le personnel du SENAMHI pour son accueil.
- Brigitte LE ROUGET pour la frappe très rapide de ce rapport.
- La mission ORSTOM en Bolivie.
- L'IBTA de Patacamaya
- Nicolas GERMAIN pour ses conseils.
- Pierre MORLON et Emmanuel BRASIER DE THUY pour l'aide qu'ils m'ont apportée à la préparation de ce stage.
- Bernard FRANCILLON ( CIRAD-DSA ) pour le prêt du logiciel LISA.

## INTRODUCTION

Ce stage a été réalisé, d'avril à septembre 1989, dans le cadre d'un programme conduit sur l'Altiplano bolivien par une équipe d'agronomes de l'ORSTOM\* en collaboration avec le SENAMHI\*, l'IBTA\*, l'IBTEN\* et une ONG bolivienne : SEMTA\*. Il s'agit d'une étude des stratégies et des tactiques agricoles face aux risques climatiques ; elle concerne la partie la plus peuplée de l'Altiplano bolivien : la région Centre-Nord, entre le lac Titicaca et la ville d'Oruro.

Les recherches sont réalisées à la fois à l'échelle de 3 stations expérimentales : BELEN, VIACHA et PATACAMAYA situées le long d'un axe Nord-Sud qui traverse la région étudiée et à l'échelle de 6 communautés paysannes aymaras situées à proximité des stations (moins de 40 kms).

Trois types d'événements climatiques causent de gros dégâts à la production végétale altiplanique : le gel, la sécheresse et la grêle. La variabilité spatio-temporelle de ces risques a déjà été mise en évidence à l'échelle régionale mais la variabilité micro-climatique à l'échelle de l'exploitation agricole - dont l'importance avait été pressentie lors des enquêtes déjà réalisées en milieu paysan - n'a pas fait l'objet d'une étude systématique.

Le sujet de stage, qui m'a été proposé par l'ORSTOM, consiste précisément à déterminer l'ordre de grandeur de ces variations micro-climatiques et à analyser leurs conséquences sur les pratiques paysannes. L'étude a été effectuée dans la communauté d'ANTARANI, située dans la province de PACAJES, à une centaine de kms au Sud-Ouest de LA PAZ. Les études antérieures ayant montré la forte influence des gelées dans la détermination des pratiques agricoles, le travail réalisé durant ce stage a concerné principalement ce risque climatique.

Dans une première partie, nous avons complété et affiné l'étude agroclimatique existante, dans le but :

- d'effectuer un zonage de l'Altiplano Centre Nord bolivien qui puisse servir de cadre de référence à l'étude réalisée localement à Antarani,
- de mettre en évidence la grande diversité des situations à l'échelle régionale,

\* ORSTOM : Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération  
 \* SENAMHI : Servicio Nacional de Meteorologia e hidrologia  
 \* IBTA : Instituto Boliviano de Tecnologia Agropecuaria  
 \* IBTEN : Instituto Boliviano Tecnico de Estudios Nucleares  
 \* SEMTA : Servicios Multiples de Tecnologias Apropriadas

- de comparer cette variabilité climatique régionale à celle mesurée à l'échelle de la communauté villageoise ou de l'exploitation agricole et d'en tirer les conclusions.

Dans un second chapitre, nous nous sommes efforcés de quantifier les variations microclimatiques observables dans la communauté d'Antarani : écarts micro-climatiques d'une exploitation à une autre et entre parcelles d'une même exploitation. Nous n'avons pas recherché une représentation statistiquement valable de la communauté considérée mais nous sommes intéressés à trois exploitations agricoles (3 familles aymaras) bien différentes l'une de l'autre. L'origine de ces variations micro-climatiques a été recherchée et les résultats obtenus ont été confrontés à la connaissance empirique qu'ont les agriculteurs de ces divers milieux.

L'adaptation des pratiques paysannes à ces variations micro-climatiques fait l'objet d'une dernière partie. L'étude concerne surtout l'influence des gelées sur l'importance des surfaces mises en culture, le choix des parcelles, des spéculations, du calendrier culturel et d'une façon plus générale sur le fonctionnement du système de production.

Le plan de ce mémoire s'établit donc ainsi :

PLAN DU RAPPORT

-----  
 I  
 ETUDE AGROCLIMATOLOGIQUE  
 REGIONALE  
 -----

- \* Etude des relevés de 15 stations sur 15 années
- \* Variabilité régionale
- \* Zonage de l'altiplano

-----  
 II  
 LES VARIATIONS MICROCLI-  
 MATIQUES A L'ECHELLE D'UN  
 TERRITOIRE VILLAGEOIS  
 -----

- \* Variations microclimatiques entre exploitations
- \* Variations microclimatiques entre parcelles
- \* Le facteur sol
- \* Le facteur pente
- \* Résultats obtenus et connaissance empirique des paysans

-----  
 III  
 ADAPTATION DES PRATIQUES  
 PAYSANNES AUX VARIATIONS  
 MICROCLIMATIQUES  
 -----

- \* Etude du système de production
- \* Estimation de la surface cultivable
- \* Estimation de la surface cultivée
- \* Utilisation des variations microclimatiques dans la gestion du système de culture
- \* Variations microclimatiques et pratiques culturelles

-----  
 CONCLUSION  
 -----

-----  
 ANNEXES  
 -----

**PARTIE I**

**ETUDE AGROCLIMATIQUE**

**REGIONALE**

Dans une première partie, nous avons réalisé une étude régionale des risques de gelées. Cette étude a pour but de montrer la diversité des situations rencontrées et de réaliser un zonage de l'Altiplano. Nous avons essentiellement réalisé ce travail en termes de probabilité. Il existe en effet une très grande hétérogénéité inter-annuelle des risques de gelées. Seule une approche probabiliste pouvait tenir compte de cette réalité. Le zonage réalisé nous a permis de caractériser globalement les risques climatiques de l'Altiplano ainsi que les problèmes agricoles qui y sont liés.

Nous allons, avant de commencer, donner quelques informations générales sur l'Altiplano et situer géographiquement les stations météorologiques concernées par l'étude.

## A - DONNEES GENERALES

### I - La Bolivie

La Bolivie se situe en Amérique du Sud entre le 10ème et le 20ème degré de latitude Sud. On pourra donner les caractéristiques suivantes de ce pays (Figure A).

Le régime politique de la Bolivie est actuellement la démocratie. La monnaie est le boliviano (1 boliviano = 2.80 US \$ - 09/89)

On peut distinguer 3 ensembles géographiques : l'Amazonie à l'Ouest, la Cordillère des Andes et l'Altiplano, haut plateau situé entre les 2 chaînes de la cordillère (Figure B).

### II - L'Altiplano (Figure C)

L'Altiplano bolivien est situé entre 3.500 m et 4.300 m d'altitude. Il couvre environ 10.000 km<sup>2</sup> avec une population estimée à 250.000 hbts en 1975, soit une densité de 25 hbts au km<sup>2</sup>.

L'activité principale y est l'agriculture, qui est orientée essentiellement vers l'autoconsommation avec des excédents occasionnels pour le marché.

Le climat est l'un des principaux facteurs limitants de la production agricole. Il se caractérise par :

- Une saison sèche d'hiver austral et une saison humide d'été austral correspondant à la période de culture.

- Des amplitudes thermiques journalières élevées de 15 à 20 ° C pendant la saison de culture.

FIGURE A : CARACTERISTIQUES DE LA BOLIVIE.



altitude : metres

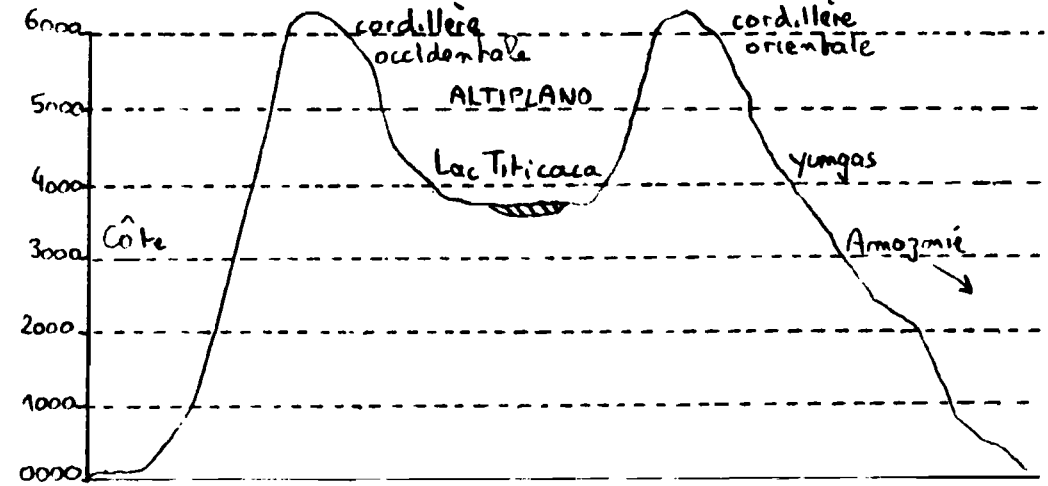


FIGURE B : COUPE SCHEMATIQUE DE LA BOLIVIE.

1986	UNITE	BOLIVIE	FRANCE
POPULATION	HEIS	6550000	55420000
SUPERFICIE	KM <sup>2</sup>	1096581	549000
DENSITE	HEIS/KM <sup>2</sup>	6	100
CAPITALE	HEIS	916000	8700000
% TERRES CULTIVEES		3	32
LANGUES PARLEES	ESPAGNOL, QUECHA AYMARA		

ACROISSEMENT POPULATION = 3%/AN

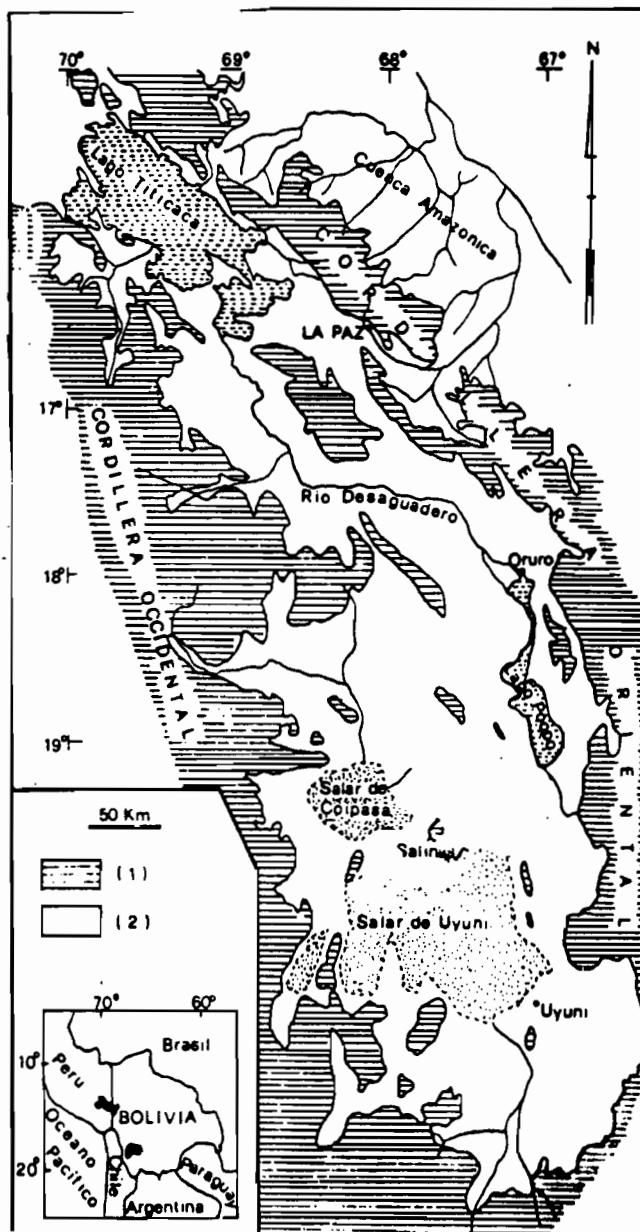


FIGURA N° 1: Mapa del Altiplano Boliviano. (1) Alturas superiores a 4000 m. (2) Alturas comprendidas entre 3600 a 4000 m.

FIGURE C : L'ALTIPLANO BOLIVIEN.

- Un rayonnement solaire intense du fait de l'altitude.
- Une pluviométrie moyenne faible (430 mm/an) et irrégulière avec des risques de sécheresse élevés pendant la saison de culture et d'excès d'eau en début de cycle.
- Des risques de gelées radiatives pendant la saison de culture.
- Des grêles de forte intensité et localisées.

### III - Les stations

L'étude statistique a été réalisée avec les relevés de 15 stations pendant 15 années.

Ces stations sont :

Ayo-Ayo (Ay)	El Alto (EL)	Comanche (CM)
Colacoto (CL)	El Belem (EB)	Charaña (CH)
Caracollo (CR)	Huarina (HU)	Sica-Sica (SI)
Collana (CO)	Viacha (CI)	Patacamaya (PA)
Copacabana (CP)	Tihuanacu (TI)	Oruro (OR)

Nous avons localisé les 15 stations sur la carte ci-jointe (Figure D).

Pour cette étude, nous avons travaillé en 2 temps. Nous nous sommes d'abord intéressés aux risques de gelées, puis on a combiné ces derniers à ceux de sécheresse afin de faire état des 2 risques climatiques principaux de l'Altiplano.

Pour chacune des deux études, nous avons d'abord travaillé station par station puis sur l'ensemble de celles-ci en réalisant des analyses en composantes principales et des classifications hiérarchiques.

### B - LE RISQUE DE GELEE

Ce risque est extrêmement important sur l'Altiplano. De manière générale, la saison de culture s'étale du mois d'octobre à la fin du mois d'avril. Au mois d'octobre, les gelées nocturnes commencent à être moins fréquentes puis à disparaître, ce qui permet les semailles. Au mois d'avril, les gelées nocturnes reprennent "grillant" les cultures en place et interrompant le cycle de culture. On notera que la période de gelées fortes correspond à la saison sèche. Le ciel étant totalement dégagé, les températures nocturnes descendent extrêmement bas.

Il faut donc que l'agriculteur réalise ses cultures pendant la période libre de gelée. D'une station à l'autre, ce laps de temps est plus ou moins important. Il est également fonction de la sensibilité au gel de la culture considérée. Avant de continuer, il paraît intéressant

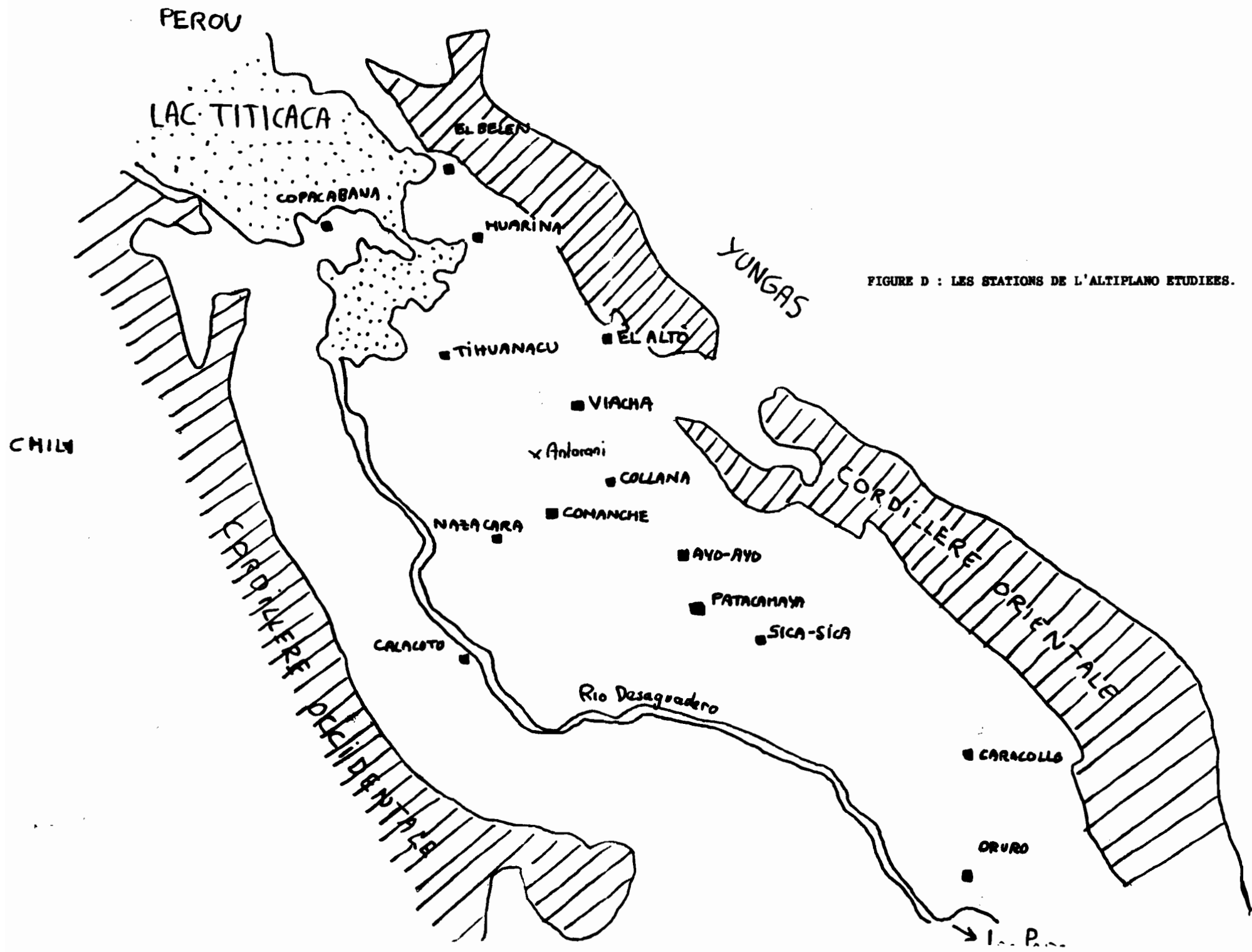


FIGURE D : LES STATIONS DE L'ALTIPLANO ETUDIEES.

de présenter les 3 principales cultures rencontrées sur l'Altiplano : la pomme de terre, la quinoa et l'orge. Les 2 premières citées sont les plus sensibles aux risques de gel.

### B.1 - Les principales cultures de l'Altiplano

#### B.11 - La pomme de terre - Solanum Andigenum

La pomme de terre est originaire des andes sud-américaines et constitue la base de l'alimentation humaine, non seulement dans les zones d'altitude mais dans toute cette région. Les pommes de terre offrent une grande diversité qui se retrouve dans le port de la plante, la couleur des fleurs - du blanc au rouge - et la forme et la couleur des tubercules, blancs, rouges, panachés. On dénombre environ 700 variétés de pommes de terre cultivées au Pérou et en Bolivie. Une caractéristique importante est la teneur en principes amères. Les pommes de terre amères se préparent en chuño\* : résultat d'un processus qui consiste à éliminer l'eau et les substances amères grâce au gel. Les pommes de terre sont alors plus aptes à la conservation (jusqu'à plus de 10 ans) et au transport. Un autre procédé de conservation passe par la fabrication de tunta\*. On notera que les pommes de terre douces de mauvaise qualité peuvent aussi suivre ce traitement.

L'espèce de plus grande importance pour la Bolivie (ainsi que pour le Pérou et l'Equateur) est *Solanum andigenum tetraploïde*. On rappellera qu'en Europe, l'espèce cultivée est *Solanum tuberosum*.

Le système aérien de cette plante est annuel. Les tiges sont au nombre de 2 à 10 et parfois plus, et ont un port plus ou moins dressé ainsi qu'une section irrégulière. Les feuilles sont composées, les fleurs sont généralement autogames mais souvent stériles. Les fruits contiennent des graines dont l'intérêt se limite à la sélection améliorante. Le système souterrain porte des tubercules vivaces. Les racines nombreuses et fines sont fasciculées et peuvent pénétrées profondément dans le sol s'il est suffisamment meuble. Les tiges souterraines (rhizomes ou stolons) sont courtes et leurs extrémités se renflent en tubercules. Les tubercules sont les organes de conservation qui permettent de classer la pomme de terre parmi les plantes vivaces à multiplication végétative.

En Bolivie, la période des semis et des récoltes sont déterminées par la disponibilité en eau et la période libre de gel. La plantation s'effectue d'octobre à novembre quand le sol est sec, les pluies importantes arrivant seulement en décembre et se terminant en mars. Seules des plantes parfaitement adaptées peuvent produire dans ces conditions extrêmes (300 - 600 mm de pluie/an ; période libre de gel parfois réduite à 1 mois). La pomme de terre peut rester pendant plusieurs semaines dans un état latent jusqu'à l'arrivée des pluies.

-----  
\* Les astérisques renvoient au lexique donné en annexe 6.

La pomme de terre, quand elle a germé, peut boucler très rapidement son cycle (120 jours pour les variétés les plus "rapides"). La floraison commence généralement 3 mois après la plantation. De nombreux facteurs influent sur le rendement final. Un des stades les plus importants est l'initiation de la tubérisation située généralement entre 50 et 100 jours après le semis.

Il faut à cette période un niveau correct de température et une grande disponibilité en eau. C'est à ce stade que se définit le niveau maximal de rendement. Le poids moyen de chaque tubercule se détermine jusqu'à la fin du cycle interrompu par la fin des pluies et l'effet de basses températures sur les feuilles. On constate que les variétés locales de montagne avec des cycles végétatifs plus courts commencent plus tard l'initiation des tubercules que les espèces des zones tempérées. Le résultat est que la tubérisation maximale se produit respectivement à 110 et 80-90 jours ; l'importance de ces caractéristiques est évidente pour choisir la date de semis et éviter les risques de gelées et les carences en eau à ce moment.

Les variétés cultivées en Bolivie sont peu résistantes aux maladies, 30 % de la récolte est perdue en moyenne à cause de celles-ci. Sur l'Altiplano bolivien, à près de 4.000 mètres d'altitude, la succession cyclique de sécheresse et de gelée est bien connue des agriculteurs qui admettent que :

"Sur 6 années, 1 année est bonne ; 2 sont moyennes et 3 mauvaises".

Les techniques de cultures prennent en compte ces risques : choix des types de sol, des situations topographiques, techniques de semis (distances entre pieds, orientation des sillons), buttage, répartition entre pommes de terre douces et amères.

#### B.12 - La quinoa - *Chenopodium quinoa wild*

La quinoa et la canihawa (*Chenopodium pallidicarde*) sont des plantes productrices de grains indigènes très importantes sur l'Altiplano. Les plantes constituent une source importante de protéines pour les habitants de l'Altiplano par la richesse et la qualité de leurs acides aminés.

Les chénopodiacées sont spécialement bien adaptées aux rudes conditions de l'Altiplano. Ce sont également des plantes halophiles.

Cette plante est originaire des andes. Durant la période pré-hispanique, on la trouva sur tout le domaine inca de la Colombie au Chili. Mais sa présence fut maximale au Pérou et en Bolivie. On trouve encore dans ces 2 pays la plus grande diversité de graines et d'utilisation de la quinoa.

La quinoa est une herbe haute avec une tige centrale peu ramifiée. La racine pivot conique descend jusqu'à 15 cm et présente de nombreuses radicelles latérales. Les fleurs sont sessiles et ont un pédicelle court.

Les fleurs sont groupées en glomérules. Le fruit de la quinoa se compose des pièces florales et recouvre une seule semence. Celle-ci est ellipsoïde ou lenticulaire et possède un diamètre de 1,5 mm environ.

La semence qui contient essentiellement de l'amidon est recouverte d'une enveloppe riche en saponine. Cette richesse en saponine permettra de distinguer les variétés douces ou amères.

Les usages les plus courants pour l'alimentation humaine sont, en ce qui concerne les grains : soupes, boissons, panification. Les feuilles s'utilisent en salades. Les cendres de quinoa sont d'usage médicinal et sont également à la base de la "lejilla"\*, substance qui se consomme avec la feuille de coca.

Le facteur le plus important pour la quinoa est la température maximale. La quinoa se cultive entre 3.000 et 4.000 mm, ce qui signifie que les risques de gelées nocturnes sont également présents durant le cycle végétatif.

La quinoa se sème surtout en terrains alluviaux, à faible drainage dans lesquels les gelées sont moins nombreuses, ou en terrains pentus plus secs, moins exposés au risque de gelée. La quinoa peut se trouver dans des zones où les précipitations atteignent de 200 à 800 mm (près du lac Titicaca). La germination rapide de la quinoa lui permet d'être peu sensible au risque de sécheresse à ce moment de son cycle.

La quinoa est semée en vrac ou parfois en sillons. Elle s'insère dans les rotations avec le blé et la pomme de terre. La dose de semence à l'hectare se situe autour de 8 kg/ha. La durée normale du cycle se situe aux alentours de 150 jours. La plante a besoin de jours courts pour fleurir. Pendant le cycle, un des principal danger est constitué par les chutes de grêle qui affectent largement la quinoa.

La figure E donne quelques caractéristiques de la quinoa :

### B.13 - L'orge

On trouve l'orge et le blé dans les hautes terres andines depuis la conquête espagnole. L'utilisation de l'orge dans la brasserie, l'alimentation humaine et surtout animale ont conduit à l'extension de cette culture jusqu'aux terres les plus hautes.

En Bolivie, on trouve l'orge à partir de 1.860 m d'altitude, mais les altitudes les plus recommandées se situent entre 3.000 et 3.900 mètres. Sur l'Altiplano, cette culture est la plus importante en surface.

L'orge s'adapte très bien à une agriculture très risquée comme celle qui se pratique en altitude au-dessous de 3.000 mètres d'altitude.

L'orge résiste beaucoup mieux que le blé ou l'avoine à la sécheresse. Les périodes critiques qui nécessitent une bonne alimentation en eau sont la germination, le tallage, l'épiaison et la formation du grain.

CARACTERISTIQUES DE LA QUINDA

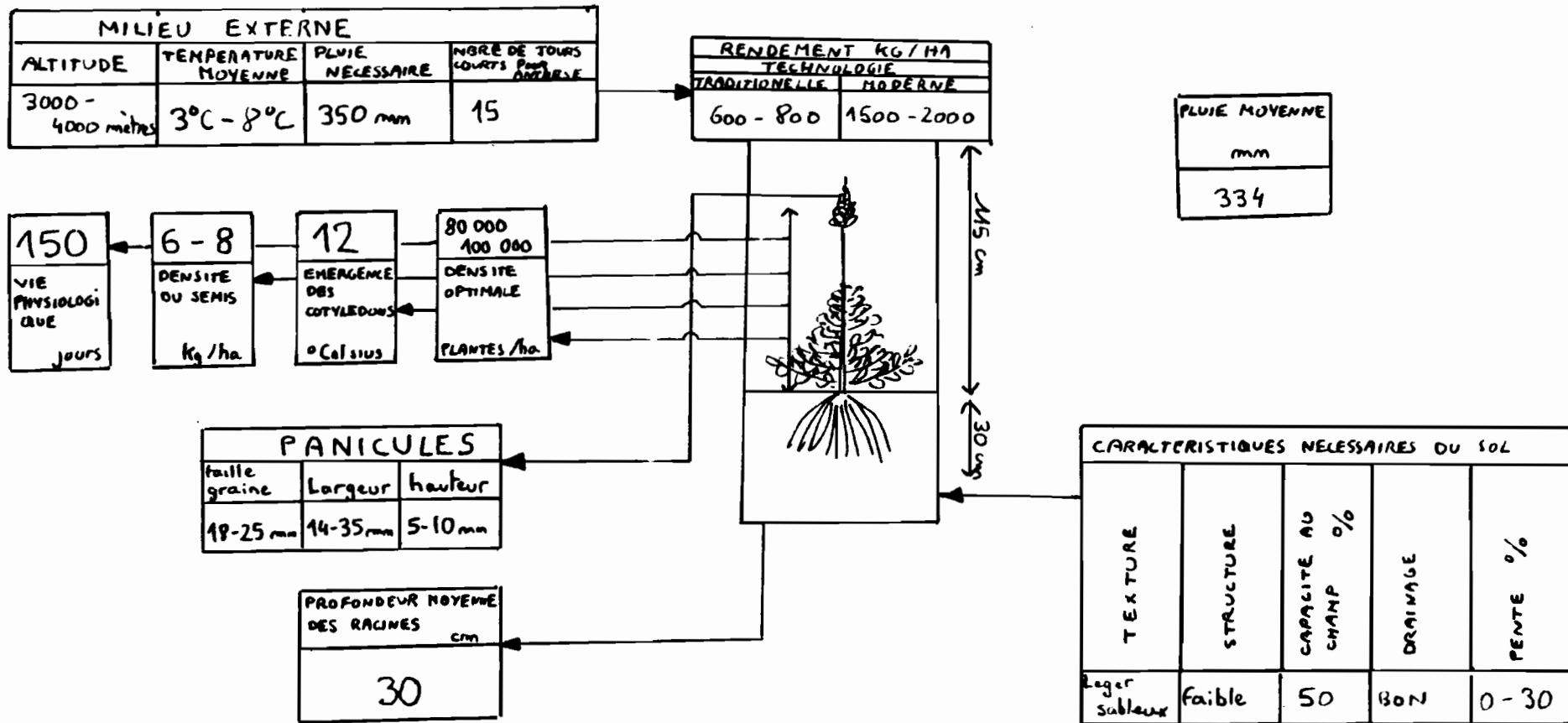


FIGURE E : QUELQUES CARACTERISTIQUES DE LA QUINDA.

Un des attributs principaux de l'orge est sa précocité au niveau des périodes critiques comme l'épiaison, le tallage, ..., qui lui permet d'éviter les températures trop basses à ce moment. On notera que durant la maturation du grain, les gelées ou températures inférieures à 0° C causent des dommages au grain.

La plante qui a un cycle de croissance plus court et une résistance supérieure à la sécheresse survivra plus facilement à une période de manque d'eau. Elle sera aussi en meilleures conditions pour supporter les gelées pendant cette période.

L'orge peut plus facilement que le blé se cultiver sur sols pauvres.

Vu les conditions climatiques de l'Altiplano, marginales pour l'orge, celui-ci sera presque exclusivement cultivé comme fourrage. Le risque de gelée sera alors moins important.

Pour l'étude des risques de gelées, on va donc s'intéresser surtout à la pomme de terre et à la quinoa. L'étude bibliographique et les observations faites dans les stations expérimentales de Viacha, Patacama et El Belen montrent que :

- le plant de pomme de terre ne peut supporter une température strictement inférieure à - 3° C en début de cycle.

- la pomme de terre en fin de cycle de culture ne peut supporter une température strictement inférieure à - 2° C. Une seule gelée à cette température suffit à détruire le plant. Il peut malgré tout y avoir des phénomènes de récupération. En effet, en présence d'eau, une plante qui a le feuillage partiellement détruit à la suite d'une gelée peut reformer des feuilles et "repartir".

- La quinoa ne peut à tout moment de son cycle supporter des températures inférieures à - 5° C

## B.2 - Technique d'étude des risques de gelée

### B.21 - Indice actinothermique et températures minimales (Figure F).

Au cours de ce rapport, nous ferons allusion à 3 types de mesures que nous allons expliciter :

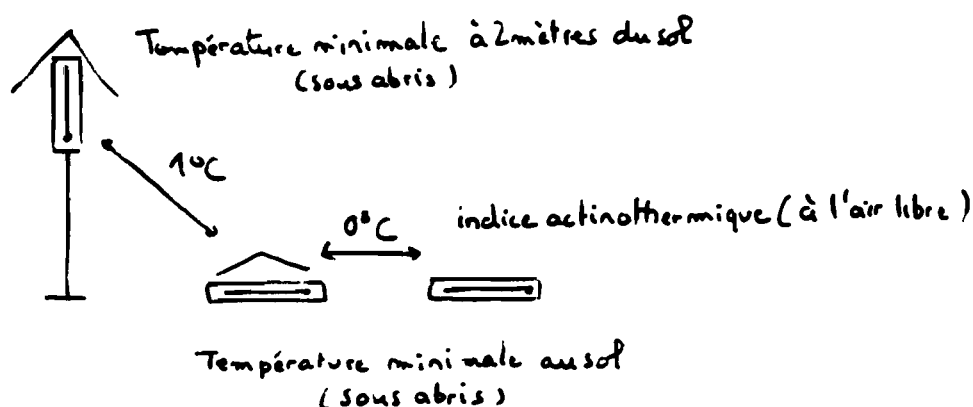
- les relevés de températures minimales : Le relevé se fait sous abri à 2 m. au-dessus du sol.

- Les relevés de températures minimales au niveau du sol : Cette température est calculée en enlevant 1° C à la mesure précédente. Elle correspond à une température sous abri. La différence de 1° C entre la mesure effectuée à 2 m du sol et celle effectuée au niveau du sol est une différence moyenne, déterminée en station, à Viacha.

- Les indices actinothermiques correspondent à des relevés de température minimales effectuées à l'air libre. Ils seront largement utilisés dans la deuxième partie. Toutes les mesures réalisées chez les agriculteurs correspondent à des indices actinothermiques.

Sur l'Altiplano, les relevés des stations automatiques ont montré qu'il y avait peu de différence entre les mesures de températures minimales sous abri au niveau du sol et celles d'indices actinothermiques à la même hauteur.

FIGURE N° F : INDICES ACTINOTHERMIQUES ET TEMPERATURES MINIMALES



#### B.22 - Données de base

Pendant 15 années, les températures minimales journalières ont été relevées pour chaque station sous abri météorologique, à 2 m. au-dessus du sol. Pour chaque station, des tableaux similaires au tableau n° 1 ont été réalisés.

Les colonnes correspondent aux années de relevés. Chaque ligne correspond à la période allant du 1er au 10 janvier inclus. Pour chaque décennie de chaque année est inscrit le nombre de jours de gelées à  $X^{\circ}$  C au sol,  $X$  étant égal à - 2, - 3 ou - 5° C (ce qui correspond à - 1, - 2, - 4° C sous abri météorologique). On appelle nombre de jours de gelées à  $X^{\circ}$  le nombre de jours pour lesquels la température minimale est inférieure ou égale à  $X^{\circ}$ .

Ainsi, on peut lire dans le tableau ci-dessus que durant la 14ème décennie de l'année 1975, il a gelé 5 jours à - 2° C. Le chiffre 99.9 correspond à une absence de données.

Pour chaque station, on a calculé la probabilité  $P$  d'avoir un cycle de  $k$  jours libres de gel pour la pomme de terre et la quinoa.

## Viacha

	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	moy	min	max
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	99.9	0.0	0.0	0.0	99.9	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	99.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	99.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	99.9	0.0	0.0	99.9	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	99.9	0.0	0.0	99.9	0.0	0.0	0.0	0.0
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	99.9	0.0	0.0	99.9	0.0	0.1	0.0	0.0
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	99.9	0.0	0.0	99.9	0.0	0.0	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	99.9	0.0	0.0	0.0	1.0	0.1	0.0	0.0
9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	99.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
10	0.0	0.0	1.0	0.0	2.0	0.0	1.0	6.0	0.0	0.0	99.9	0.0	0.0	0.0	3.0	0.9	0.0	1.0
11	0.0	0.0	1.0	6.0	5.0	0.0	2.0	5.0	4.0	5.0	99.9	0.0	0.0	0.0	1.0	2.1	0.0	5.0
12	0.0	5.0	1.0	4.0	1.0	7.0	7.0	4.0	10.0	4.0	99.9	0.0	0.0	0.0	3.0	3.4	0.0	5.0
13	0.0	8.0	5.0	7.0	10.0	10.0	7.0	7.0	9.0	8.0	99.9	0.0	0.0	7.0	7.0	6.3	5.0	8.0
14	6.0	10.0	5.0	8.0	10.0	10.0	10.0	9.0	7.0	9.0	99.9	0.0	0.0	10.0	8.0	7.7	6.0	10.0
15	10.0	10.0	11.0	11.0	10.0	11.0	11.0	11.0	10.0	11.0	99.9	0.0	0.0	11.0	9.0	9.6	10.0	11.0
16	7.0	9.0	7.0	8.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	9.0	99.9	0.0	0.0	99.9	10.0	8.4	7.0	10.0
17	9.0	9.0	7.0	10.0	10.0	10.0	10.0	9.0	10.0	7.0	99.9	0.0	0.0	99.9	7.0	8.2	7.0	10.0
18	10.0	10.0	10.0	10.0	9.0	8.0	10.0	10.0	10.0	10.0	99.9	0.0	0.0	99.9	9.0	8.8	9.0	10.0
19	10.0	10.0	10.0	10.0	9.0	10.0	10.0	2.0	10.0	10.0	99.9	0.0	0.0	99.9	10.0	8.4	9.0	10.0
20	9.0	10.0	9.0	7.0	8.0	10.0	10.0	9.0	10.0	10.0	99.9	0.0	0.0	99.9	10.0	8.5	8.0	10.0
21	11.0	11.0	11.0	11.0	10.0	11.0	11.0	10.0	10.0	11.0	99.9	0.0	0.0	99.9	10.0	9.7	10.0	11.0
22	8.0	10.0	10.0	9.0	9.0	10.0	10.0	10.0	8.0	9.0	99.9	0.0	0.0	99.9	10.0	8.7	8.0	10.0
23	8.0	9.0	7.0	10.0	9.0	8.0	10.0	9.0	9.0	8.0	99.9	0.0	0.0	9.0	9.0	8.1	8.0	9.0
24	7.0	8.0	4.0	8.0	11.0	9.0	11.0	4.0	9.0	11.0	99.9	0.0	0.0	11.0	8.0	7.8	4.0	11.0
25	5.0	1.0	6.0	3.0	5.0	9.0	10.0	0.0	8.0	6.0	99.9	0.0	0.0	8.0	8.0	5.5	1.0	8.0
26	5.0	6.0	5.0	5.0	3.0	6.0	8.0	7.0	8.0	7.0	99.9	0.0	0.0	10.0	6.0	5.8	5.0	7.0
27	1.0	6.0	2.0	5.0	1.0	1.0	9.0	3.0	4.0	3.0	99.9	0.0	0.0	10.0	6.0	4.1	1.0	6.0
28	1.0	2.0	0.0	8.0	3.0	2.0	3.0	0.0	4.0	4.0	99.9	0.0	0.0	9.0	5.0	3.2	0.0	4.0
29	0.0	2.0	1.0	2.0	0.0	6.0	0.0	0.0	1.0	0.0	99.9	0.0	0.0	8.0	0.0	1.7	0.0	2.0
30	0.0	0.0	6.0	2.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	99.9	0.0	0.0	8.0	4.0	1.7	0.0	2.0
31	0.0	0.0	3.0	3.0	0.0	0.0	1.0	4.0	0.0	0.0	99.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	1.0
32	0.0	3.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	99.9	0.0	0.0	1.0	0.0	0.6	0.0	1.0
33	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	99.9	0.0	0.0	2.0	0.0	0.5	0.0	1.0
34	99.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	99.9	99.9	0.0	0.0	1.0	0.0	0.1	0.0	0.0
35	99.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	99.9	99.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
36	99.9	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	99.9	99.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	1.0
tot	107.0	139.0	125.0	150.0	136.0	149.0	165.0	135.0	151.0	142.0	0.0	0.0	0.0	105.0	144.0	109.8667		

TABLEAU N° 1 : NOMBRE DE JOURS DE GELEES A -2° C PAR DECADE POUR LA STATION DE VIACHA ( ANNEES 1973-1987 ).

B.23 - Calcul de la probabilité P.B.231 - Réalisation d'un graphique

On peut considérer qu'à partir du moment où il ne gèle plus (à  $-3^{\circ}\text{C}$  pour la pomme de terre et à  $-5^{\circ}\text{C}$  pour la quinoa) la plante peut commencer son cycle. La période végétative continuera tant que les gelées de fin de saison des pluies n'arriveront pas (à  $-2^{\circ}\text{C}$  pour la pomme de terre et à  $-5^{\circ}\text{C}$  pour la quinoa). La période végétative est donc coincée entre ces 2 gelées : la dernière à  $-3^{\circ}\text{C}$  ou à  $-5^{\circ}\text{C}$  et la première à  $-2^{\circ}\text{C}$  ou  $-5^{\circ}\text{C}$ .

On a choisi les 2 événements mathématiques A et B définis ainsi :

Événement  $A_y$  : "A la décade  $n^{\circ}y$  de l'année  $n$ , les gelées à  $X^{\circ}\text{C}$  ne sont toujours pas finies"

$$x = (-3 ; -5)$$

On a choisi la première décade de janvier pour séparer les gelées de début et de fin de cycle, car à l'exception de la station de Charana qui est exceptionnellement froide, les gelées sont toujours terminées au 1er janvier.

Cette convention permet de définir l'événement inverse  $A^{-1}_y$  qui sert ensuite au calcul de la fréquence et la probabilité de l'événement  $A_y$ .

Événement  $A^{-1}_y$  : "A partir de la décade  $n^{\circ}y$  de l'année  $n$ , il ne gèle plus à  $x^{\circ}\text{C}$  jusqu'à la première décade de l'année  $n+1$ , ou s'il gèle à  $x^{\circ}\text{C}$  jusqu'à la dernière décade de l'année  $n$ , il ne gèle pas pendant au moins une décade à partir de la décade  $y$  de l'année  $n+1$ ".

$$x = (-3 ; -5)$$

Événement  $B_{y'}$  : "Il a gelé à  $x'$  à partir de la décade  $y'$ "

$$x' = (-2 ; -5)$$

Pour chaque décade  $y$ , nous avons calculé  $P(A_y)$  et  $P(B_{y'})$  à partir de  $F(A_y)$  et  $F(B_{y'})$  : fréquences de ces événements. On a réalisé des tableaux comme celui ci. (14 années de mesures)

COMANCHE $-3^{\circ}\text{C}$	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	1	2	3
$F(A-1y)$	0	0	0	0	0	1	3	5	6	10	14	14	14
$P(A-1y)$	0	0	0	0	0	0,1	0,2	0,4	0,4	0,7	1	1	1
$P(A_y)$	1	1	1	1	1	0,8	0,8	0,6	0,6	0,3	0	0	0

$$P(A-1y) = F(A-1y) / 14$$

$$P(A_y) = 1 - P(A-1y)$$

14 ANNEES DE RELEVÉ

et porté sur un graphique  $P(Ay)$  et  $P(By')$  pour chaque décade. On obtient un graphique comme celui de la figure n° 1.

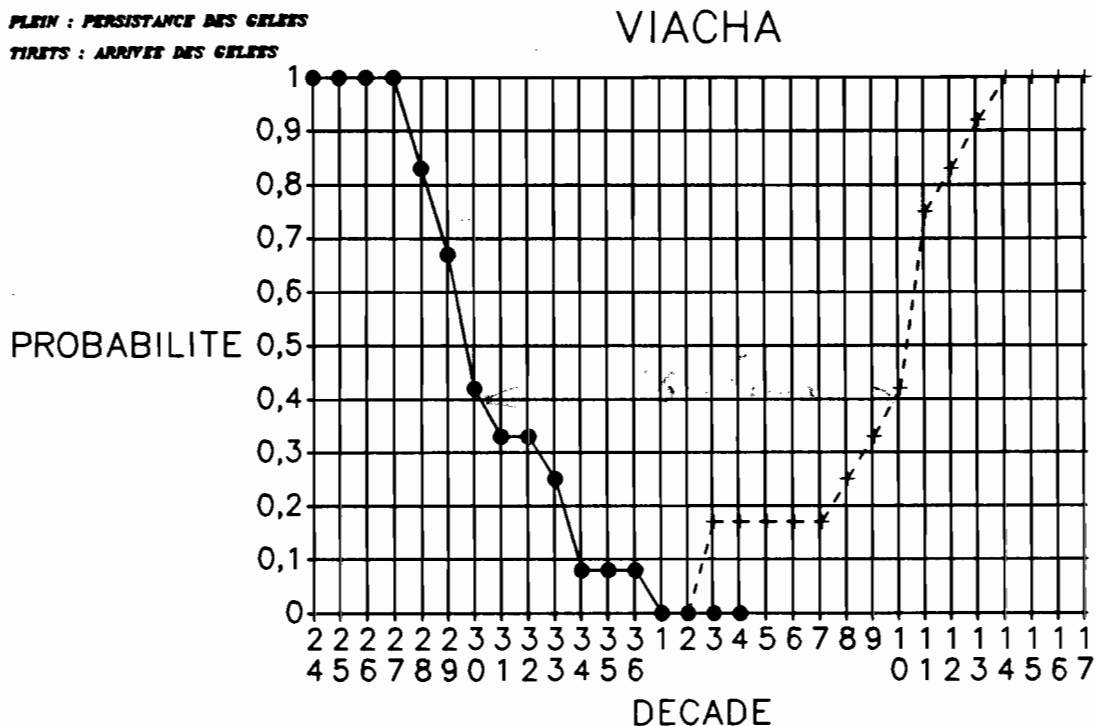


FIGURE N° 1 : REPRESENTATION GRAPHIQUE DE  $P(Ay)$  ET  $P(By')$  POUR LA STATION DE VIACHA.

La courbe de gauche représente la probabilité que les gelées ne soient pas finies à la décade  $y$  et celle de droite la probabilité que les gelées aient recommencées à la décade  $y$ .

On peut donc à partir de ces courbes évaluer graphiquement pour chaque culture la probabilité de l'événement  $Cy$  : "La période libre de gel pour la culture considérée est de  $y$  jours".

Dans l'exemple, on a la probabilité  $1 - 0,40 = 0,60$  d'avoir une période libre de gel pour la pomme de terre de 160 jours à Viacha.

#### B.222 - Choix des variables

Pour chaque station, on a calculé les probabilités suivantes

Q120	Probabilité d'avoir pour la quinoa	120 jours libres de gel
Q150	"	150 " "
P 90	"	pomme de terre 90 jours libres de gel
P120	"	" " 120 " "

Un cycle cultural de 90 jours étant le strict minimum pour la pomme de terre, 1 - P 90 correspond à la probabilité de ne pas obtenir de récolte de pomme de terre. De même, 1 - Q120 correspond à la probabilité de ne pas obtenir de récolte de quinoa.

Les cycles normaux de la pomme de terre et de la quinoa étant de 120 et de 150 jours, P120 et Q150 correspondent à la probabilité d'avoir une récolte normale si les autres facteurs du milieu sont normaux (pas de sécheresse, pas de grêle...).

On a également considéré la variable P 50 % qui correspond à la durée de la période laissée libre de gel pour la pomme de terre 1 année sur 2.

### B.233 - Corrélations relatives à ces 5 variables

On obtient les résultats suivants :

Tableau 3 : Valeurs des variables P 90, P120, Q120, Q150, P50%

STATION	ABREVIATION	P90 %	P120 %	Q120 %	Q150 %	PA50% JOURS
ORURO	OR	70	40	77,5	50	109
AYO-AYO	AY	20	10	57,5	25	56
CALACOTO	CL	45	15	62,5	22,5	65
CARACOLLO	CR	75	60	82,5	55	124
COLLANA	CO	85	85	92,5	92,5	174
COPACABANA	CP	100	100	100	100	360
EL ALTO	EL	90	72	100	92	160
EL BELEN	EB	40	25	62,5	35	58
HUARINA	HU	77,5	65	75	65	153
VIACHA	VI	82,5	70	95	82,5	164
TIHUANACU	TI	60	45	75	55	113
COMANCHE	CM	20	7,5	60	40	49
CHARANA	CH	7	0	4	0	2
SICA-SICA	SI	100	100	100	100	171
PATACAMAYA	PA	62,5	45	87,5	70	114

Premièrement, on constate que le risque de gel est extrêmement variable d'une station à l'autre :

- pour une station comme Charana, le gel interdit toute agriculture. La probabilité d'avoir un cycle de 90 jours pour la pomme de terre n'étant que de .. 7 %

- A l'inverse dans une station comme Copacabana située près du lac Titicaca, le gel ne représente presque aucun risque pour l'agriculture.

- Entre ces 2 stations extrêmes, on trouve des situations diverses. La période laissée libre de gel une année sur deux varie, pour la pomme de terre, de 49 à 174 jours. On notera que subsiste toujours un risque de gelée avant la fin de cycle, puisque P120 s'étale de 10 à 90 % environ et Q150, de 20 à 95 %.

Il apparait envisageable de réaliser une classification des stations vu la diversité des situations.

Les variables P 90, P120, Q120, Q150 sont extrêmement corrélées. La matrice des corrélations est la suivante :

	P 90	P120	Q120	Q150	
P 90	1000				
P120	966	1000			
Q120	940	944	1000		r est multiplié par 1000
Q150	905	969	961	1000	

Toutes les corrélations sont donc supérieures à 82 % ( $r = 0,905$ ). Les graphiques n° 2 et n° 3 témoignent également de cette corrélation étroite.

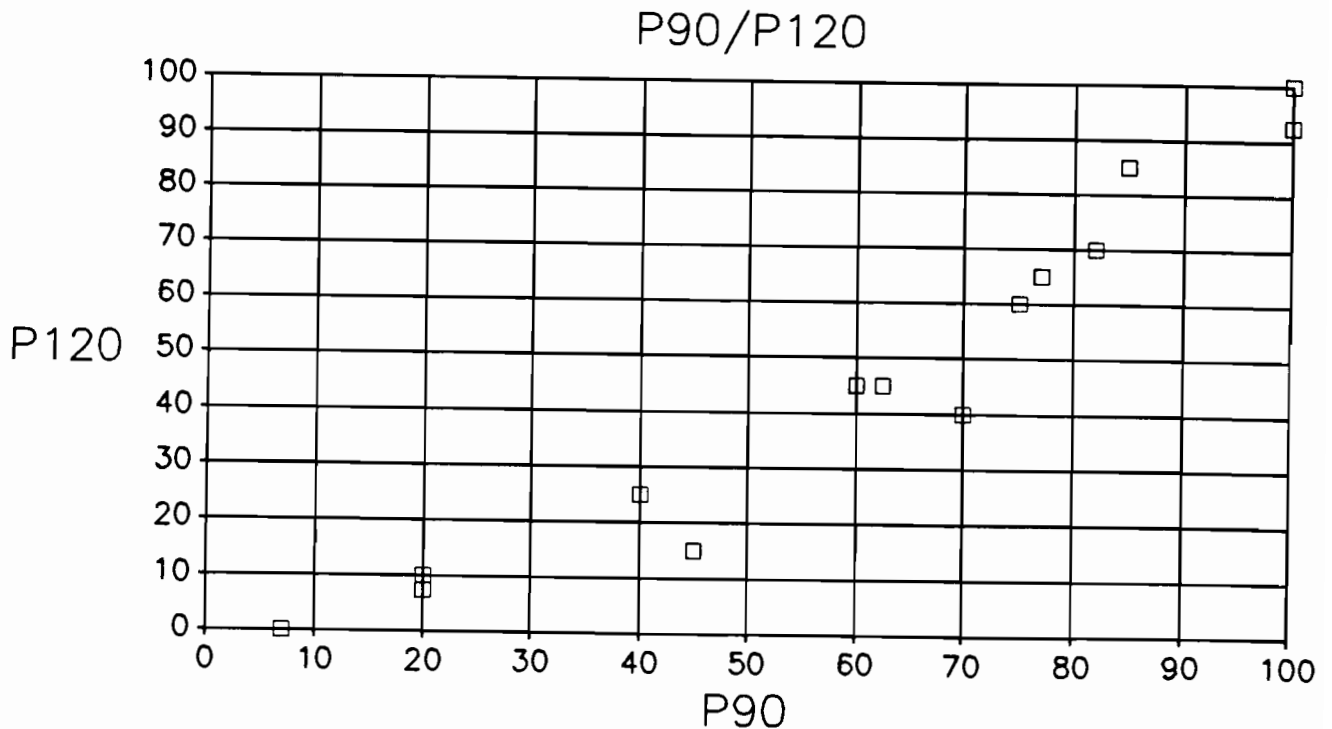


FIGURE N° 2 : CORRELATION ENTRE LES VARIABLES P90 ET P120.

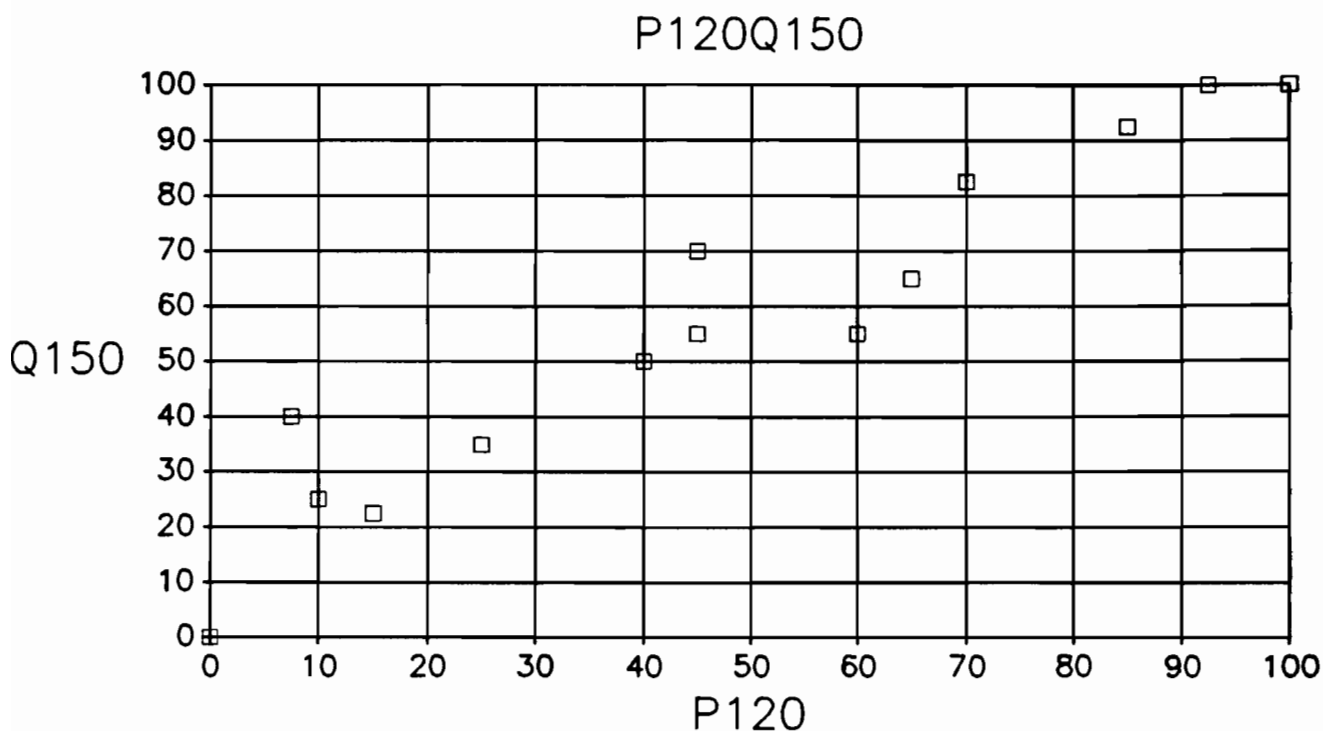


FIGURE N°3 : CORRELATION ENTRE LES VARIABLES P120 ET Q150.

Pratiquement, cela signifie que là où la culture de la pomme de terre est peu soumise au risque de gel, il en va de même pour la quinoa, et qu'inversement lorsque l'une des 2 productions est risquée, l'autre l'est aussi.

La variable P50 % est également bien corrélée aux quatres autres. On obtient la matrice suivante :

Tableau 5 : Matrice des corrélations entre les variables P 90, Q150, P50%.

	P 90	Q150	P50%
P 90	1000		
Q150	905	1000	
P50%	792	796	1000

Cette corrélation est cependant moins forte. Cela s'explique par l'observation des graphiques de la partie A23. En effet, c'est au niveau  $P = 0,5$  qu'existe la plus grande hétérogénéité des distances entre les différentes courbes.

## B.24 - Introduction d'autres variables

### B.241 - Utilisation des courbes

Sur les figures suivantes, la partie hachurée en gris montre pour chaque station la différence entre la durée de la période laissée libre de gel pour la pomme de terre et celle laissée libre de gel pour la quinoa pour chaque niveau de probabilité.

Les courbes présentent des allures très différentes :

- les stations pour lesquelles l'aire grise est restreinte (Viacha par exemple),

- A l'inverse l'aire grise peut être très importante. C'est le cas par exemple de la station de El Alto.

- On note également que cette aire ne se divise pas également à droite et à gauche du graphique.

Ainsi dans certaines stations, planter de la quinoa permet de rallonger notablement la saison de culture. Ceci peut s'expliquer par le fait qu'il gèle rapidement à  $-2^{\circ}\text{C}$ , mais que les gelées plus basses tardent à venir. La quinoa plus résistante au gel peut alors survivre alors que la pomme de terre a déjà gelé. Dans certaines stations, la quinoa a donc une année sur deux une période libre de gel supérieure de 80 jours à celle de la pomme de terre. Par contre, dans d'autres stations, les gelées fortes tombent brutalement. Planter de la quinoa paraît alors moins intéressant.

Pour rendre compte de ce phénomène, nous avons choisi deux variables :

DIFG : "Nombre de jours libres de gel gagnés en début de saison de culture une année sur deux, si l'on plante de la quinoa plutôt que des pommes de terre".

DIFD : "Nombre de jours libres de gel gagnés en fin de saison de culture une année sur deux, si l'on plante de la quinoa plutôt que des pommes de terre".

On obtient les résultats suivants : (tableau 6)

STATION	ABREVIATION	DIFG50% JOURS	DIFD50% JOURS
ORURO	OR	20	20
AYO-AYO	AY	17	55
CALACOTO	CL	13	32
CARACOLLO	CR	13	20
COLLANA	CO	34	30
COPACABANA	CP	0	0
EL ALTO	EL	48	35
EL BELEN	EB	27	60
HUARINA	HU	3	20
VIACHA	VI	10	10
TIHUANACU	TI	20	26
COMANCHE	CM	30	53
CHARANA	CH	5	30
SICA-SICA	SI	55	25
PATACAMAYA	PA	10	40

TABLEAU N° 6 : VALEURS DES VARIABLES DIFG ET DIFD

FIGURES N° 4 A 18 : REPRESENTATION DES PERIODES LAISSES LIBRES DE GEL POUR LA POMME DE TERRE ET LA QUINOA A TOUS LES NIVEAUX DE PROBABILITE.

FIG N°4

TIHUANACU

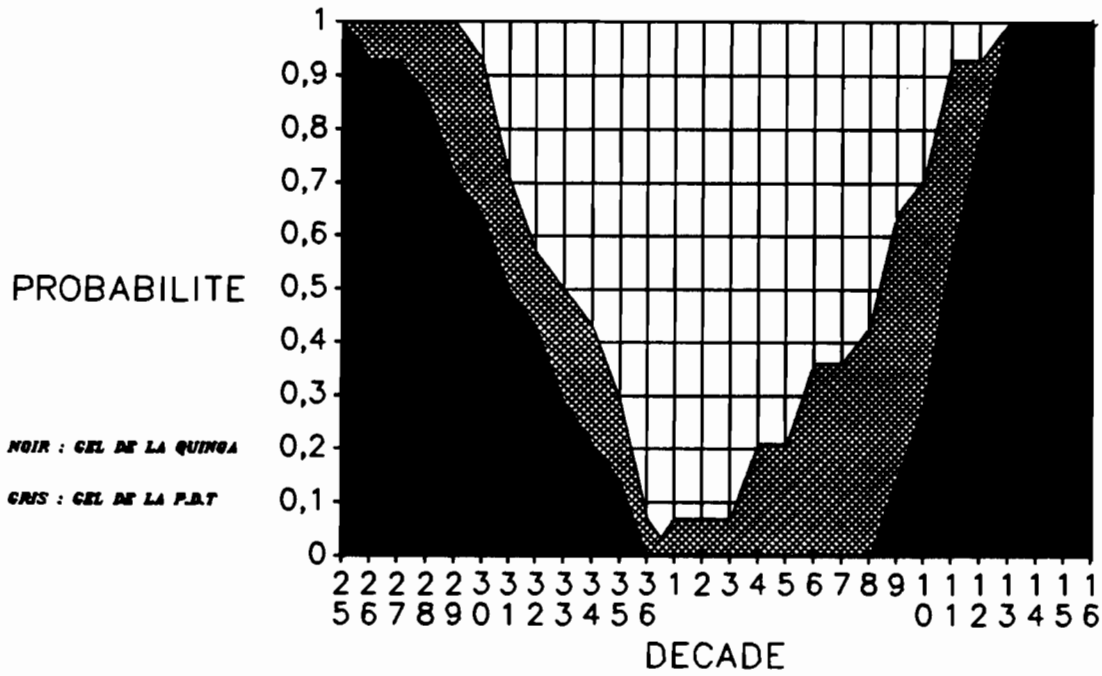


FIG N°5

AYO-AYO

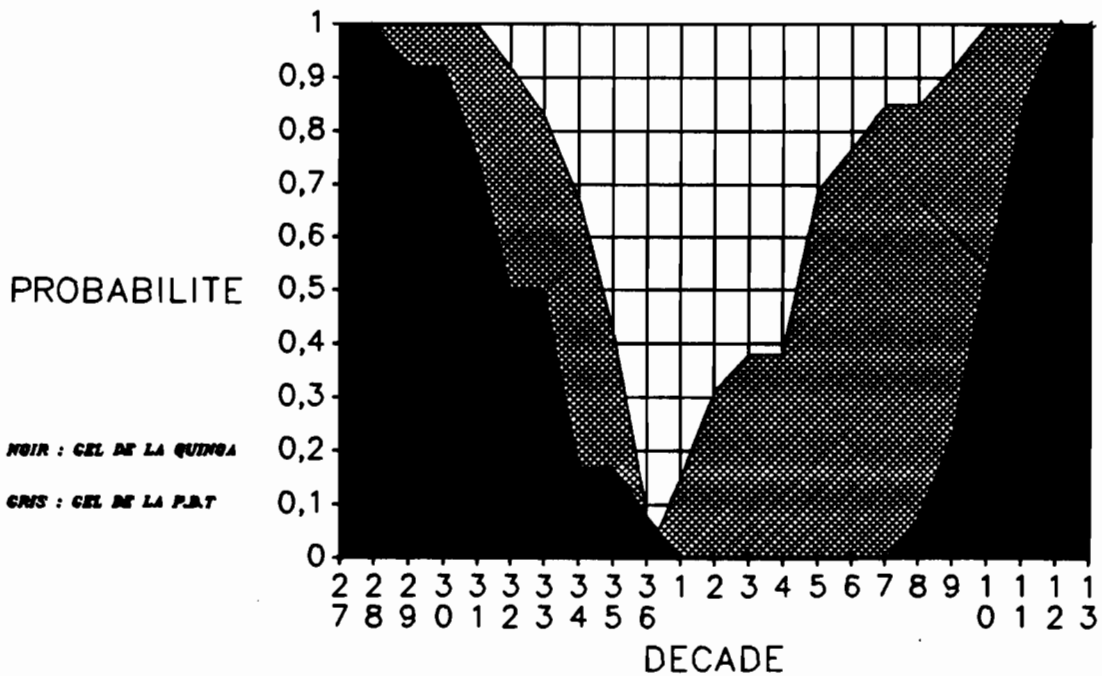


FIG N°6

EL ALTO

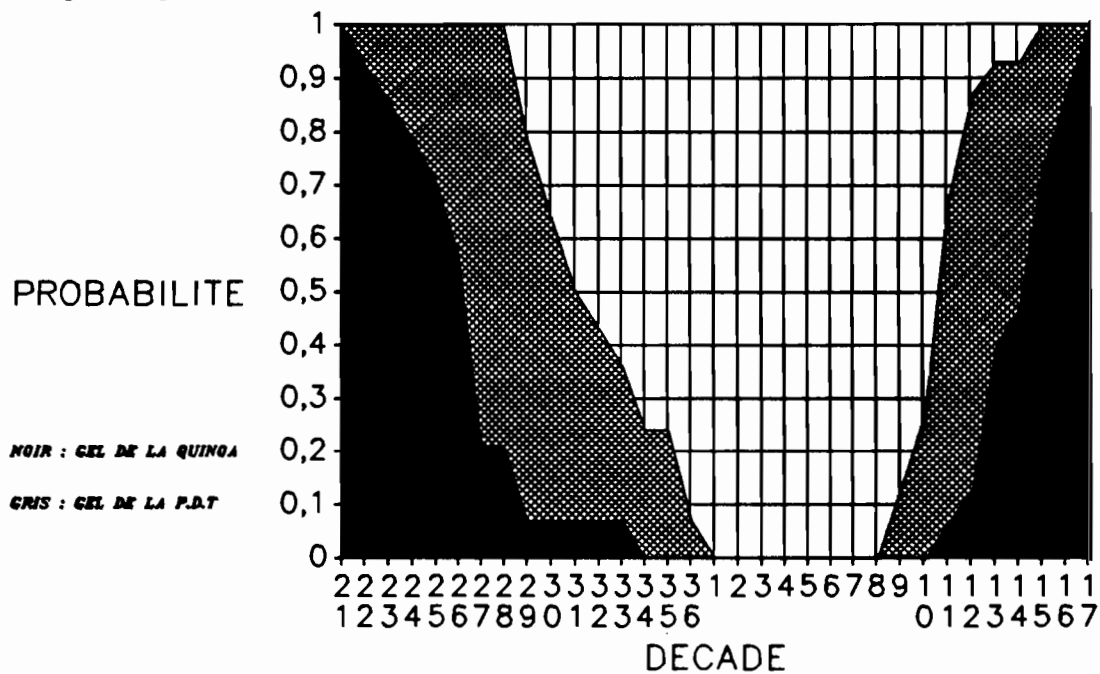


FIG N°7

CHARANA

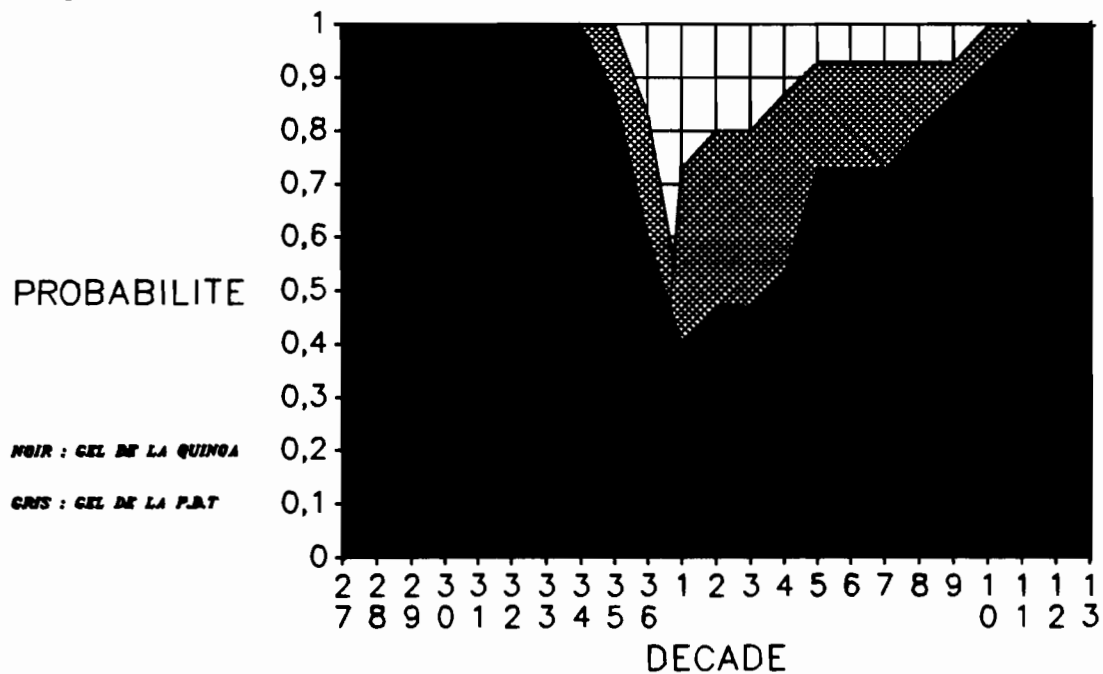




FIG N°10

HUARINA

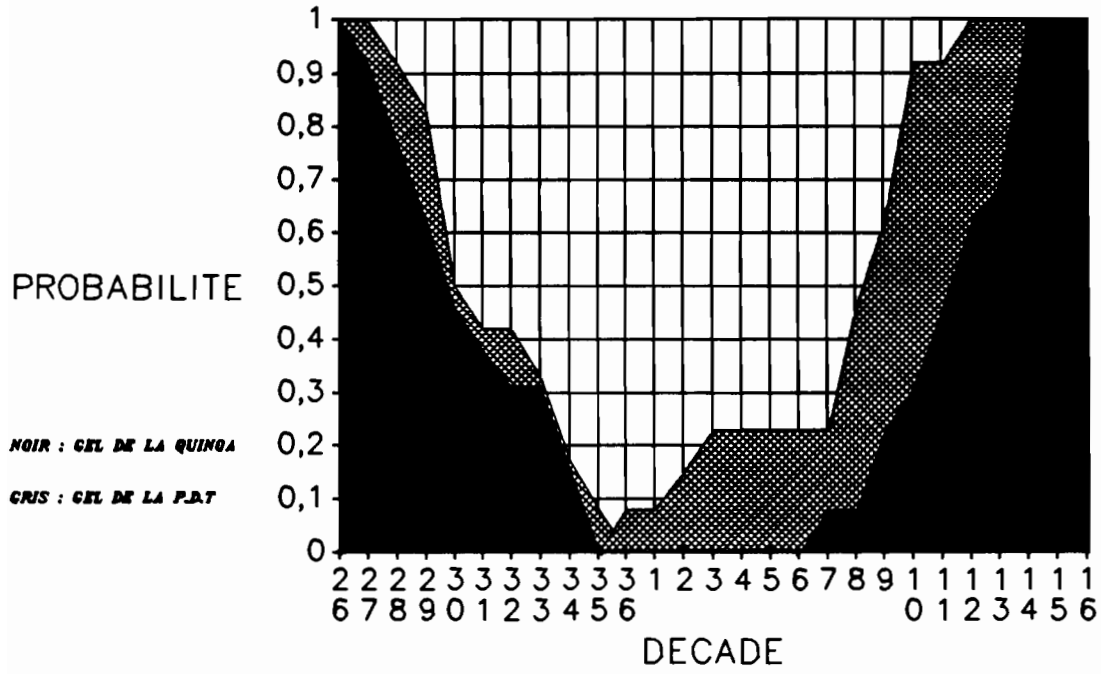


FIG N°11

YIACHA

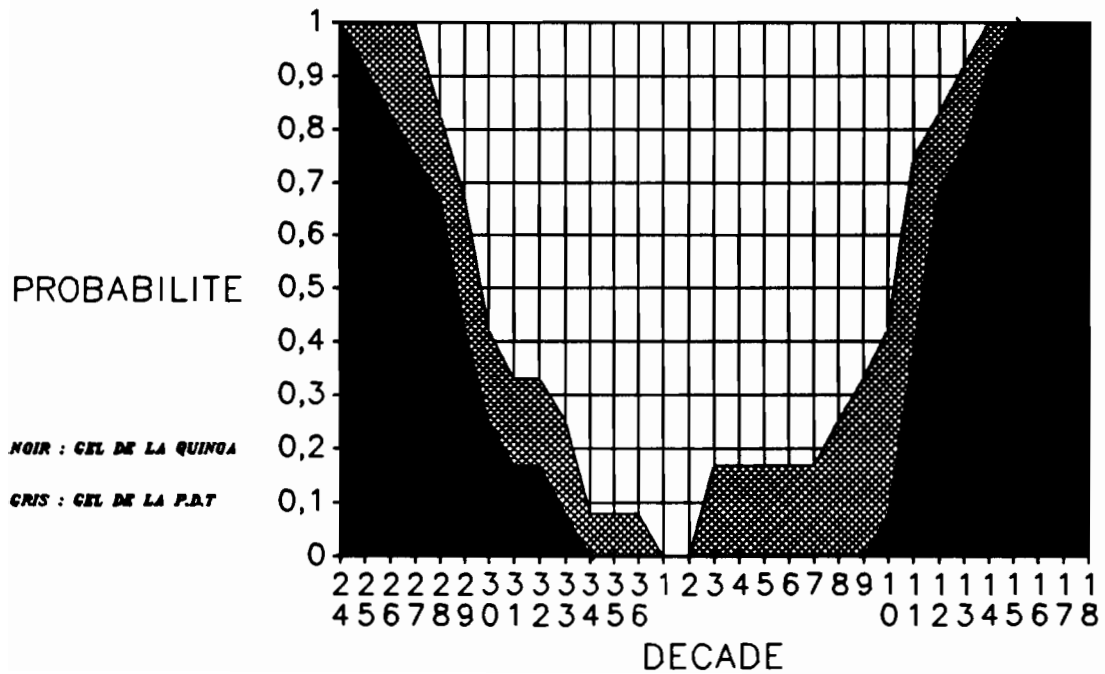


FIG N°12

COMANCHE

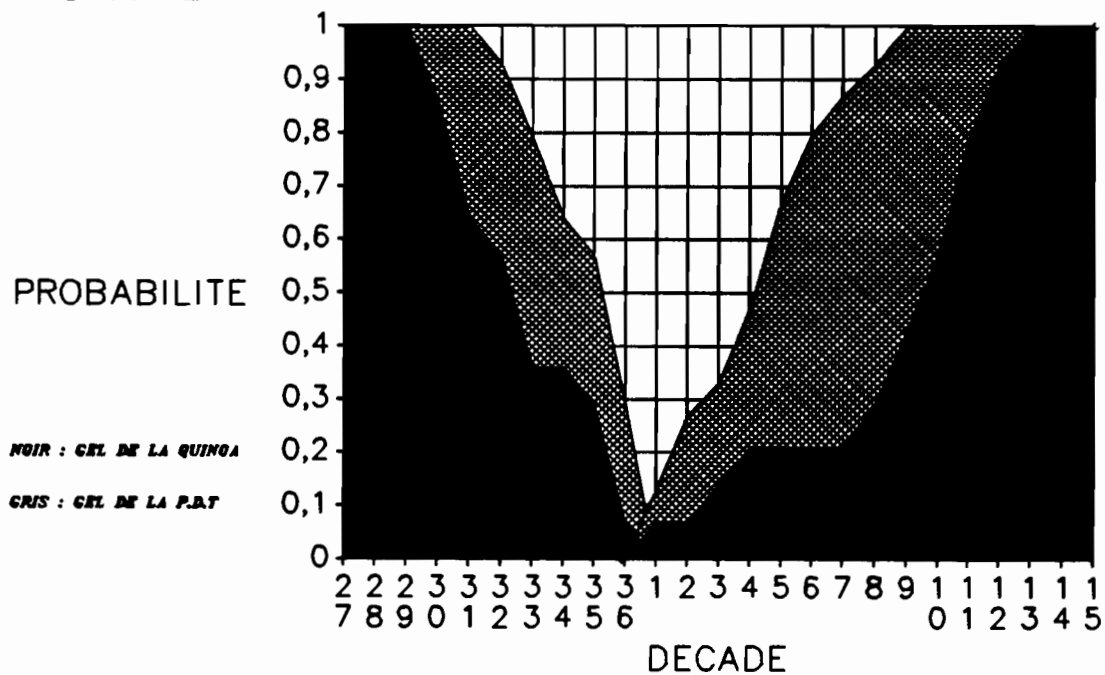


FIG N°13

EL BELEN

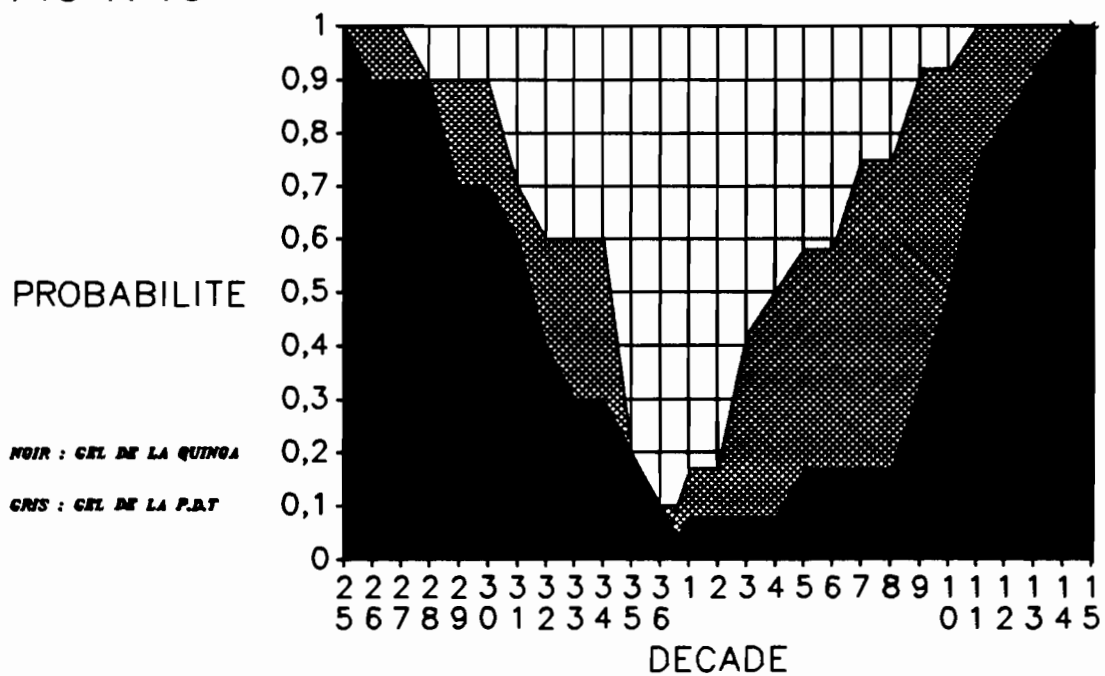


FIG N°14

CALACOTO

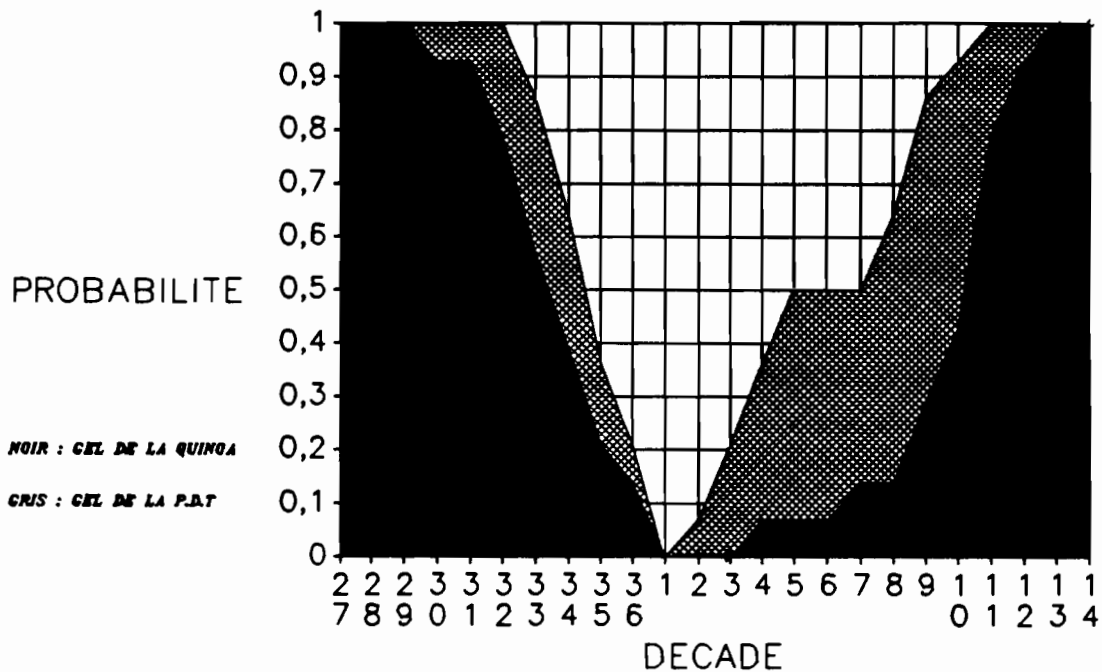
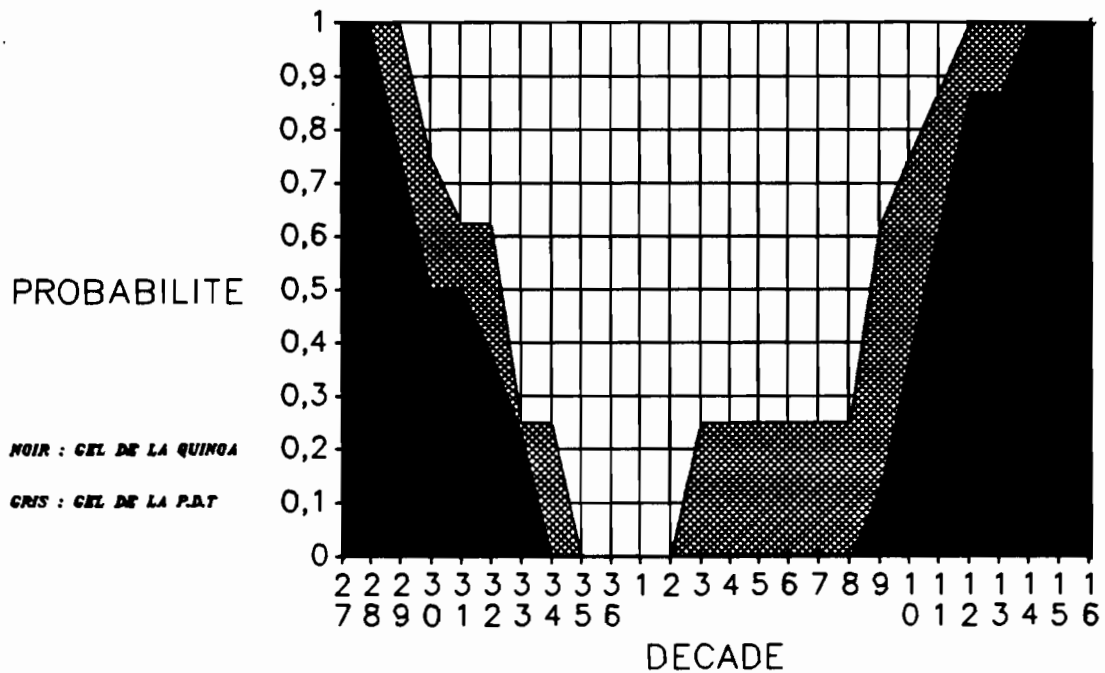


FIG N°15

CARACOLLO





Les variables DIFG et DIFD sont assez mal corrélées :  $r = 0,638$ . Ceci est confirmé par l'observation des courbes. En effet, il est visible que les gelées ne commencent pas et ne s'arrêtent pas de la même façon. Au vu des courbes, il apparaît que les gelées s'arrêtent beaucoup plus rapidement qu'elles ne commencent.

#### B.242 - Autres variables

Il est intéressant de connaître le nombre moyen de gelées par an à  $- 2^{\circ} \text{C}$ ,  $- 3^{\circ} \text{C}$ ,  $- 5^{\circ} \text{C}$ .

Soient :

X-2 : Nombre moyen de jours de gelées à  $- 2^{\circ} \text{C}$   
 X-3 :  $- 3^{\circ} \text{C}$   
 X-5 :  $- 5^{\circ} \text{C}$

X2X5 : "Différence entre le nombre de jours de gelées à  $- 2^{\circ} \text{C}$  et le nombre de jours de gelées à  $- 5^{\circ} \text{C}$ ".

Ces 4 variables pourront constituer un indicateur de la gélivité des stations. On obtient les résultats suivants : (Tableau 7).

STATION	ABREVIA	MTOT-2 JOURS X-2	MTOT-3 JOURS X-3	MTOT-5 JOURS X-5	MDIF-2,-5 JOURS X2X5
ORURO	OR	162	145	112	50
AYO-AYO	AY	189	170	138	51
CALACOTO	CL	187	172	141	46
CARACOLLO	CR	150	136	101	49
COLLANA	CO	110	80	36	74
COPACABANA	CP	2	1	0	2
EL ALTO	EL	124	95	42	82
EL BELEN	EB	152	131	94	58
HUARINA	HU	137	119	83	54
VIACHA	VI	140	121	90	50
TIHUANACU	TI	153	136	99	54
COMANCHE	CM	183	160	124	59
CHARANA	CH	236	215	179	57
SICA-SICA	SI	100	78	26	74
PATACAMAYA	PA	149	130	93	56

Le nombre de jours de gelées à  $-2^{\circ}$  C s'étale de 2 à 236 j/an  
à  $-3^{\circ}$  C 1 à 215 j/an  
à  $-5^{\circ}$  C 0 à 179 j/an

La variable X2X5 permet de distinguer 3 groupes :

En effet pour la plupart des stations, cette différence se situe aux alentours de 50 jours sauf pour 4 stations :

- Collana, Sica-Sica et El Alto. Pour ces 3 stations, la différence se situe aux alentours de 75 jours. Si le nombre de jours de gelées est assez important, ces stations sont moins souvent soumises à de fortes gelées.

- Copacabana. Pour cette station, la différence est égale à 2 jours. Il est vrai qu'il n'y gèle à  $-2^{\circ}$  C que 2 jours par an. Copacabana apparait d'ores et déjà comme une station tout à fait à part.

La variable X2X5 est assez bien corrélée à DIFG ( $r = 0,672$ ) et à DIFD ( $r = 0,642$ ). Ce qui est relativement normal vu que ces 3 variables regroupent en partie la même information.

Une dernière variable a été introduite :

C2X1 : Nombre moyen de jours de gelées à  $-2^{\circ}$  C durant le mois de janvier. Les données relatives à cette variable sont exposées dans le tableau n° 8.

STATION	ABREVIATION	MOYEN-2,1 JOURS C2X1
ORURO	OR	0,42
AYO-AYO	AY	0,99
CALACOTO	CL	0,57
CARACOLLO	CR	0,24
COLLANA	CO	0,42
COPACABANA	CP	0
EL ALTO	EL	0
EL BELEN	EB	0,93
HUARINA	HU	0,21
VIACHA	VI	0,18
TIHUANACU	TI	0,09
COMANCHE	CM	1,44
CHARANA	CH	8,85
SICA-SICA	SI	0
PATACAMAYA	PA	0,84

TABLEAU N° 8 : VALEURS DE LA VARIABLE C2X1.

Le mois de janvier est un mois à part. Il se situe au milieu de la saison de culture. Les gelées qui surviennent au cours de cette période sont destructrices car les plantes y sont alors très sensibles. Le nombre de jours de gelées durant le mois de janvier constituera un indicateur intéressant des risques de gelées en milieu de cycle.

On remarquera que même durant le mois de janvier, en pleine saison de culture, subsiste un risque de gelée pour presque toutes les stations.

Chaque station est donc caractérisée par 13 variables. Afin de simplifier la description de la situation, on a décidé de classer les stations en différents groupes homogènes. Pour cela, on a réalisé des analyses en composantes principales et des classifications hiérarchiques ; les variables les plus discriminantes ont été sélectionnées à partir de plusieurs ACP. On présentera ci-dessous les meilleures classifications obtenues.

### B.3 - Classification des stations et zonage de l'Altiplano sur des critères relatifs aux gelées.

NB. : La station de Sica-Sica a été éliminée des ACP car à l'analyse les données qui lui étaient affectées ont paru erronées.

#### B.31 - Classification des stations en groupes homogènes vis à vis des gelées.

Cette classification a été réalisée à partir de la sélection des 7 variables les plus discriminantes qui sont : P120, Q150, P50%, DIFG, DIFD, X2X5, C2X1.

La matrice de corrélations reprend les résultats précédents :

(TOUS LES COEFFICIENTS SONT MULTIPLIES PAR 1000)

0	PA12	Q150	PA50	DIFG	DIFD	X2X5	C2X1
PA12	1000						
Q150	944	1000					
PA50	909	856	1000				
DIFG	-125	49	-295	1000			
DIFD	-535	-344	-595	638	1000		
X2X5	-337	-235	-666	637	551	1000	
C2X1	-550	-634	-513	-236	79	167	1000

TABLEAU N° 10 : MATRICE DES CORRELATIONS ENTRE LES VARIABLES P120 , Q150 , P50% , DIFG , DIFD , X2X5 ET C2X1.

On remarquera cependant que C2X1 est inversement corrélé à P120, Q150 et P50%. Cela semble logique puisque effectivement des gelées en milieu de cycle interdisent des cycles "normaux" pour la pomme de terre et la quinoa.

Les 2 premiers facteurs de l'ACP expliquent 82 % de la classification ce qui est excellent et peut s'expliquer par le recoupement de l'information contenue dans les différentes variables.

Le premier facteur est corrélé à 0,97 avec P50% ; il est aussi bien lié à P120 et Q150. Ce facteur peut donc traduire un degré dans le risque de la culture de la pomme de terre et de la quinoa. Plus la coordonnée de la station sera faible, moins il y aura de risques liés aux gelées.

Le deuxième facteur est essentiellement une résultante de DIFG, DIFD et X2X5. Cet axe traduira donc la rapidité de l'installation des fortes gelées (inférieures à  $-5^{\circ}\text{C}$ ). Bref, plus la coordonnée relative à ce deuxième facteur sera forte, moins les gelées importantes tomberont rapidement, et plus grand sera l'intérêt de planter de la quinoa : la durée du cycle de cette dernière étant très largement supérieure à celle de la pomme de terre.

Le troisième facteur, combinaison de C2X1 et X2X5, est plus difficilement explicable. Nous nous intéresserons donc surtout au graphique suivant : le premier facteur étant en abscisse et le second en ordonnées. (Figure 21). A l'aide de la classification hiérarchique réalisée avec les mêmes données, on peut différencier les groupes indiqués sur le graphique. (Figure 22).

On peut dans un premier temps distinguer 2 catégories de stations :

- <u>Les saisons "chaudes"</u> :	Copacabana	Cp	Huarina	Hu
	El Alto	EL	Tihuanacu	Ti
	Collana	Co	Oruro	OR
	Viacha	Vi	Patacamaya	PA
	Caracollo	CR		
- <u>Les saisons "froides"</u> :	Charana	CH	Calacoto	CL
	Ayo-Ayo	AY	El Belem	EB
	Comanche	CM		

Ces deux groupes sont très éloignés les uns des autres :

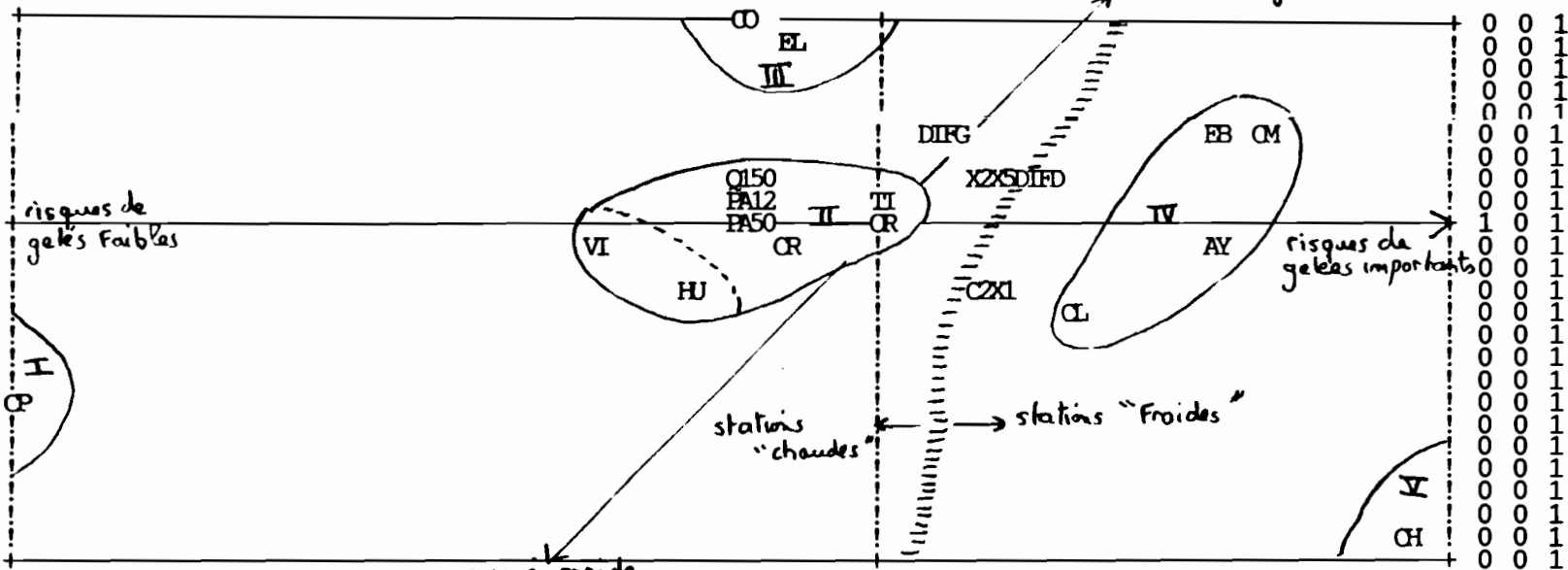
Pour le premier, la pomme de terre a 65 % de chance de boucler son cycle (P120), et la quinoa 74 %.

A l'inverse pour les stations "froides", P120 et Q150 sont respectivement égales à 0,11 et 0,25 ! C'est à dire que pour ces stations, il n'y a qu'1 chance sur 9 d'avoir un cycle normal pour la pomme de terre.

Cette différence se retrouve avec la variable P50%. La période laissée libre de gel une année sur deux pour la pomme de terre est de 163 jours pour les stations chaudes et de 48 jours seulement pour les stations froides.

1 AXE HORIZONTAL( 1)—AXE VERTICAL( 2)—TITRE:ACFPU

NOMERE DE POINIS : 21

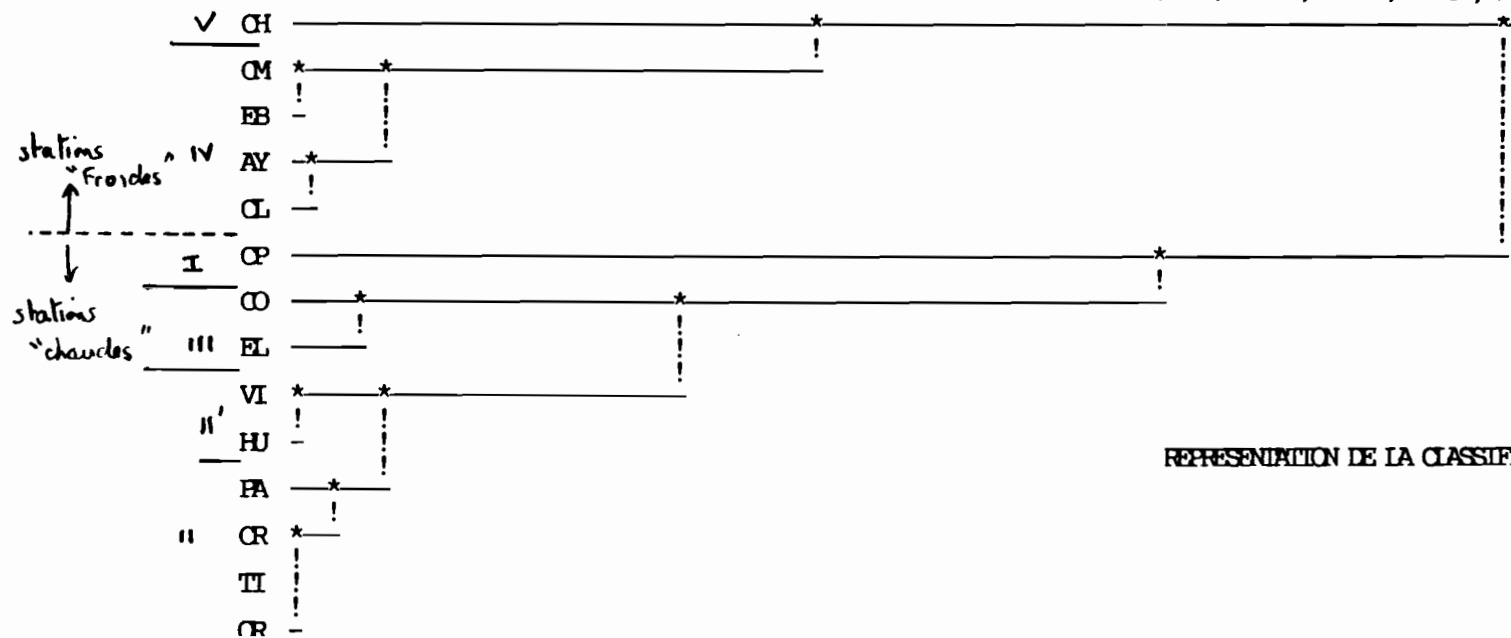


ONOMERE DE POINIS SUPERPOSES : 1

arrivée rapide des fortes gèles

FA (OR )

FIGURES N° 21 ET 22: REPRESENTATIONS GRAPHIQUES DE L'A.C.P ET DE LA CLASSIFICATION HIERARCHIQUE REALISEES AVEC LES VARIABLES P120, Q150, P50X, DIFD, DIFG, X2X5 ET C2X1.



REPRESENTATION DE LA CLASSIFICATION HIERARCHIQUE

Dans les stations "froides", les gelées s'arrêtent et reprennent plus lentement que dans les stations "chaudes".

Dans les stations "froides", il y a presque 3 jours de gelées à - 2 au mois de janvier en moyenne, ce qui diminue notablement les chances d'avoir de bonnes récoltes.

On remarquera que les stations "chaudes" restent fortement soumises aux risques de gel. En effet, une année sur quatre la récolte de pommes de terre est extrêmement mauvaise (PA90 = 0,75).

En fin de compte, on a distingué 5 groupes de stations :

- Groupe I : Le groupe ne contient que la station de Copacabana qui bénéficie d'un climat très particulier car elle est située au bord du lac Titicaca. Pour cette station, les risques de gelées sont quasiment inexistantes ce qui permet la culture de très nombreuses plantes (oignon, tomate, maïs...) et des rendements élevés.

- Groupe II : Tihuanacu, Oruro, Caracollo, Patacamaya, Viacha, Huarina. Ces stations représentent les conditions gélives les plus communes sur l'Altiplano. A savoir que la pomme de terre a 1 chance sur 2 de terminer un cycle normal et la quinoa 6 chances sur 10. La période laissée libre de gel 1 année sur 2 pour la pomme de terre se situe autour de 130 jours. Il gèle 1 année sur 3 au mois de janvier. Pour ces stations, la mise en culture de parcelles situées en pente et l'emploi de variétés amères de pomme de terre, plus résistantes au gel, paraît nécessaire.

Huarina et Viacha, stations moins gélives peuvent être mises légèrement à part dans ce groupe.

- Groupe III : Collana, El Alto. Pour ces 2 stations, les risques de gelées sont limités (P120 = 0,78 et Q150 = 0,92). On trouvera donc peu de variétés amères de pomme de terre ; la période laissée libre de gel une année sur deux pour la pomme de terre étant égale à 167 jours. On remarquera que pour ces 32 stations, les gelées à - 5° C arrivent très lentement, ce qui permet de dire que la culture de la quinoa est pratiquement exempt de risques.

- Groupe IV : El Belen, Comanche, Ayo-Ayo, Calacoto. Ces stations sont très gélives et l'activité agricole y est très risquée. Il n'y a qu'une chance sur 7 pour que la pomme de terre puisse boucler son cycle. La durée de la période laissée libre de gel 1 année sur 2 pour la pomme de terre n'est que de 57 jours ! L'agriculture de replat avec des variétés productrices peu résistantes au gel est exclue. La culture de variétés résistantes (amères) et de parcelles sur pentes semble obligatoire.

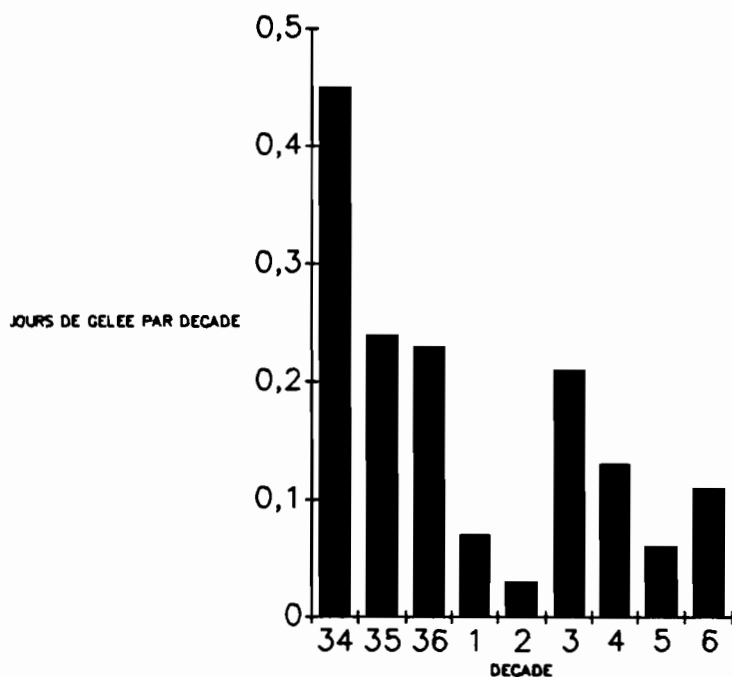
- Groupe V : Charana. L'agriculture est quasiment impossible, si ce n'est dans des conditions très particulières, enclos proches des maisons et situés sur des pentes.

### B.32 - Les gelées de milieu de cycle

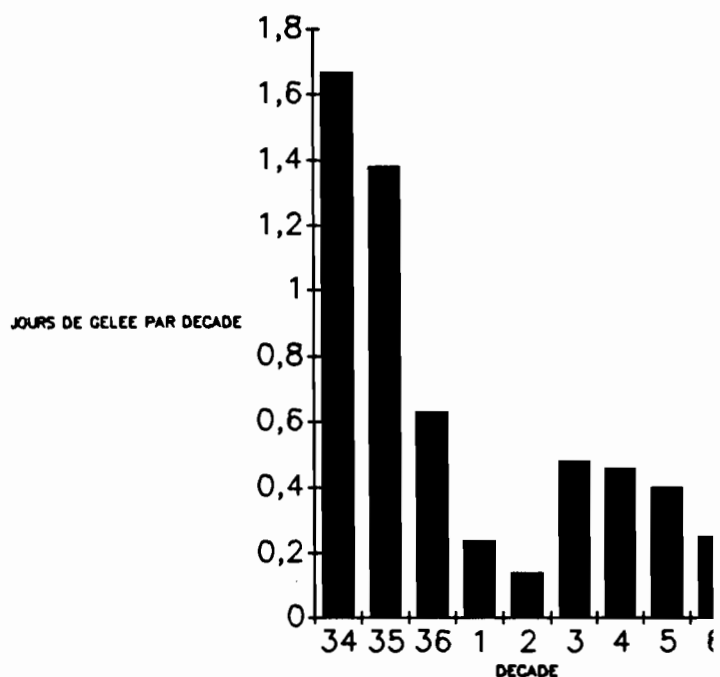
Les paysans considèrent qu'il existe des risques de gelées plus importants à l'époque de certaines fêtes (cf. E Brasier de Thuy) situées pourtant en milieu de la saison de culture. Il nous a paru intéressant de vérifier si certaines décades étaient effectivement plus froides.

Dans les stations des groupes II et IV, nous avons donc calculé le nombre moyen de jours de gelées à  $-2^{\circ}\text{C}$  pour les 34ème, 35ème et 36ème, première, deuxième, troisième, quatrième, cinquième et sixième décades. Les résultats sont les suivants et permettent d'obtenir les figures n° 23 et 24.

GELEES DE MILIEU DE CYCLE - GROUPE II -



GELEES DE MILIEU DE CYCLE - GROUPE IV



FIGURES N° 23 ET 24 : LES RISQUES DE GELEES EN MILIEU DE CYCLE POUR LES STATIONS DES GROUPES II ET IV.

Pour les stations des groupes II et IV, il apparaît effectivement que les 3ème et 4ème décades de l'année sont plus froides que les 1ère, 2ème, 5ème et 6ème. Il faut donc éviter que les pommes de terre arrivent en période de tubérisation maximale à ce moment de l'année. Cette période se produisant 80 à 90 jours après le semis, il conviendrait donc d'éviter de semer au cours des décades 29, 30 et 31 (début novembre).



Ces deux variables intègrent des données relatives aux précipitations et aux gelées.

On obtient les résultats suivants : (Tableau n° 11).

## C.2 - Classification des stations en groupes homogènes vis à vis des précipitations.

### C.21 - Corrélations entre variables

On obtient la matrice de corrélation suivante : (Tableau 12)

Toutes les corrélations entre PL50, PL33, PL66, PLPA, PLU1, PLU2 sont excellentes. Ces fortes corrélations sont en partie dues au recoupement de l'information. Deux corrélations sont inférieures à 0,90. Celle entre PLU1 et PLU2 s'élève à 0,84, ce qui montre que les pluies de début de saison ne sont pas forcément liées à celles de toute la saison des pluies. Certaines stations comme El Belen ou Patacamaya ont une forte partie de leur précipitation qui tombe en pré-saison des pluies à l'inverse de stations comme Charana et Caracoto.

PLPA est également peu lié à PL1. Ce qui paraît logique car la période libre de gel est plutôt calée entre le 1er décembre et le 15 mars alors que la pré-saison des pluies s'étale du 1/11 au 31/12.

On notera que la variable DIFF est faiblement liée à toutes les autres. Cela montre en fait que le caractère aléatoire des précipitations est indépendant de leur quantité. Le caractère aléatoire des pluies touche des stations sèches comme Caracoto ou humides comme Copacabana.

### C.22 - Classification hiérarchique et ACP

On a réalisé une analyse en composantes principales et une classification automatique sur les 7 variables précédentes.

On obtient le graphique n° 25. Le 1er facteur peut être considéré comme un indicateur général des précipitations. Les variables PL50, PL33, PL66, PLPA, PLU1, PLU2 composent à part égale ce facteur.

Plus la coordonnée de la station par rapport à ce premier facteur sera élevée, plus la station sera pluvieuse. Le second facteur est constitué presque exclusivement par la variable DIFF. Plus la coordonnée de la station sera faible, plus les pluies seront aléatoires.

La classification hiérarchique n° 26 a permis de montrer l'existence de 2 groupes de stations fort éloignés l'un de l'autre.

On peut distinguer des stations sèches : CH, CR, PA, EB, OR, CL, AY et des stations humides : HU, VI, CM, EL, CP, TI, CO.

STAT	ABREVIA	PL50	PL33	PL66	PLU1	PLU2	DIFF	PLPA	PLQU
CHARANA	CH	382	406	289	46	243	403	49	142
HUARINA	HU	605	610	501	141	406	671	521	554
CARACOLLO	CR	434	467	389	84	306	744	440	486
PATACAMAYA	PA	430	476	412	104	293	405	334	382
EL BELEN	EB	433	498	401	131	254	263	202	377
VIACHA	VI	673	764	525	160	480	675	601	631
COMANCHE	CM	566	633	513	140	413	563	280	511
EL ALTO	EL	648	738	613	171	419	360	561	654
ORURO	OR	430	528	394	86	355	399	372	411
COPACABANA	CP	933	1059	842	207	672	807	955	955
CALACOTO	CL	385	416	340	74	276	334	262	367
AYO-AYO	AY	424	480	412	101	318	297	218	361
TIHUANACU	TI	643	665	603	176	431	415	483	581
COLLANA	CO	618	670	563	167	409	430	550	612

TABLEAU N° 11 : VALEURS DES VARIABLES PL50 , PL33 , PL66 , PLU1 , PLU2 , DIFF , PLPA ET PLQU.

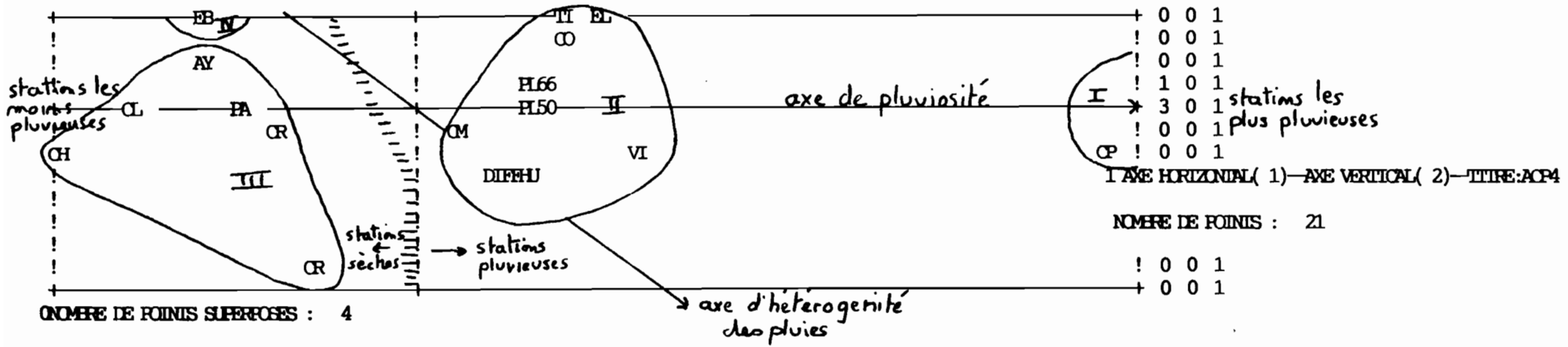
(TOUS LES COEFFICIENTS SONT MULTIPLIES PAR 1000)

0 PL50 PL33 PL66 PLPA PLU1 PLU2 DIFF

PL50	1000						
PL33	986	1000					
PL66	972	966	1000				
PLPA	910	907	895	1000			
PLU1	909	892	933	808	1000		
PLU2	971	976	943	914	837	1000	
DIFF	603	570	490	672	355	651	1000

TABLEAU N° 12 : MATRICE DES CORRELATIONS ENTRE LES VARIABLES PL50 , PL33 , PL66 , PLU1 , PLU2 ET DIFF.

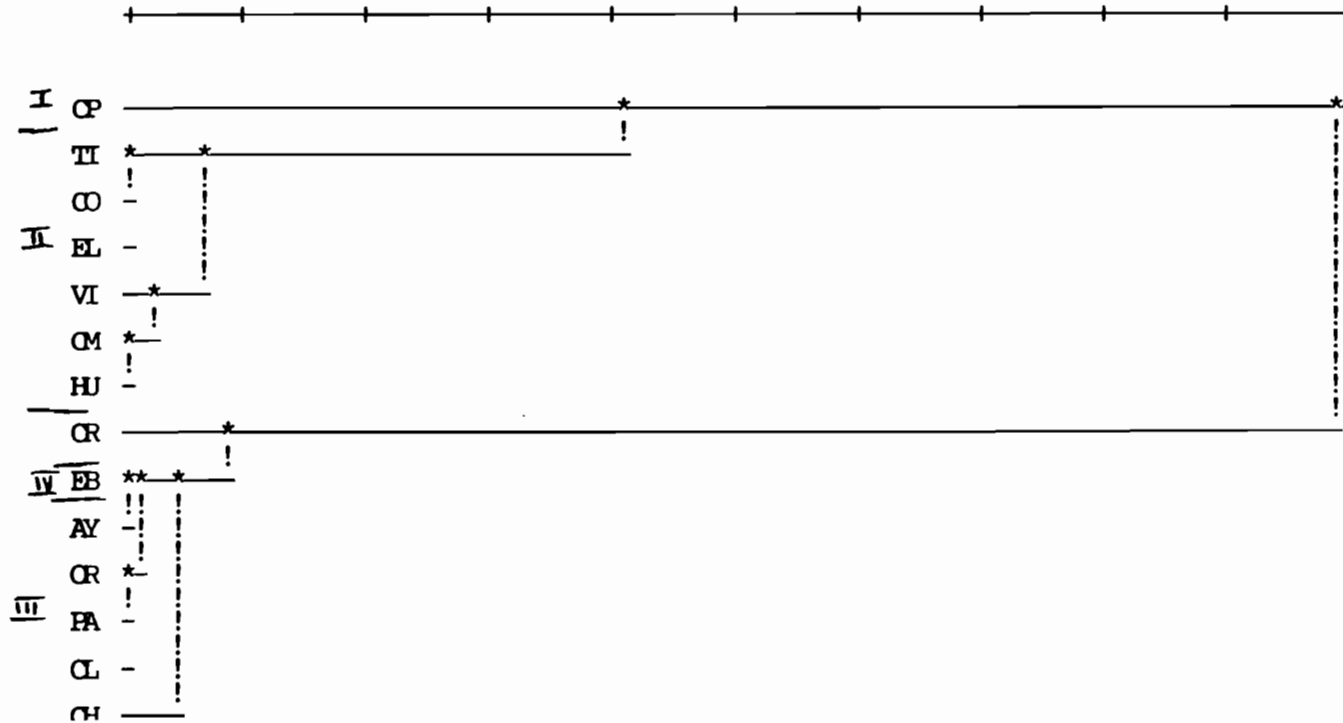
FIGURES N° 25 ET 26 : REPRESENTATIONS GRAPHIQUES DE L'A.C.P ET DE LA CLASSIFICATION HIERARCHIQUE REALISEES AVEC LES VARIABLES PL50 , PL33 , PL66 , PLPA , PLU1 , PLU2 ET DIFF.



NUMERE DE FOINIS SUPERPOSES : 4

III(PL66) PL33(PL50) PLPA(PL50) PLI2(PL50)

1 REPRESENTATION DE LA CLASSIFICATION HIERARCHIQUE



Pour les premières, les pluies de la saison humide ne s'élèvent en moyenne qu'à 292 mm, ce qui est limite pour une production agricole convenable. Pour les secondes, ces mêmes précipitations représentent 461 mm soit 58 % de plus. Dans ces dernières stations, l'eau ne sera généralement pas un facteur limitant de la production si ce n'est à Viacha ou Comanche, où les pluies sont beaucoup plus irrégulières. La variable PLPA montre également que dans les stations du deuxième groupe la pomme de terre bénéficiera de deux fois plus d'eau durant la période libre de gel correspondante, que dans les stations du premier groupe !

3 stations se distinguent :

- Copacabana, située près du lac, nettement plus pluvieuse que toutes les autres.
- Caracollo, par l'hétérogénéité de ses précipitations.
- El Belen, située géographiquement à proximité du lac, se classe dans le groupe des stations sèches. Cette station présente des précipitations très régulières. La situation d'El Belen très proche de la cordillère peut expliquer ses caractéristiques.

En fin de compte, on pourra distinguer les 4 zones suivantes :

#### Zone 1 : le lac

Les pluviométries totales et surtout de pré-saison sont importantes. Les pluies de décembre à mars sont régulières. Les abords immédiats du lac et les plaines très basses en contact direct avec celui-ci, sont donc bien arrosées par la pluie. Par contre, on pourra craindre les excès d'eau.

#### Zone 2 : Partie centre-nord

Les stations de Viacha, El Alto, Huarina, Comanche, Collana, Tihuanacu appartiennent à cette zone. Pour ces stations, le total des pluies est homogène (500 mm environ). Une pré-saison des pluies cumulant plus de 90 mm d'eau permettra de bien recharger les réserves du sol en début de la saison de culture. La variabilité des populations est moyenne. Cette partie de l'Altiplano présente une pluviosité encore très acceptable pour l'agriculture. C'est une région où l'activité agricole est importante.

#### Zone 3 : Altiplano central

Cette zone est caractérisée par les stations de Caracollo, Calacoto, Patacamaya, Oruro, Charana, Ayo-Ayo, qui présentent des totaux annuels faibles, ainsi qu'une pré-saison très peu pluvieuse. Les précipitations sont aussi régulières que pour la partie nord (sauf pour Caracollo). Dans les stations les plus sèches, l'activité agricole sera plutôt orientée vers l'élevage.

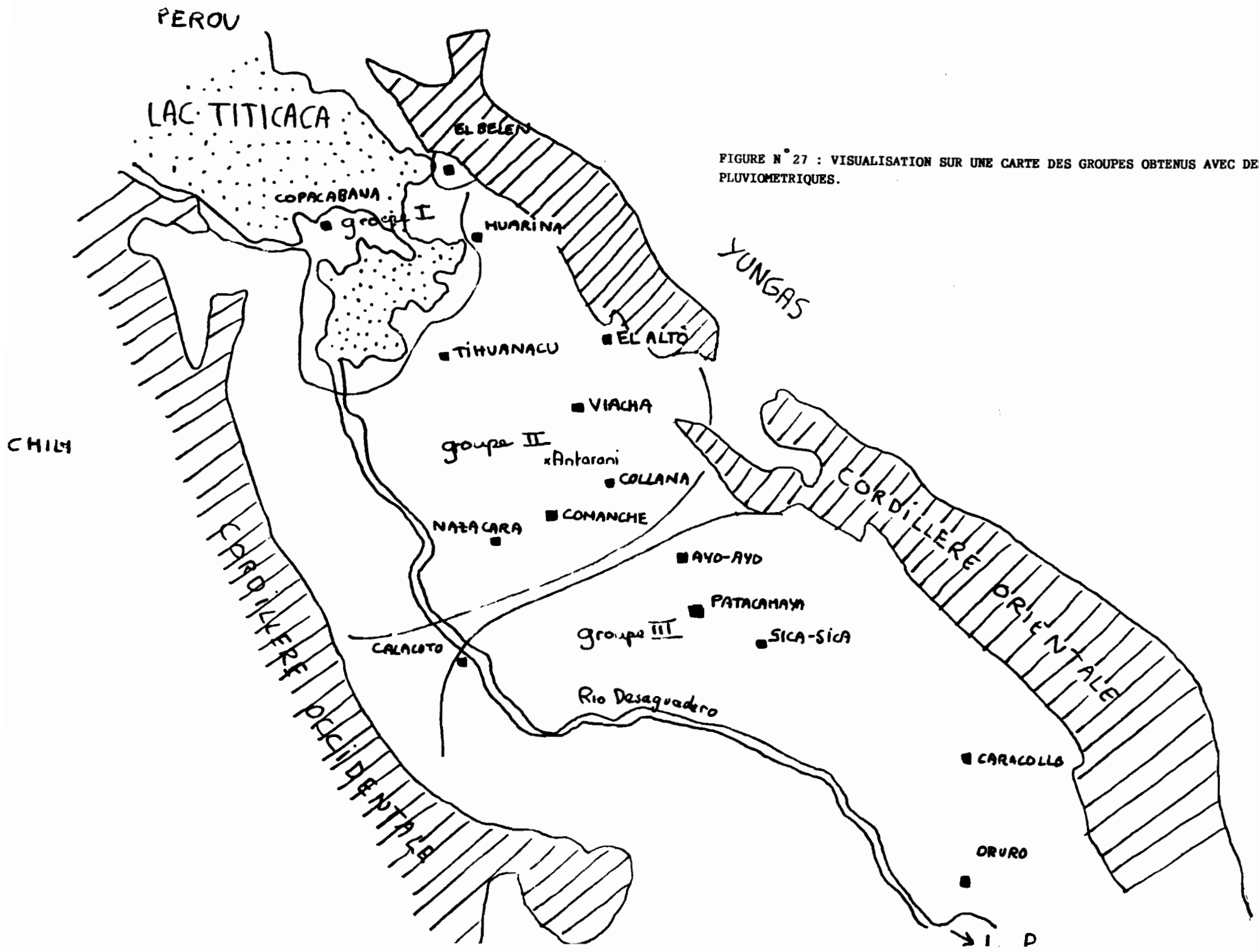


FIGURE N° 27 : VISUALISATION SUR UNE CARTE DES GROUPES OBTENUS AVEC DES CRITERES PLUVIOMETRIQUES.

Zone 4 : El Belen

Station correspondant à un cas particulier distinct des autres stations de l'Altiplano. El Belen, bien que proche du lac Titicaca (20kms) est située dans une vallée orientée vers le Sud-Est et présente un micro-climat particulier.

Si l'on place les différentes zones définies sur une carte, on aperçoit facilement qu'il existe un gradient Nord-Sud de précipitation, qui résulte du mouvement des grandes masses d'air (Figure 27).

Le phénomène le plus important de la circulation atmosphérique aux latitudes intertropicales est la circulation des alizés. Ce sont des vents lents et humides qui soufflent du nord-est et du sud-est. Les alizés des 2 hémisphères se rencontrent dans la zone de convergence intertropicale (ZCIT), zone d'ascendance de l'air donnant naissance à de nombreuses précipitations. La ZCIT se déplace durant l'année allant vers les zones de basses pressions qui reçoivent plus de rayonnement solaire. Ainsi durant l'hiver austral, le mouvement de la ZCIT va vers le nord. Il pleut au nord de l'équateur et on est en saison sèche en Bolivie. Pendant l'été austral, le mouvement de la ZCIT se fait vers le sud et il pleut en Bolivie. Cette circulation atmosphérique explique en partie le graphique précédent ; la partie nord plus affectée par la ZCIT reçoit d'avantage de précipitations. (Figure 28)

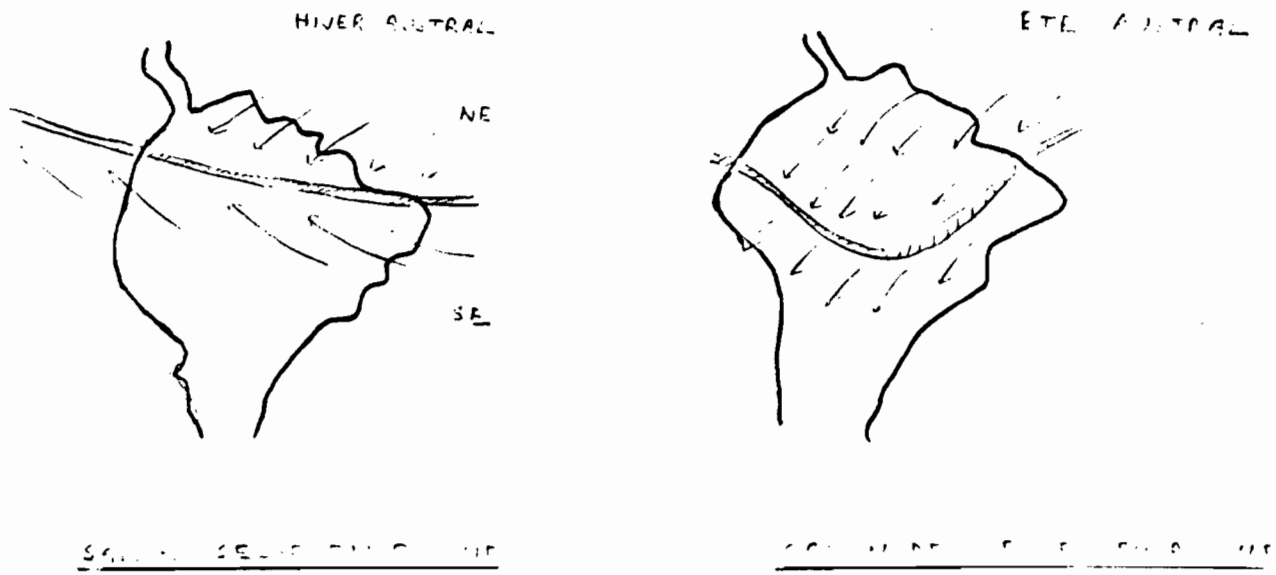


FIGURE N° 28 : LES MOUVEMENTS DE LA Z.C.I.T AU COURS DE L'ANNEE EN AMERIQUE DU SUD.

# M1 RIESGOS DE SEQUIA EN EL ALTIPLANO

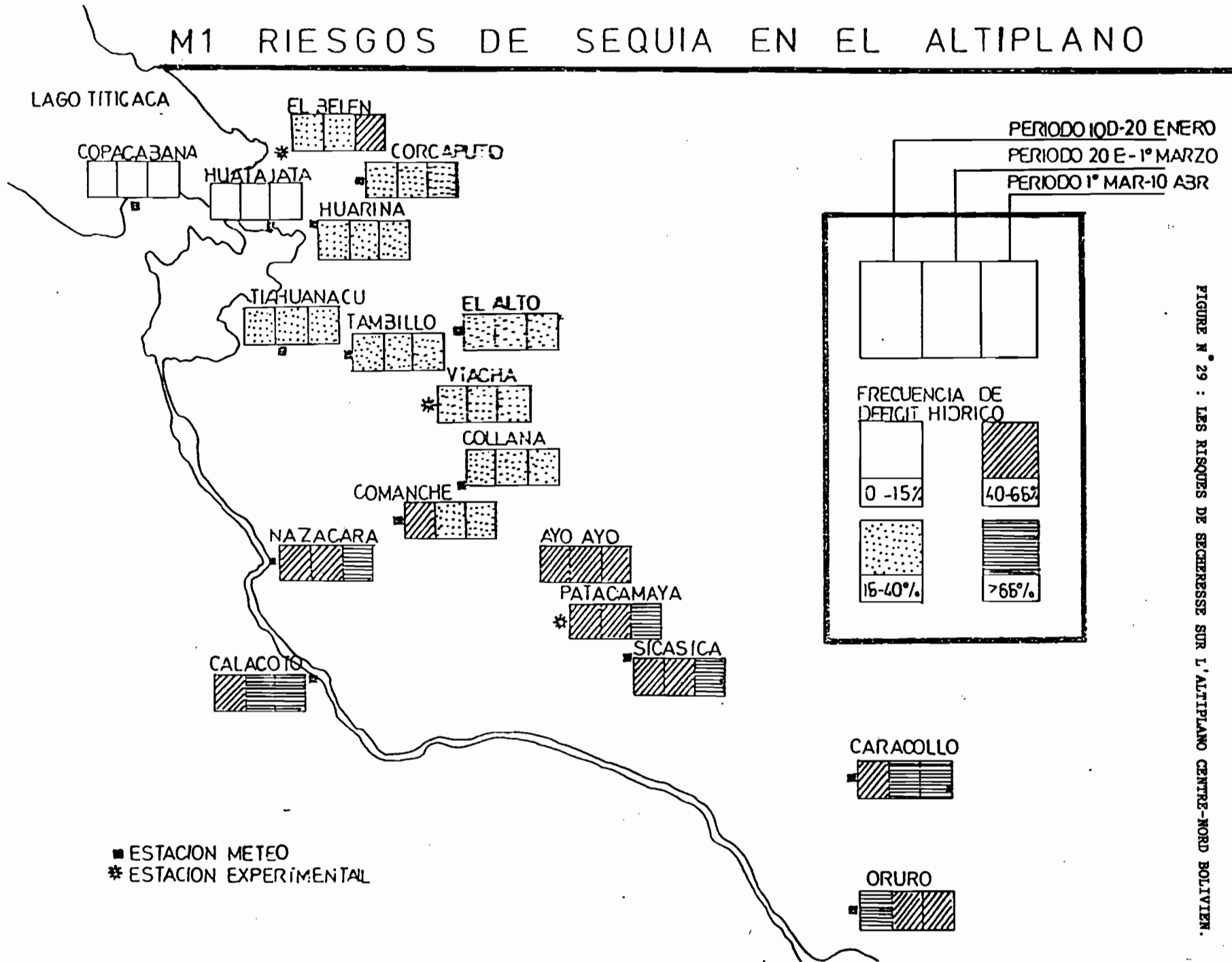


FIGURE N° 29 : LES RISQUES DE SECHERESSE SUR L'ALTIPLANO CENTRE-NORD BOLIVIEN.

Il est intéressant de mettre en relation les risques de sécheresse et de gelée :

#### D - LES RISQUES DE SECHERESSE ET DE GELEE

##### D.1 - Données

On a utilisé les 7 variables suivantes : PL50, PLPA, DIFF, P120, C2X1, X2X5, Q150 et réalisé une ACP.

##### D.2 - Classification des stations en groupes homogènes

On obtient tout d'abord la matrice suivante des coefficients de corrélation. (Tableau n° 13)

(TOUS LES COEFFICIENTS SONT MULTIPLIES PAR 1000)

0	PL50	PLPA	DIFF	P120	C2X1	X2X5	Q150
PL50	1000						
PLPA	910	1000					
DIFF	603	672	1000				
P120	767	926	584	1000			
C2X1	-390	-589	-205	-550	1000		
X2X5	-413	-447	-552	-211	99	1000	
Q150	776	893	479	944	-634	-82	1000

TABLEAU N° 12 BIS: MATRICE DES CORRELATIONS ENTRE LES VARIABLES PL50 , PLPA , DIFF , P120 , C2X1 , X2X5 ET Q150.

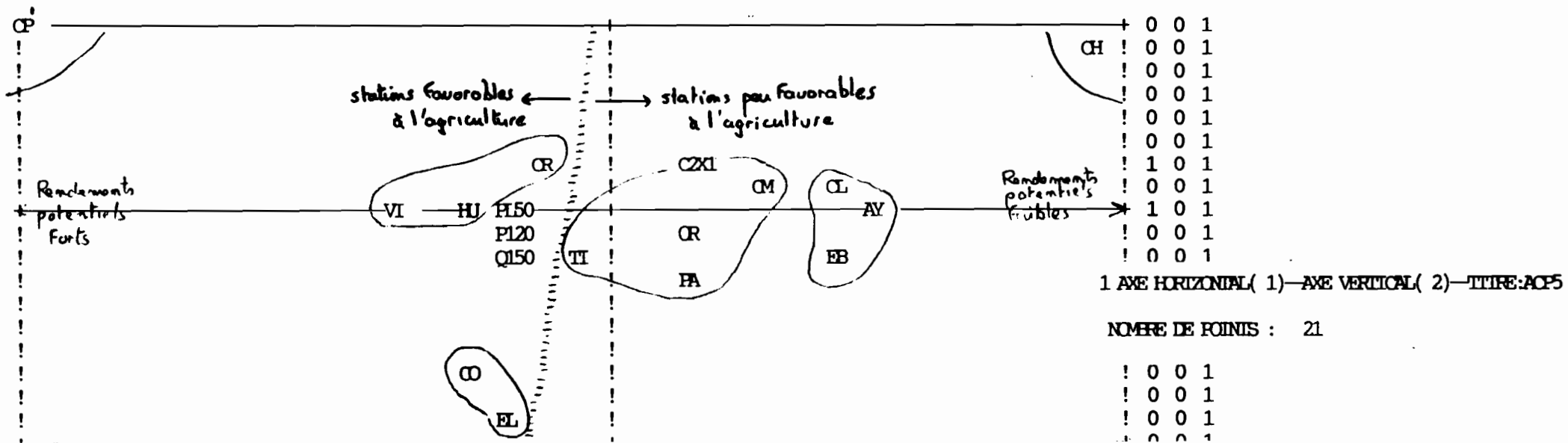
Les variables relatives aux pluies et celles relatives aux gelées sont assez peu corrélées entre elles. Ceci ne paraît pas surprenant vu que les pluies et les gelées concernent deux saisons différentes.

L'ACP (Figure n° 30) et la classification hiérarchique (Figure n° 31) ont permis de distinguer 2 groupes bien distincts quand à leur potentialités agricoles. En effet, le premier facteur est corrélé à 97 % avec PLPA. Or cette variable peut constituer un indicateur du rendement car elle représente la quantité d'eau efficiente pour la croissance de la pomme de terre (PLPA étant la quantité moyenne d'eau tombée pendant la période laissée libre de gel pour la pomme de terre) 1 année sur 2. On pourra donc considérer que plus cette valeur sera forte plus les rendements auront une chance d'être élevés. D'autre part, PL50, P120 et Q150 sont également très bien corrélés au premier facteur.

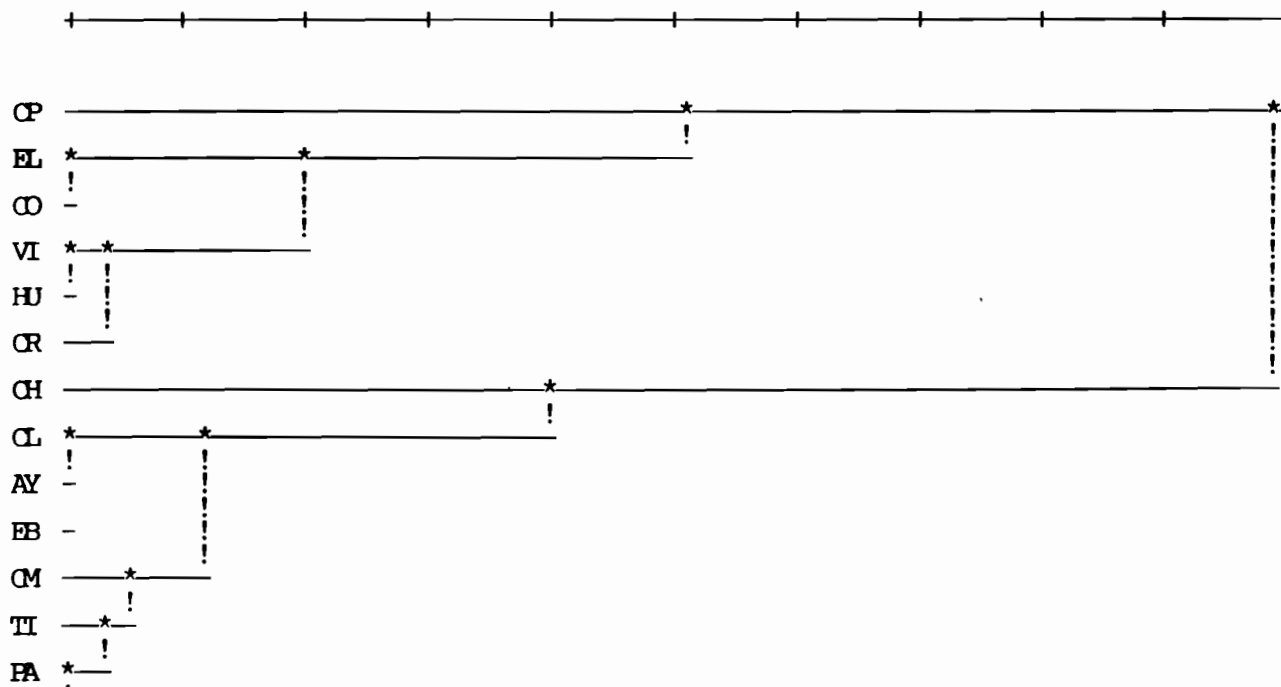
Les stations se trouvent donc placées sur un axe les classant selon leur potentialité.

Le deuxième facteur est constitué essentiellement par X2X5.

FIGURES N° 30 ET 31 : REPRESENTATIONS GRAPHIQUES DE L'A.C.P ET DE LA CLASSIFICATION  
 HIERARCHIQUE REALISEES AVEC LES VARIABLES PL50 , PLPA , DIFF , P120 , C2X1 , X2X5 ET Q150.



1 REPRESENTATION DE LA CLASSIFICATION HIERARCHIQUE



Les 2 groupes principaux distingués sont les suivants :

1- CR, CO, CP, EL, HU, VI. Ces stations pourront permettre une production agricole correcte. Il pleut, en moyenne 651 mm par an et la pomme de terre peut bénéficier une année sur deux de 605 mm pour sa croissance. Il ne gèle en moyenne qu'une année sur 6 au mois de janvier. Collana et El Alto peuvent être isolées au sein de ce groupe, les gelées tombant moins rapidement.

2 - OR, AY, EB, TI, CM, CH, PA. Ces stations sont situées plus au sud que les précédentes. L'agriculture y est très risquée. La probabilité d'avoir un cycle normal est de 0,23 pour la pomme de terre et de 0.37 pour la quinoa. Il gèle en moyenne 1,8 jour/an au mois de janvier. Une année sur deux, la pomme de terre bénéficie de moins de 300 mm. Les stations de CL, AY et EB se distinguent par des potentialités encore moins grandes.

E - CONCLUSIONS ET LIMITES D'UNE TELLE ETUDE

L'étude précédente a abouti à la réalisation d' un zonage agroclimatique de l'Altiplano qui permet de préciser les différences existantes entre stations, notamment en ce qui concerne les risques de gelée.

On a vu, par exemple, qu'à l'intérieur du groupe II pour les gelées (Tihuanacu, Oruro, Caracollo, Patacamaya, Viacha, Huarina) la valeur de P50% varie de 109 jours à 164 jours. D'une station à l'autre, la période laissée libre de gel pour la pomme de terre une année sur deux, diffère, en moyenne pour ce groupe, d'une vingtaine de jours environ.

Toute l'étude précédente est basée sur des données agroclimatologiques relevées pour chaque station en un point précis. Les résultats obtenus pour chaque station ne rendent donc compte de la réalité qu'au voisinage de la station (mésoclimat).

Si ces résultats permettent de réaliser un zonage régional de l'Altiplano, ils sont par contre insuffisants pour rendre compte de la réalité d'une petite zone - une communauté par exemple. Il existe en effet de nombreux facteurs : relief, sol, situations topographiques qui peuvent faire varier très largement les précipitations et les risques de gelées.

Nous donnerons à titre d'illustration les pluviosités et les rendements en pomme de terre qui ont été relevés en 85/86 dans les 3 stations expérimentales de l'ORSTOM : Viacha, El Belen et Patacamaya.

Viacha	630	35
El Belen	416	42
Patacamaya	406	28

Pluie annuelle totale            Rdt T/ha  
en mm pour 85/86.

Il est étrange de constater que le rendement de El Belen est supérieur à celui de Viacha, alors qu'il y pleut moins. L'explication réside dans la qualité des sols de El Belen, qui présentent des remontées capillaires très importantes.

On a ici l'illustration de l'effet d'un des facteurs cités précédemment : le sol.

Les effets du sol, du relief... peuvent donc localement être importants. Il nous a paru intéressant de les étudier au niveau de la communauté et de l'exploitation agricole, afin de connaître leur importance et la façon dont les paysans les prennent en compte.

**PARTIE II**

**LES VARIATIONS MICRO-CLIMATIQUES**

**A L'ECHELLE D'UN**

**TERRITOIRE VILLAGEOIS**

Cette seconde partie est consacrée aux variations micro-climatiques. Nous avons mené l'étude dans la communauté d'Antarani, située dans la province Pacajes.

Ce second chapitre a pour but de chiffrer l'importance de ces variations micro-climatiques, afin de les comparer aux variations qui existent entre les différentes stations de l'Altiplano. On a également tenté d'expliquer l'origine de ces micro-variations et de montrer l'importance de différents facteurs tel que le sol ou la pente.

Cette étude n'a été menée que dans une communauté et n'a donc pas la prétention d'être représentative. Ce travail ne doit être considéré que comme une étude de cas permettant de mieux cerner les conséquences de ces variations micro-climatiques.

Les mesures n'ont été réalisées que sur une année. Il faudrait pour affiner les conclusions, multiplier les mesures. Comme nous l'avons vu dans la première partie, les années ne se ressemblent pas et il est difficile d'extrapoler des résultats obtenus sur une année seulement, d'autant que les phénomènes observés paraissent assez complexes.

## I - DONNEES GENERALES

### A - LA COMMUNAUTE D'ANTARANI

#### A.1 - Situation géographique. Positionnement par rapport aux autres stations

Antarani est située dans la province Pacajes au Sud-Ouest de LA PAZ, entre VIACHA et COMANCHE.

Dans le cadre des zonages présentés dans la première partie de ce mémoire, Antarani se situe dans la zone la plus pluvieuse de l'Altiplano. Il est hasardeux de placer Antarani dans un groupe pour ce qui est des gelées. Antarani se situe en effet entre Comanche et Viacha. Ces 2 stations appartiennent aux groupes II et IV très distants l'une de l'autre. On pourra cependant admettre qu'Antarani est une communauté moyennement gélive, de caractéristiques intermédiaires entre celles des groupes II et IV.

Antarani se situe entre 4.000 et 4.300 mètres d'altitude. Un plan sommaire de la communauté se trouve en annexe. (Annexe n° 1).

#### A.2 - Présentation générale

Antarani est une ancienne hacienda et, en 1952, lors de la réforme agraire, les paysans ont reçu une bande de terre de cette propriété.

L'habitat est dispersé et il faut deux heures de marche pour aller d'un bout à l'autre de la communauté.

Antarani compte 40 familles, 9 ont abandonné leur terre, 31 sont restées à Antarani. La population vieillit et il y a de moins en moins d'enfants. Ceux-ci vont à l'école primaire située à Antarani puis au Collège de Cantuyu situé à 2 h. ou 4 h. de marche d'Antarani. Cantuyu est le chef lieu de 4 communautés. Les problèmes de scolarité et de voirie sont étudiés à ce niveau.

La terre est rare et les fils et filles des paysans de la communauté émigrent souvent à El Alto (ville périphérique de La Paz). Il existe donc des relations importantes entre Antarani et la ville qui favorisent les échanges ville - campagne.

Antarani est située à 2 h. de camion de La Paz. Il y a 2 bus par semaine, et peu de camions qui font le trajet.

Il existe un syndicat de la communauté avec 12 secrétaires qui se réunit régulièrement pour discuter des problèmes de la communauté.

On notera que la pratique de l'aynoca\* a disparu totalement il y a 15 ans.

Cette communauté a été partie prenante d'un projet de serres communales de SEMTA (Servicios Múltiples de Tecnologías Apropriadas) qui fut un échec, principalement à cause de l'éloignement des habitations de la serre.

L'essentiel des relations commerciales se fait dans les Ferias\* et notamment durant celle de Jiwacuta tous les jeudis. Ce centre est situé à 5 h. de marche. Les paysans aymaras peuvent y vendre leur bétail (surtout les bovins) et d'autres productions comme la laine de mouton ou de lama, ainsi que le chuño\* et la tunta\*. Ils y achètent fruits, légumes, semences, outils.

La population est de confession évangélique et elle a décidé de construire une église l'année prochaine.

### A.3 - L'ORSTOM et Antarani

L'ORSTOM travaille depuis 3 ans à Antarani. L'intégration avec les paysans est assez bonne d'autant plus que l'ORSTOM a facilité la construction de serres familiales.

Le financement a été obtenu auprès de l'Ambassade de France. La partie technique a été confiée à Suma Mang'anani\*, ONG franco-bolivienne ; l'ORSTOM assurant la coordination et la gestion du projet. Une quinzaine de serres devront être construites au total. Quatre le sont déjà.

L'Ambassade apporte 90 % du financement de la serre (300 bolivianos = 750 FF), les paysans apportant les 10 % manquants. Des cours techniques ont été organisés.

L'ORSTOM (E. Brasier de Thuy) a travaillé surtout avec 4 paysans. Pour cette étude, nous avons continué à travailler avec 3 d'entre eux : Celestino Huanca, Antonio Malea et Miguel Poma.

Il paraît intéressant de présenter ces 3 agriculteurs et leur famille.

## B - LES PAYSANS

### B.1 - Celestino HUANCA :

Celestino est un cas un peu particulier à Antarani. Il n'est pas natif de la communauté et s'y est installé après la réforme agraire de 1952, sur une propriété de son père.

Il est technicien agricole et a longtemps travaillé pour différents organismes comme CORDEPAZ (Coordinación del Desarrollo de La Paz) et plus récemment avec Fundación Contra el Hambre\*, de 86 à 88. Il a donc un niveau d'instruction supérieur à celui des autres habitants ; savoir qu'il met à leur service en s'occupant du projet de serres familiales et en exerçant une activité de vétérinaire dans la communauté. Pour un prix très modique, il soigne le bétail des habitants de la communauté. Il a un peu un statut de notable.

Celestino voyage souvent à La Paz, suit les innovations techniques et y est très réceptif. Il a pour projet d'installer un élevage de truites, d'acheter des vaches laitières et de s'installer un éclairage solaire. Seul, il s'est construit une serre, il y a deux ans.

Celestino a 54 ans et 13 enfants de 1 an à 23 ans. Il souhaite qu'ils suivent un enseignement supérieur. Les 4 plus âgés ont déjà accès à cette formation à La Paz. Celestino y possède une maison où logent ses fils aînés. 6 enfants sont à Antarani.

Celestino possède 16 hectares. Il a commencé avec 2 taureaux, 1 vache et 30 moutons de son père. Il a aujourd'hui 3 vaches, 4 taureaux, 60 moutons, 3 lamas, quelques cochons, poules et cochons d'inde.

### B.2 - Antonio MALEA :

Antonio est beaucoup plus jeune que Celestino. Il a 27 ans. Sa femme Deonitia en a 22. Il s'est marié à 17 ans, alors que sa femme en avait 12. Il a 4 enfants de 1 à 9 ans et en a perdu 1.

Il exploite les terres de son père. Il lui donne donc la moitié de la récolte (1 sillon sur 2). Par contre, la gestion du bétail est séparée.

L'exploitation d'Antonio est loin du centre de la communauté et se situe dans les collines à 4.145 mètres. Antonio a déménagé cette année pour s'installer le plus bas possible, en partie pour que ses filles aient moins de trajet à faire pour aller à l'école (2 h. de marche aller).

Antonio a quelques problèmes financiers. Avant l'arrivée de l'ORSTOM, il allait 2 mois/an dans les vallées tropicales du Sud Béni pour récolter le café et les fruits pour 4 BS/jour. Il a tenté, il y a plusieurs années, de s'installer comme boucher à La Paz. Mais il n'a pas surmonter ses dettes et est revenu s'installer à Antarani chez son père.

Antonio recherche toute forme d'aide comme Compassion Internationale, association philanthropique évangélique qui fournit une aide matérielle. Appartenir à cette association réclame un certain mode de vie : pas d'alcool, vie religieuse importante. Antonio joue de la mandoline dans le groupe musical de la paroisse. La femme d'Antonio est membre du Club des mères (Club de las madres) qui fournit de l'alimentation pour les jeunes enfants.

Le père d'Antonio cultive 25 hectares. Antonio possède 1 vache, 2 taureaux, une dizaine de moutons, 3 lamas, des cochons et quelques poules. Il espère augmenter son nombre d'animaux. Il a déjà construit sa serre avec l'aide du projet ORSTOM - Ambassade de France.

### B.3 - Miguel POMA :

Miguel a 47 ans et 4 enfants de 5 à 15 ans. Il vit sur les terres de sa femme avec sa soeur célibataire. Sa femme est d'Antarani. Ses beaux-parents habitent à côté de chez lui. Il y a souvent des échanges de terre et de main d'oeuvre entre les 2 exploitations.

Miguel a une double activité. Il est "bistrotier" à Cantuyu le dimanche. Il achète des boissons à Viacha qu'il revent dans sa maison de Cantuyu ce qui lui fournit un petit revenu.

La mère de Miguel possède 19 hectares. Le principal problème de ces terres est l'absence totale d'eau. Miguel possède 3 vaches, 3 veaux, 2 taureaux, 25 moutons et 3 lamas. Il espère reconstituer en 3 années son toupeau décimé par la fasciole hépatique en 1986.

## C - METHODOLOGIE

### C.1 - Entretiens

Ceux-ci se sont en général bien passés. Le seul problème résulte de l'imprécision de réponses parfois contradictoires. Il a fallu souvent reposer les questions sous différentes formes.

Toutes les réponses ont fait autant que possible l'objet de vérifications. On notera qu'une grande partie de l'information a été recueillie lors de discussions sans but précis avec les paysans.

## C.2 - Mesures de températures

### C.21 - Mesures journalières (réalisées par les paysans)

Les mesures ont été réalisées durant 1 an et demi chez Celestino et Antonio.

L'opération était la suivante :

Un thermomètre mini était placé le soir à 10 mètres de la maison. Un second thermomètre était placé tous les soirs, sur une parcelle cultivée. Différentes parcelles ont ainsi été suivies, le second thermomètre revenant régulièrement sur chacune d'elles.

Sur chaque parcelle, le thermomètre était toujours placé au même endroit, les 2 indices actinothermiques étaient relevés le matin et les résultats inscrits dans un cahier.

Si les mesures relatives au thermomètre installé à proximité de la maison se sont révélées très bonnes, celles relatives au 2ème thermomètre sont peu utilisables chez Celestino par manque de régularité et parce que le nombre de parcelles suivies a été trop faible. L'expérience a, par contre, très bien fonctionné avec Antonio.

### C.22 - Mesure d'un bloc

Les mesures ont été réalisées de mai à août 89. Une vingtaine de thermomètres étaient posés le soir même sur 20 parcelles différentes et relevés le matin. Ce type de mesure nécessite beaucoup de temps.

## C.3 - Mesures des précipitations (réalisées par Celestino)

Un pluviomètre a été installé à proximité de la maison. On a pu ainsi relever les précipitations journalières de la saison 88/89.

## C.4 - Mesures sur parcelle

Chaque parcelle cultivée ou labourée a été mesurée, sa surface calculée. Pour chaque parcelle, toutes les situations culturales\* ont été distinguées (sol, pente,...) et les surfaces correspondantes calculées.. Les pentes et l'altitude de chaque parcelle ont été mesurées.

Pour chaque parcelle d'orge, le rendement a été calculé comme indicateur d'hétérogénéité des sols. Il a été calculé de la façon suivante. Sur 3 mètres d'une rangée, on a compté le nombre de tiges. Ce calcul a été réalisé au moins 2 fois pour chaque situation culturale.

-----  
 Dans la suite du rapport, nous assimilerons souvent les termes "parcelle" et "situation culturale".

Ce nombre de tiges a permis de calculer la densité à l'hectare. Des échantillons ont ensuite été prélevés pour déterminer le poids moyen de chaque tige. Ce qui a donné accès au rendement. Le tallage de chaque situation culturale a également été calculé.

### C.5 - Elaboration d'un parcellaire

Pour Miguel, Celestino et Antonio, nous avons réalisé un parcellaire permettant de visualiser toutes les parcelles et de connaître exactement les ressources de chaque exploitation. L'élaboration de ce parcellaire a parfois posé certains problèmes au départ, car les paysans n'aimaient pas trop que leurs terres soient mesurées.

Dans cette deuxième partie, nous nous intéresserons exclusivement aux données relatives aux températures minimales, en étudiant principalement la diversité des situations micro-climatiques.

## II - LES VARIATIONS DE TEMPERATURE AU NIVEAU DE LA COMMUNAUTE

Pour cette étude, on utilisera les relevés journaliers effectués au niveau des maisons de Celestino et Antonio. Pour la saison 88/89, on a obtenu les résultats suivants. (Figures n° 32, 33, 34).

Il apparaît que généralement la maison de Celestino est plus froide que celle d'Antonio. La maison de Celestino est située à 3.995 m. alors que celle d'Antonio est située à 4.145 m. C'est donc la maison la plus haute qui est la plus chaude, contrairement à ce qu'on aurait pu penser.

La situation topographique des 2 maisons peut expliquer cette différence. En effet, la maison de Celestino est située en plaine alors que celle d'Antonio est située dans les collines sur une pente de 6, 7 %. Or durant la nuit, l'air froid, plus lourd, a tendance à descendre et à s'accumuler dans les fonds. Il est alors logique qu'il fasse plus froid au niveau de la maison de Celestino.

Si l'on fait la moyenne des différences journalières calculées entre les maisons de Celestino et d'Antonio sur 1 année, il apparaît que celle d'Antonio est plus chaude de 1,6° C. Cette différence n'est cependant pas constante. Durant la saison sèche, on peut avoir des différences de 9,5° C et durant la saison des pluies des différences nulles ou négatives.

Si, comme dans la première partie, on calcule les périodes libre de gel au niveau de ces 2 maisons, il apparaît que pour l'année 88/89 :

- la période libre de gel pour la pomme de terre a été de 30 jours chez Celestino, et de 59 jours chez Antonio, soit une différence de 29 jours.

- Pour la quinoa, on a deux périodes dont la durée est égale à 115 jours chez Celestino, et à 149 jours chez Antonio.

FIGURE N° 32 : INDICES ACTINOTHERMIQUES MINIMAUX RELEVES AU NIVEAU DES MAISONS DE CELESTINO ET ANTONIO POUR LA PERIODE ALLANT DU 19/5/88 AU 23/9/88.

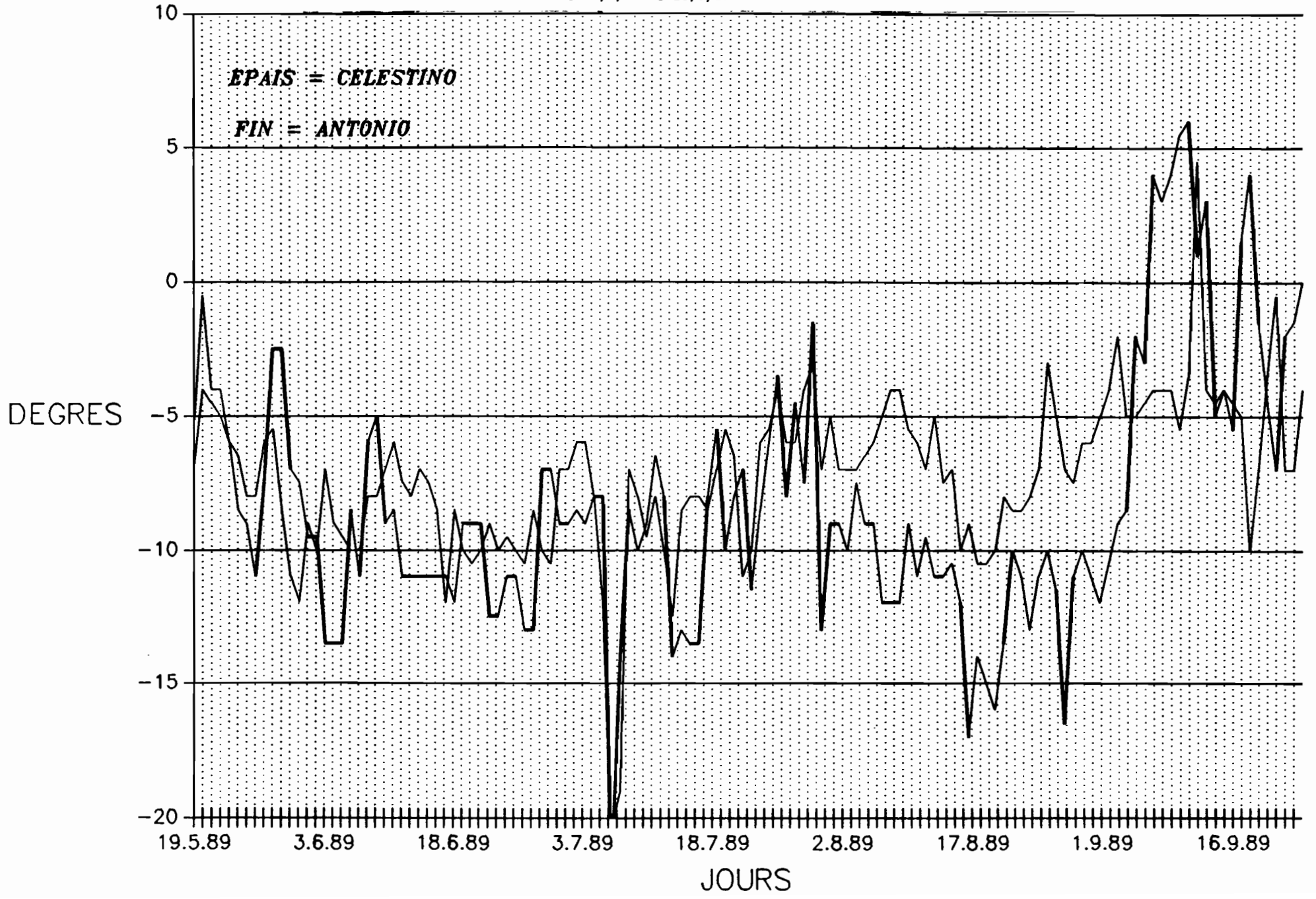


FIGURE N° 33 : INDICES ACTINOTHERMIQUES MINIMAUX RELEVES AU NIVEAU DES MAISONS DE CELESTINO ET ANTONIO POUR LA PERIODE ALLANT DU 24/9/88 AU 29/1/89.

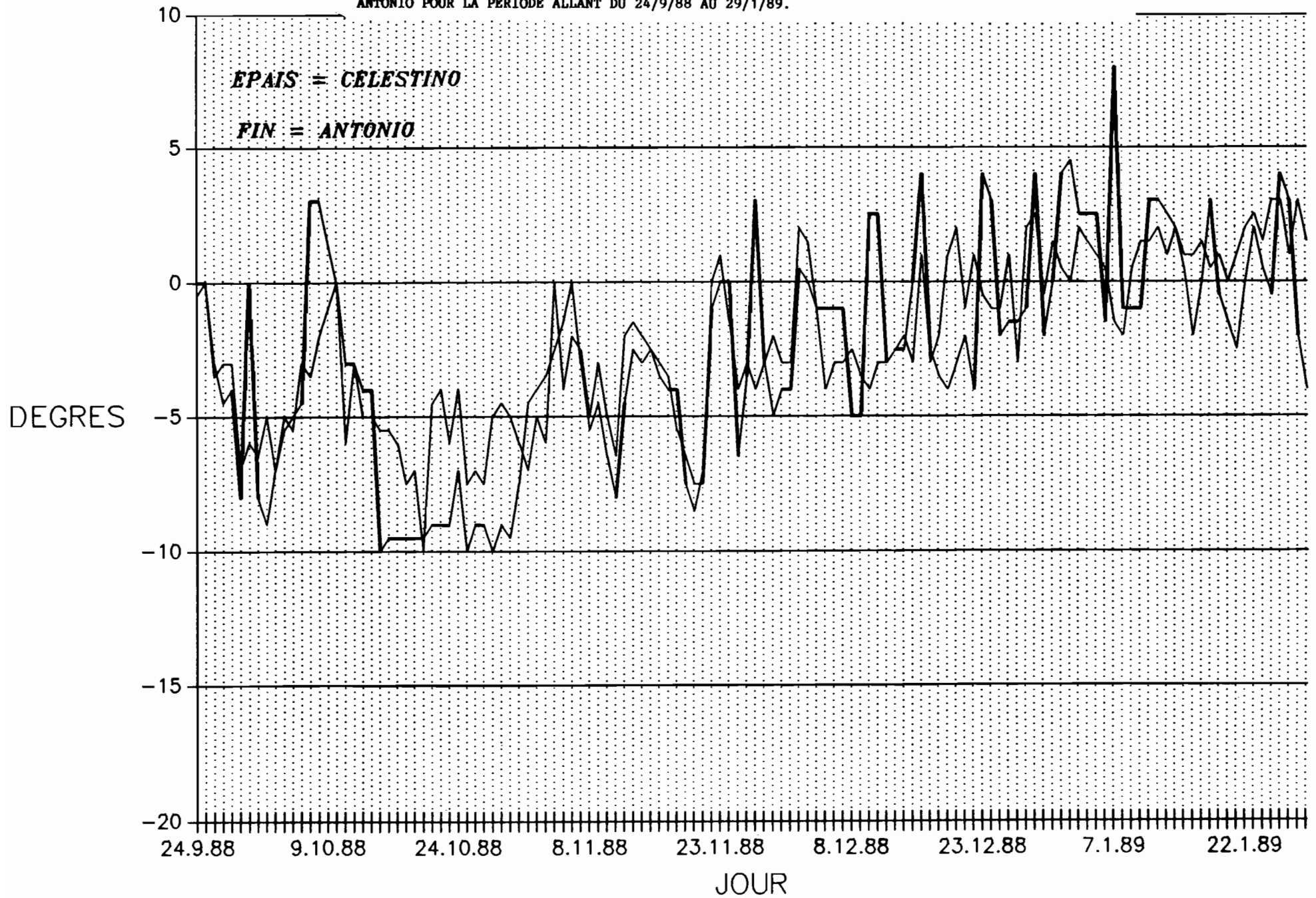
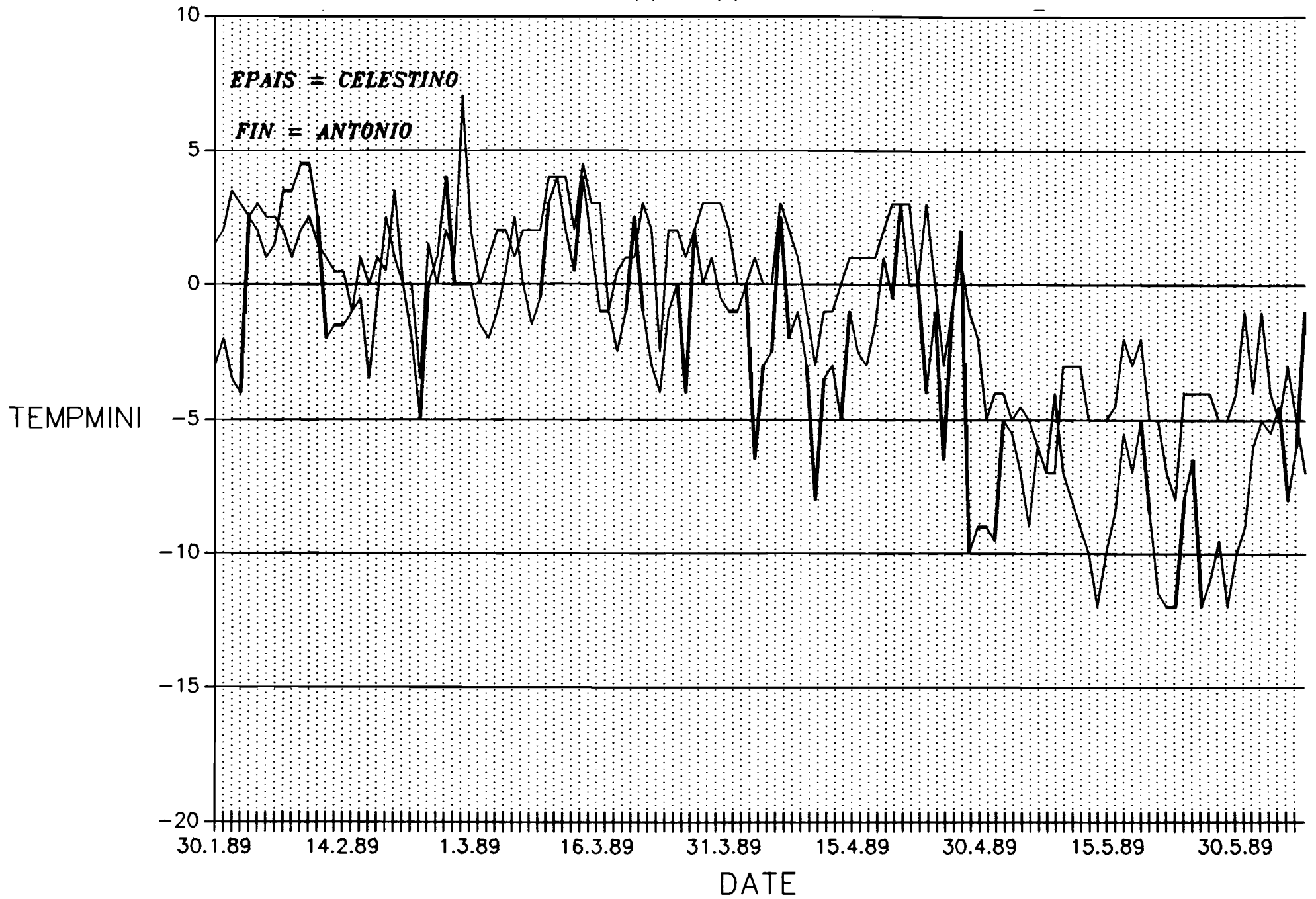


FIGURE N° 34 : INDICES ACTINOTHERMIQUES MINIMAUX RELEVÉS AU NIVEAU DES MAISONS DE CELESTINO ET ANTONIO POUR LA PERIODE ALLANT DU 30/1/89 AU 5/6/89.



Une différence moyenne de  $1,6^{\circ}$  C est donc importante dans la mesure où elle permet de rallonger notablement la période de culture. Il apparaît donc qu'une connaissance assez précise des températures de chaque parcelle est nécessaire et qu'1 relevé en 1 seul endroit est insuffisant pour caractériser le régime thermique d'une communauté dans son ensemble.

L'observation attentive des 2 courbes de températures précédentes montre qu'assez souvent la température de la maison d'Antonio devient inférieure à celle de la maison de Celestino. On peut visualiser ce phénomène sur les figures 35 et 36. Chaque fois que la température de la maison de Celestino devient supérieure à celle d'Antonio, l'aire entre les 2 courbes est mise en noir.

Il apparaît que ce phénomène est très momentané. D'une nuit à l'autre, il peut y avoir des inversions de 6 ou  $7^{\circ}$  C : la maison de Celestino, plus froide de  $3^{\circ}$  C, devient plus chaude la nuit suivante. Ce phénomène est trop répétitif pour qu'il s'agisse d'erreurs de mesures.

L'explication de cette inversion est difficile : On a examiné les données trihoraires de la station automatique de Viacha et graphiquement on a étudié : les inversions de températures et les variations de rayonnement nocturne, global, d'humidité globale, d'humidité nocturne, de vent global, nocturne, diurne.

Seul le vent nocturne paraît faiblement lié à ce phénomène d'inversion comme le montre la figure n° 37. On ne peut aller plus loin dans l'interprétation, Viacha étant située à une cinquantaine de kms d'Antarani. Certaines inversions semblent malgré tout simultanées à de brusques vents nocturnes. On peut penser que si le vent est fort, il y a d'importants mouvements turbulents de masse d'air ; l'air froid ne s'accumule pas dans les bas-fonds. Les endroits les plus hauts deviennent alors les plus froids.

A l'échelle de la communauté, il y a donc des variations micro-climatiques importantes qui ne placent pas les exploitations au même niveau du point de vue des risques de gelées. La suite de l'étude a consisté à analyser les variations micro-climatiques de façon précise au niveau de l'exploitation agricole.

### III - LES VARIATIONS DE TEMPERATURE AU NIVEAU DE L'EXPLOITATION AGRICOLE

Les exploitations de Celestino, Antonio et Miguel ont été étudiées. On a essayé de suivre un grand nombre de parcelles afin de connaître les influences du type de sol, de la pente, de la situation topographique sur la gélivité des parcelles. Pour caractériser chaque type de sol, on a utilisé la nomenclature Aymara.

FIGURES N° 35 ET 36 : VISUALISATION DES INVERSIONS DE TEMPERATURES ENTRE LES MAISONS DE CELESTINO ET D'ANTONIO.

VISUALISATION DES INVERSIONS DE TEMPERATURES

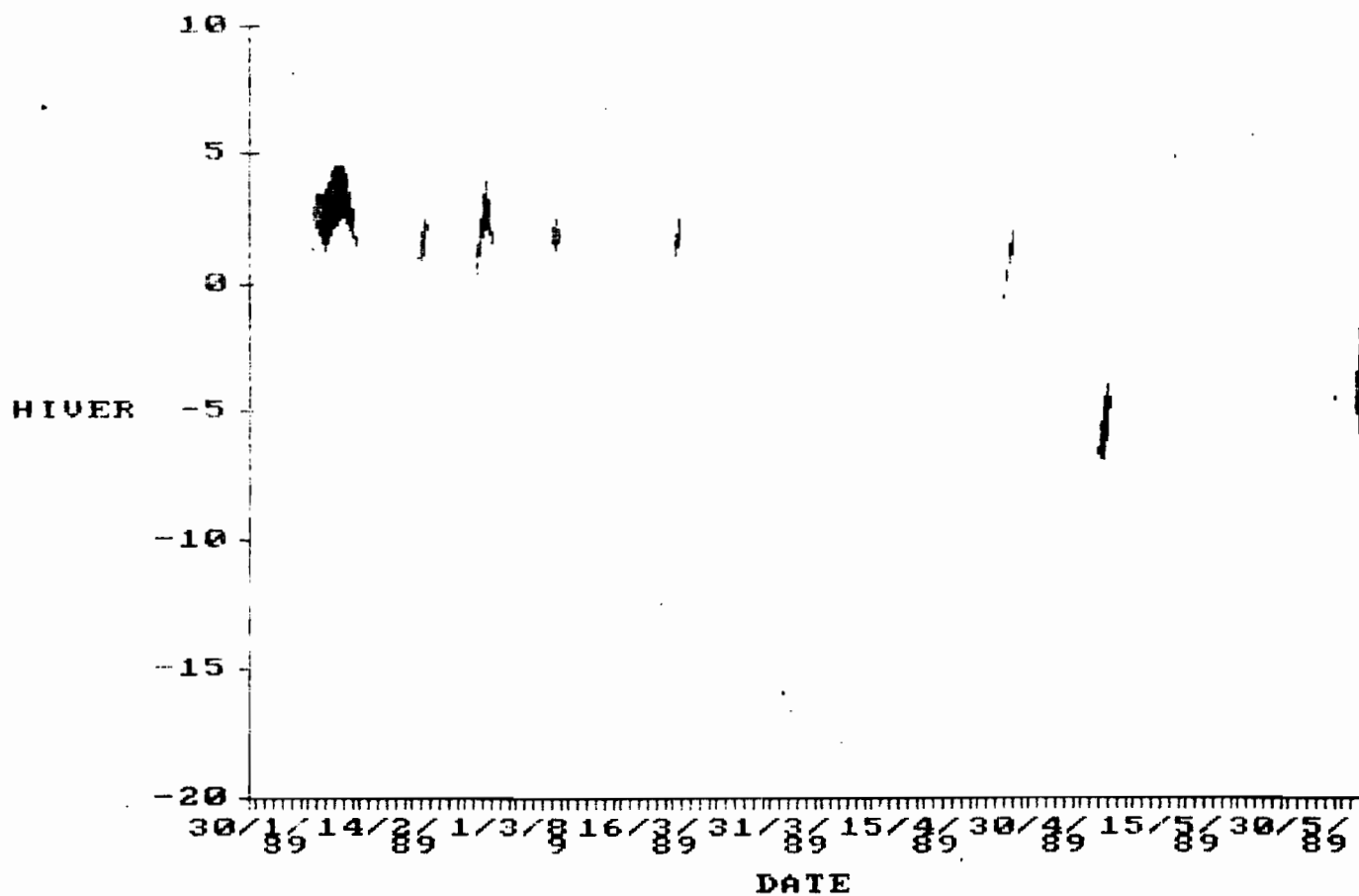
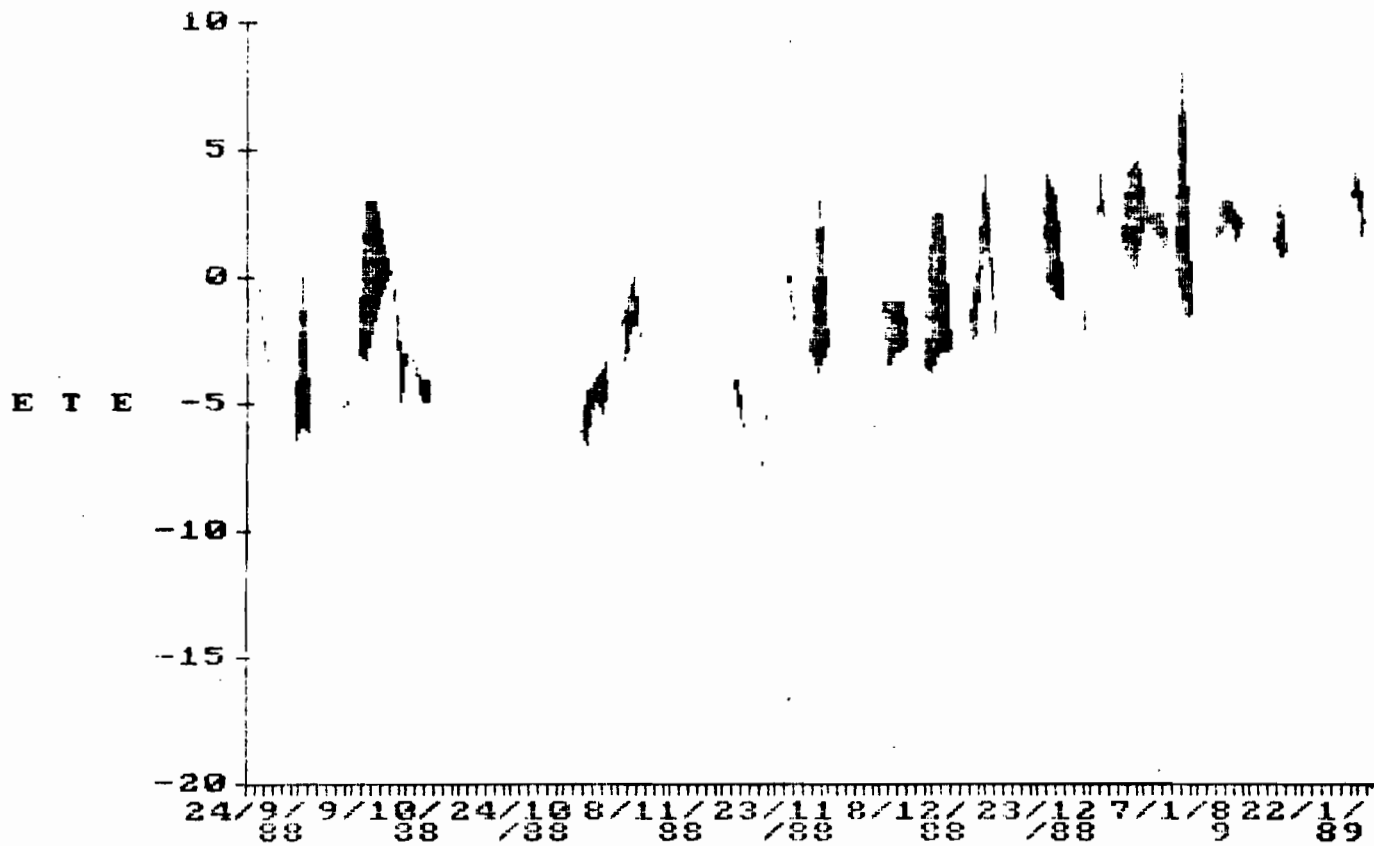
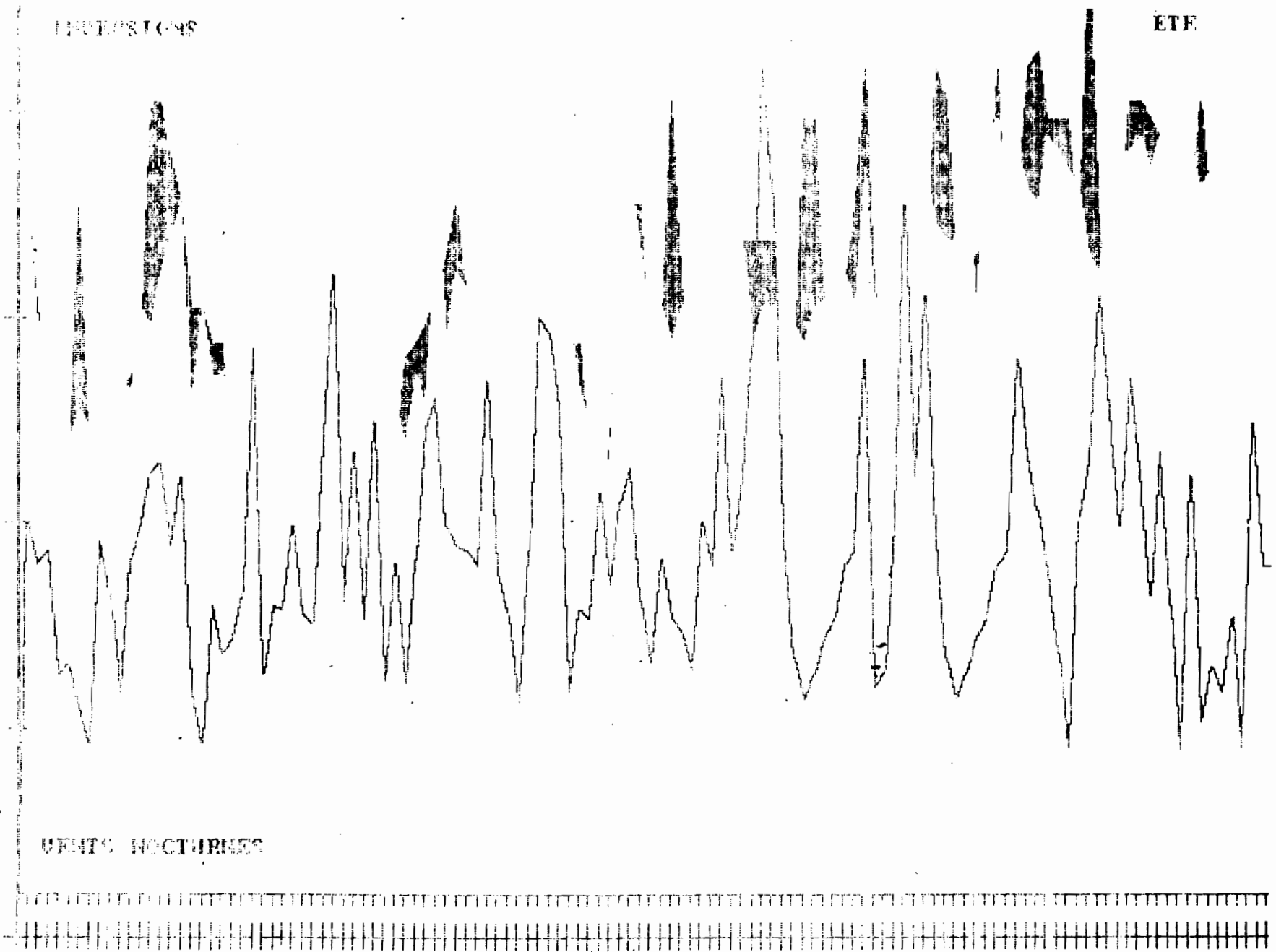


FIGURE N° 37 : CORRESPONDANCE ENTRE LES VARIATIONS DU VENT NOCTURNE ET LES INVERSIONS DE TEMPERATURE.



## A - La nomenclature Aymara des sols

On se basera sur les travaux réalisés par E. Brasier de Thuy et SEMTA en 1987 à Antarani et dans 2 autres communautés.

La classification aymara est relative à une zone ou même à un agriculteur. Elle se fait de manière comparative. La classification n'est donc pas absolue, mais paraît déterminée par la perception qu'ont les agriculteurs de leurs sols. Il faut donc rester très prudent dans des extrapolations de résultats d'un agriculteur à un autre.

Texture et dénomination paysanne : Tous les sols ont des pourcentages de sable, d'argile et de limons situés dans les fourchettes suivantes :

Sable	40 - 80 %
Argile	10 - 25 %
Limons	20 - 40 %

Les paysans se réfèrent à la texture de la couche superficielle pour nommer les sols. Le facteur qui paraît le plus discriminant est le pourcentage de sable. On distingue 2 catégories de sols.

Les sols ayant de 60 à 80 % de sable

sols CH'ALLA	(CH dans les fichiers)
J'ARWE	(JW dans les fichiers)
KALANE	(KL dans les fichiers)

Les sols ayant de 40 à 50 % de sable

sols NIEK'E	(NE dans les fichiers)
J'APO	(JA dans les fichiers)
K'ARPA	(KA dans les fichiers)

Ensuite, pour différencier les sols dans chaque catégorie, il faut utiliser d'autres critères :

Dans la première catégorie, on peut distinguer :

- Sols J'ARWE "Sols avec beaucoup de pierres à la surface"
- Sols KALANE "Sols avec beaucoup de pierres plus grosses que celle des sols J'ARWE à la surface"
- Sols CH'ALLA "Sols qui laissent bien pousser les tubercules et qui maintiennent bien l'humidité"

dans la seconde :

- Sols NIEKE "Sols contenant beaucoup d'argile, jusqu'à 20-25 %"
- Sols K'ARPA "Sols contenant beaucoup de limons, jusqu'à 40 %, ce qui leurs donnent une structure beaucoup plus compacte. Ce sol est sensible à l'érosion, sert à la construction des adobes\*"

- Sols J'APO "Sa caractéristique principale n'est pas liée à la texture mais à la présence de matière organique qui lui donne une couleur noirâtre".

Certains sols reçoivent l'appellation "ladera", cela signifie qu'ils sont situés sur une pente.

Dans les fichiers, la lettre M placé en premier signifie "medio".  
Ex. MJW = Medio J'arwe

On trouve aussi les désignations suivantes:

ARO : Argiloso (Argileux)  
APE : Argiloso pendiente (Argileux pentu)  
GR : Gredoso (Glaiseux)  
MGR : Medio gredoso (moitié glaiseux)  
JAF : J'apo fino

Pour chaque agriculteur, on exposera les résultats trouvés et on les comparera à la perception que cet agriculteur a de la gélivité de ses parcelles.

## B - Les variations de température dans l'exploitation d'Antonio

### B.1 - Visualisation des parcelles

19 situations culturales ont été distinguées à partir de 320 relevés répartis sur 1 an. Les relevés d'un bloc (cf. II/I/C.22) ont été regroupés avec les relevés journaliers. Pour chaque parcelle, on a donc une quinzaine de mesures ou plus, réparties sur toute l'année. On a calculé la moyenne des différences existantes entre la parcelle mesurée de la maison d'Antonio et comparé ces moyennes.

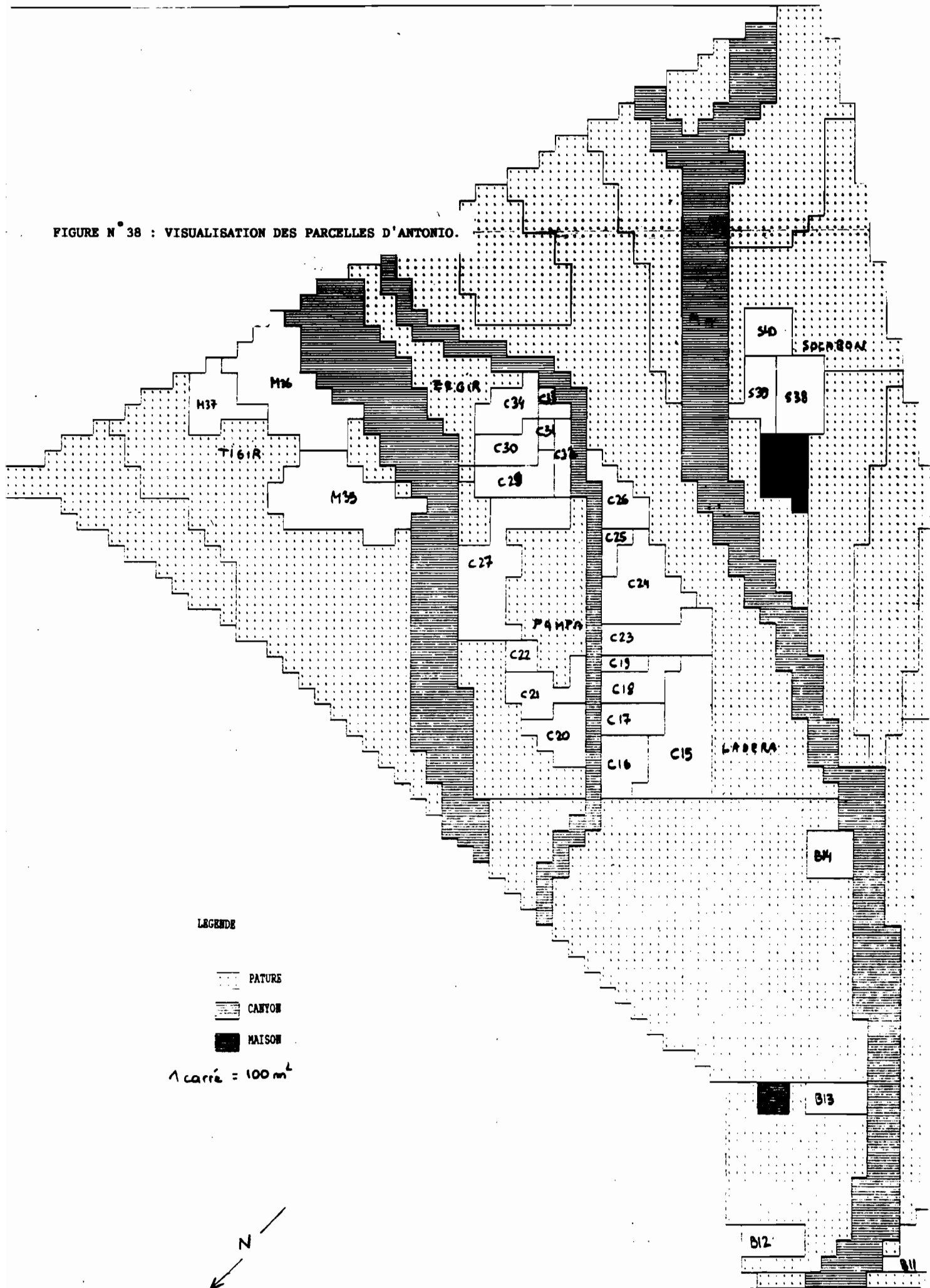
Avant de présenter les résultats, nous allons visualiser chaque parcelle sur le parcellaire (figure n° 38), et donner ses caractéristiques, présentées dans un fichier (tableau n° 13).

On peut remarquer la très grande hétérogénéité des sols. En effet, sur une même parcelle, on peut trouver 3 ou 4 sols qui ont des comportements totalement différents. Ainsi la parcelle "Socabon" (S) qui fait 4.100 m<sup>2</sup> regroupe 4 types de sols : J'apo, J'apo fino, K'arpa, Niek'e.

Certaines situations culturales trop petites n'ont pas été représentées sur la carte. C'est le cas par exemple de la situation culturale S41. Le sol Niek'e ne représente qu'une toute petite tache.

Les résultats sont présentés dans les tableaux n° 14, 15, 16.

FIGURE N° 38 : VISUALISATION DES PARCELLES D'ANTONIO.



LEGENDE

- PATURE
- CANYON
- MAISON

1 carré = 100 m<sup>2</sup>

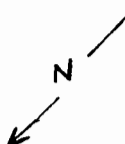


TABLEAU N° 13 : DONNEES RELATIVES AUX PARCELLES DE ANTONIO.

Znr.	Ind	NOMP	PROP	CU88	CU89	CU90	IRRI	SURF	REDT	REDS	PROD	PROS	POPS	TALL	DENS	COUL	EPIA	CSOL	DIFT	PENP	PENA	ALTI
1	--V	EXTE	N	XX	XX	XX	X	9999	9999	9999	9999	9999	99.9	9.90	9999999	XX	99	XX	99	99.0	9.9	4999
2	--V	P1	O	P1	P1	P1	N	6600	9999	9999	9999	9999	99.9	9.90	9999999	XX	99	XX	99	99.0	9.9	4245
3	--V	P2	O	P2	P2	P2	N	26800	9999	9999	9999	9999	99.9	9.90	9999999	XX	99	XX	99	99.0	9.9	4999
4	--V	P3	O	P3	P3	P3	N	51500	9999	9999	9999	9999	99.9	9.90	9999999	XX	99	XX	99	99.0	9.9	4999
5	--V	P4	O	P4	P4	P4	N	5200	9999	9999	9999	9999	99.9	9.90	9999999	XX	99	XX	99	99.0	9.9	4999
6	--V	P0	O	P0	P0	P0	O	8100	9999	9999	9999	9999	99.9	9.90	9999999	XX	99	XX	99	99.0	9.9	4999
7	--V	P10	O	P10	P10	P10	N	19200	9999	9999	9999	9999	99.9	9.90	9999999	XX	99	XX	99	99.0	9.9	4999
8	--V	P100	O	P100	P100	P100	N	29600	9999	9999	9999	9999	99.9	9.90	9999999	XX	99	XX	99	99.0	9.9	4999
9	--V	CANO	O	CANO	CANO	CANO	X	42100	9999	9999	9999	9999	99.9	9.90	9999999	XX	99	XX	99	99.0	9.9	4999
10	--V	MAIS	O	MAIS	MAIS	MAIS	X	1700	9999	9999	9999	9999	99.9	9.90	9999999	XX	99	XX	0	99.0	9.9	4145
11	---	B11	O	P	P	PA	N	735	9999	9999	9999	9999	99.9	9.90	9999999	XX	99	JW	-50	20.0	0.0	4090
12	---	B12	O	C	C	C	N	800	9999	9999	9999	9999	99.9	9.90	9999999	XX	99	JA	-31	6.0	0.0	4080
13	---	B13	O	P	P	P	N	9999	9999	9999	9999	9999	99.9	9.90	9999999	XX	99	JA	99	3.0	0.0	4092
14	---	B14	L	C	C	C	N	690	9999	9999	9999	9999	99.9	9.90	9999999	XX	99	JA	-31	0.0	0.0	4140
15	---	C15	O	T	T	C	N	3015	1003	954	302	288	95.1	2.81	584248	J	100	JA	99	8.0	0.0	4155
16	---	C16	O	T	T	C	O	775	3045	2905	236	225	95.4	3.15	1615383	J	100	CH	50	0.0	0.0	4145
17	---	C17	O	T	T	C	O	275	3702	3389	102	93	91.5	5.29	1860804	J	100	KL	99	8.0	3.0	4155
18	---	C18	O	T	T	C	O	420	3615	3308	152	139	91.5	4.59	1816848	J	100	MJW	58	8.0	3.0	4155
19	---	C19	O	Q	CG	C	O	285	4659	3590	133	102	77.0	3.47	1399266	J	100	MJW	99	8.0	3.0	4160
20	---	C20	N	PA	Q	T	N	836	9999	9999	9999	9999	99.9	9.90	9999999	XX	99	JA	53	4.0	0.0	4150
21	---	C21	O	P	PA	Q	N	1588	9999	9999	9999	9999	99.9	9.90	9999999	XX	99	JA	40	5.0	2.0	4160
22	---	C22	O	P	P	PA	N	483	9999	9999	9999	9999	99.9	9.90	9999999	XX	99	JA	20	7.0	5.0	4160
23	---	C23	O	PA	Q	C	N	1564	9999	9999	9999	9999	99.9	9.90	34300	XX	100	MJW	5	8.0	4.0	4160
24	---	C24	O	C	C	C	N	2177	2908	2155	633	469	74.1	4.80	1573425	JV	25	JW	35	10.0	4.0	4165
25	---	C25	O	C	C	C	N	110	2995	2093	33	23	69.9	3.97	1444054		99	JW	99	16.0	4.0	4165
26	---	C26	O	P	PA	T	N	723	9999	9999	9999	9999	99.9	9.90	9999999	XX	99	MJW	-50	17.0	0.0	4170
27	---	C28	O	P	P	PA	N	2626	9999	9999	9999	9999	99.9	9.90	9999999	XX	99	JA	-6	4.5	0.0	4165
28	---	C29	O	C	C	C	N	1969	4371	2609	861	514	59.7	5.07	2288459		99	JA	23	8.0	0.0	4170
29	---	C30	O	C	C	C	N	912	3999	2475	365	225	61.8	4.12	1846152		99	MJW	-15	8.0	0.0	4170
30	---	C31	O	C	C	C	N	136	2279	1225	31	17	53.7	3.16	1503495		99	N	-23	8.0	0.0	4175
31	---	C32	O	C	C	C	N	136	2086	985	28	13	47.3	3.70	1629369		99	JA	99	9.9	9.9	4175
32	---	C33	O	P	PA	T	N	1044	9999	9999	9999	9999	99.9	9.90	9999999	XX	99	MJW	-15	12.0	7.0	4180
33	---	C34	O	P	PA	T	N	0	9999	9999	9999	9999	99.9	9.90	9999999	XX	99	JA	-16	7.0	0.0	4180
34	---	M35	O	P	P	PA	N	2168	9999	9999	9999	9999	99.9	9.90	9999999	XX	99	JA	99	7.0	0.0	4190
35	---	M36	O	P	PA	C	N	3197	9999	9999	9999	9999	99.9	9.90	9999999	XX	99	JP	-23	4.5	0.0	4180
36	---	M37	O	P	PA	C	N	580	9999	9999	9999	9999	99.9	9.90	9999999	XX	99	LJA	-18	25.0	0.0	4195
37	---	S38	O	C	C	D	N	1700	6487	5280	1102	897	81.4	6.06	3568428	VJ	0	JA	99	6.0	0.0	4155
38	---	S39	O	C	C	D	N	2172	6936	3807	1569	861	54.9	7.25	3593736	VJ	0	JAF	-34	6.0	0.0	4155
39	---	S40	O	C	C	D	N	493	3788	1570	186	92	49.3	4.62	1901263	VJ	0	KA	-33	6.0	0.0	4155
40	---	S41	O	C	C	D	N	25	2544	1552	6	4	61.0	5.80	2461203	VJ	0	N	2	6.0	0.0	4155

NOMP = NOM DE LA PARCELLE , PROP = PROPRIETAIRE (OUI/NON) , CU88=CULTURE EN 88 , CU89 = CULTURE EN 89 , CU90 = CULTURE EN 90 , IRRI = IRRIGATION (OUI/NON) , SURF = SURFACE EN M<sup>2</sup> , REDT = RENDEMENT EN KG DE MATIERE FRAICHE , REDS = RENDEMENT EN KG DE MATIERE SECHE , PROD = PRODUCTION DE LA PARCELLE EN KG DE MATIERE FRAICHE , PROS = PRODUCTION DE LA PARCELLE EN KG DE MATIERE SECHE , TALL = TALLAGE , DENS = NOMBRE DE PIEDS A L'HECTARE , COUL = COULEUR DE LA TIGE (VERT/JAUNE /JAUNE VERT) , EPIA = % DE TIGES AYANT UN EPIS , CSOL = TYPE DE SOL , DIFT = DIFFERENCE TEMPERATURE PARCELLE , TEMPERATURE MAISON EN % DIFFERENCE TEMPERATURES CELESTINO ANTONIO , PENP = PENTE PRINCIPALE EN % , PENA = PENTE SECONDAIRE EN % , ALTI = ALTITUDE .

- 67

NUMERO	S38	S39	S40	S41	C29	C30	C31
LOCALISATION	SOCABON	SOCABON	SOCABON	SOCABON	ZEGIR	ZEGIR	ZEGIR
SOL	JAPO	JAPO F	KARPA	NIEKE	JAPO	M. JARWI	NIEKE
N. MESURES	19	21	18	18	18	15	20
MOYENNE DIFFERENCE	0,9	0,4	0,7	0	0,8	0,9	1,1
ECART-TYPE	1,85	1,84	1,76	1,59	1,75	1,27	2,02

NUMERO	C18	C19	C16	C23	C23	C17	C33
LOCALISATION	LADERA	LADERA	LADERA	LADERA	LADERA	LADERA	ZEGIR
SOL	M. JARWI	M. JARWI	CHALLA	M. JARWI	JARWI	KALANI	M. JARWI
N. MESURES	16	7	19	15	19	9	12
MOYENNE DIFFERENCE	-0,7	0,3	-0,3	-0,3	0,1	0,2	0,2
ECART-TYPE	1,62	1,87	1,26	1,08	1,81	0,71	0,84

NUMERO	C21	C21	M36	M37	C34	MOYENNE
LOCALISATION	PAMPA	PAMPA	TIGIR	TIGIR	ZEGIR	
SOL	M. JARWI	JAPO	JAPO	JAPO L.	JAPO	
N. MESURES	8	17	15	15	14	320
MOYENNE DIFFERENCE	0	-0,7	0,2	0,4	0,25	0,21
ECART-TYPE	1,22	1,82	1,03	0,77	1,87	1,63

TABLEAUX N° 14 , 15 ET 16 : RESULTATS RELATIFS AUX MESURES D'INDICES ACTINOTHERMIQUES MINIMAUX REALISES CHEZ ANTONIO.

## B.2 - Analyse des résultats

Les différences de température mesurées sont faibles et ne dépassent pas 1,8 ° C entre la situation culturale la plus chaude et la plus froide. Ces différences étant très faibles, obtenir des différences significatives nécessiterait un nombre beaucoup plus grand d'observations sur 3 ou 4 ans, d'autant plus que les écarts type entre les mesures sur une même parcelle sont eux-mêmes importants. Les valeurs trouvées ne sont donc qu'indicatives. Ces différences même faibles correspondent néanmoins à une réalité sur le terrain. En effet, 0,5 ° de plus peut permettre d'éviter une gelée qui aurait provoqué des dégâts importants.

Prenons par exemple les situations culturales C31, S41 et C21. Ces parcelles sont respectivement 1,1 ° plus chaudes que la maison, à la même température que la maison et 0,7 ° C plus froide que la maison.

- Pour la C21, le cycle possible de la pomme de terre a été, d'après les relevés, de 58 jours, cette année.

- Pour la C31, il aurait été de 75 jours,

- Pour la C21, il aurait été de 46 jours,

soit une différence de 29 jours entre les parcelles les plus chaudes et les plus froides.

Nous étudierons pour chaque parcelle la gélivité des différentes situations culturales.

- Parcelle (M36 + M37) : Les parcelles M36 et M37 se distinguent par la pente. La parcelle M37 beaucoup plus pentue (25 % contre 4,5 %) paraît donc plus chaude, ce qui confirmerait l'appellation "ladera" de cette dernière, ladera signifiant également parcelles protégées des riges de gelées (cf. E. Brasier de Thuy)

- Parcelle Socabon (S38 + S39 + S40 + S41) : Ces 4 parcelles ne diffèrent que par leur type de sol. Du plus chaud au plus froid, on aurait donc la hiérarchie suivante : J'apo - K'arpa - J'apo fino - Niek'e.

- Parcelle C21 : Le sol J'apo apparaît plus froid que le sol J'arwe.

- Parcelle C23 : Le sol J'arwe est plus chaud que le Medio J'arwe.

- Parcelle (C16, C17, C18, C19) - ladera - Le sol Kalane est plus chaud que le Medio J'arwe, lui-même plus chaud que le Ch'alla.

- Parcelle (C29, C30, C31) : Du plus chaud au plus froid, on a les sols Niek'e, Medio J'arwe, J'apo.

On a donc les relations suivantes (> signifiant plus chaud)

- I J'apo > J'apo fino > K'arpa > Niek'e
- II Jarwe > J'apo
- III Jarwe > Medio J'arwe
- IV Kalane > Medio J'arwe > Ch'alla
- V Niek'e > Medio J'arwe > J'apo

Nous avons demandé à Antonio de classer ses sols du plus chaud au plus froid. Sa réponse fut la suivante :

-----		
SOL LE PLUS CHAUD	KALANE	
	J'ARWE	
	M.J'ARWE	NIEK'E
	K'ARPA	CELA DEPEND, TANTOT
	CH'ALLA	IL EST CHAUD TANTOT
	J'APO	IL EST FROID
SOL LE PLUS FROID	J'APO FINO	
-----		

Il est fort intéressant de constater que la hiérarchie donnée par Antonio est presque totalement confirmée par les thermomètres.

Les ordres de relations II, III, IV, V sont totalement retrouvés dans la classification d'Antonio. La relation I ne diffère que sur la classification du sol K'arpa. Quant au Niek'e, effectivement cela dépend, il est tantôt le plus chaud, tantôt le plus froid.

Cette bonne correspondance des résultats nous permettra donc de valider la classification des sols donnée par Antonio.

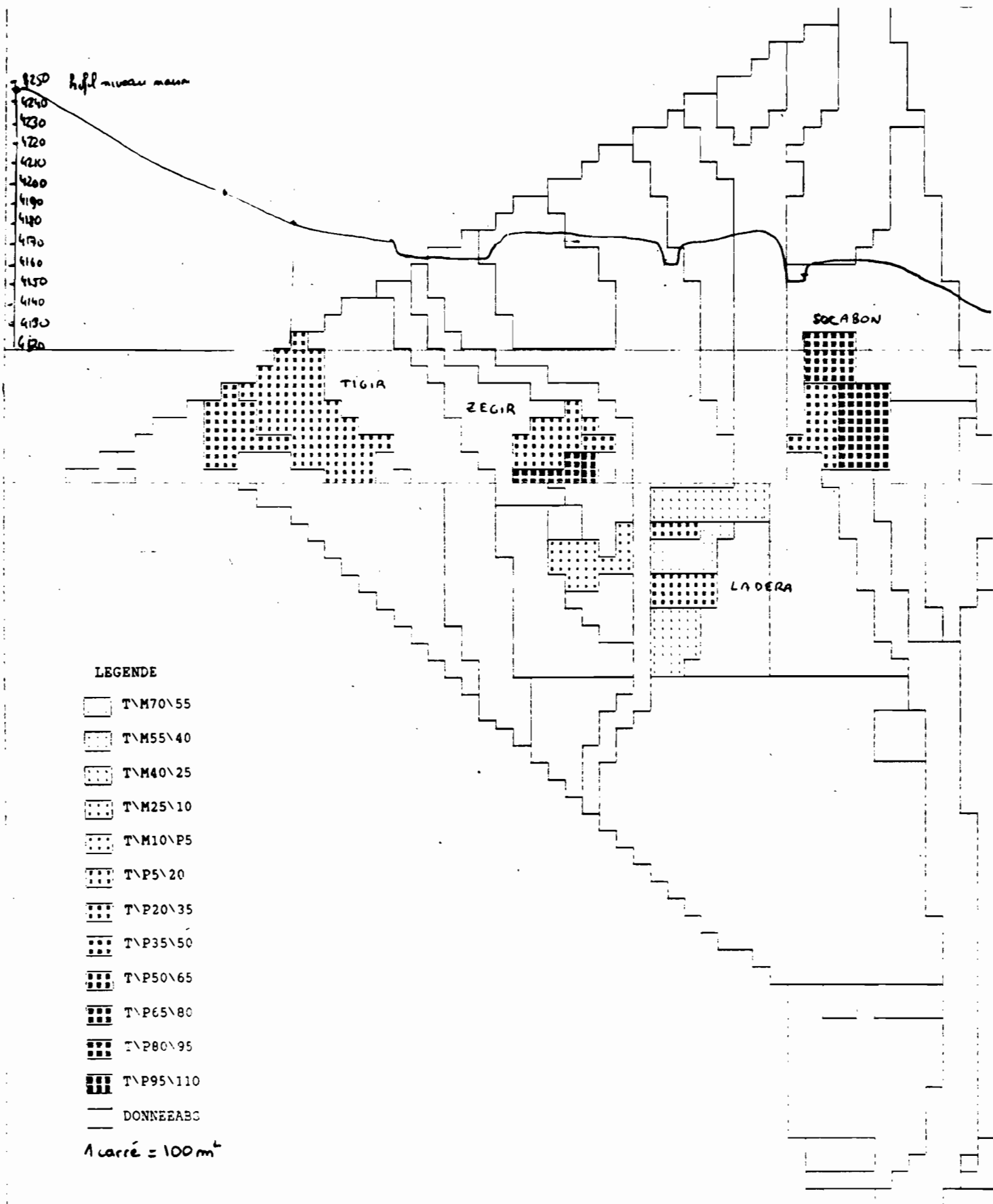
Ces variations de températures entre les différents sols ont probablement pour origine leur texture et leur couleur. Les sols J'arwe et Kalane sont les plus chauds. Ceci peut s'expliquer par les pierres qui s'y trouvent : la capacité calorifique et l'inertie thermique du sol sont plus élevées.

### B.3 - Carte des températures

Nous avons réalisé une carte des températures (figure n° 39). Plus la parcelle est chaude, plus elle apparaît foncée sur la carte.

Antonio nous avait précisé que le groupe de parcelles "Ladera" était le plus froid. Cela semble se confirmer sur la carte. Ce groupe de parcelle est le moins foncé. La situation topographique semble donc également jouer un rôle sur la gélivité des parcelles.

FIGURE N° 39 : CARTE DES TEMPERATURES DE L'EXPLOITATION DE ANTONIO.



On soulignera néanmoins que pour Antonio, ce sont les types de sols qui induisent le plus de variations au niveau des températures minimales. La situation topographique paraît être un facteur moins important.

## C - Les variations de températures sur l'exploitation de Celestino.

### C.1 - Visualisation des parcelles

Comme pour Antonio, il paraît nécessaire de visualiser les parcelles. Quatorze d'entre elles ont fait l'objet de l'étude. La carte n° 40 a été établie. Les données correspondant à chaque situation culturale sont présentées dans le tableau 17.

### C.2 - Mesures

Seules les mesures réalisées d'un bloc (cf. II/I/C21) ont été utilisées. En effet, les mesures journalières sont trop incomplètes (Celestino était souvent absent) et n'ont pas touché un nombre assez grand de parcelles.

7 mesures simultanées ont été réalisées. Un problème s'est posé : les écarts de température mesurés entre chaque parcelle se sont avérés extrêmement variables d'une série de mesures à l'autre. Pour une nuit avec le ciel dégagé (nuit très froide) les écarts en ° C entre les parcelles sont importants. Pour une nuit froide, avec un ciel partiellement couvert, les écarts deviennent nettement moins importants. Comme toutes les parcelles n'étaient pas mesurées à chaque série, il nous a fallu homogénéiser tous les résultats.

On a donc choisi d'exprimer l'écart entre chaque situation culturale et la maison d'Antonio en % de l'écart entre les maisons de Celestino et Antonio. Cet écart étant lui aussi facteur des conditions climatiques de la nuit.

$$\% = \frac{\text{Température parcelle} - \text{Temp. maison Antonio}}{\text{Temp. maison Celestino} - \text{Temp. maison Antonio}}$$

On notera que cette méthode de calcul ne modifie en rien la hiérarchie entre parcelles. La plus chaude se rapprochant de 0 % et la plus froide de 100 %. Cette méthode nous a malgré tout contraint à éliminer une série de mesure, lorsque les températures des 2 maisons étaient très voisines (dénominateur proche de 0).

On a ensuite effectué la moyenne de ces pourcentages pour chaque parcelle mesurée au moins 3 fois.

Le fait que les mesures soient toutes réalisées simultanément, doit améliorer leur fiabilité. Chaque mesure étant réalisée dans les mêmes conditions. La classification entre parcelles apparaît directement.



TABLEAU N° 17 : DONNEES RELATIVES AUX PARCELLES DE CELESTINO.

IMP.	INT	NOMF	CUS8	CUS9	CUS0	SURF	REBT	REDS	FRCD	PROS	POPS	USEM	MSEM	TALL	DENS	COUL	EPIA
1	---	K11	PA/A/C	CE	CE0A	620	6596	5428	409	337	82.3	3	1	9.90	9999999	XX	99
2	---	K12	PA/A/C	CE	CE0A	976	10258	8442	1001	824	82.3	3	1	9.90	9999999	XX	99
3	---	K13	PA/A/C	A	CE0A	155	5973	9999	93	9999	99.9	3	1	9.90	9999999	XX	99
4	---	K14	PA/A/C	K/CE	CE0A	95	9999	9999	9999	9999	99.9	3	1	9.90	9999999	XX	99
5	---	K2	CE	CE	CE	1211	7686	6326	931	766	82.3	6	1	12.44	3556332	J	50
6	---	K31	CE	CE	P	370	14207	10482	526	388	73.8	5	1	14.27	3999003	J	100
7	---	K32	CE	CE	P	616	1355	1260	102	78	76.0	5	1	2.33	935730	J	100
8	---	K4	CE	CE	CE	630	2205	2005	139	126	91.0	5	1	4.71	1254943	J	75
9	---	K5	PA	A/T/CE	CE	577	9999	9999	9999	9999	99.9	9	1	9.90	9999999	XX	99
10	---	J6B1	PA	CE	CE	254	5796	4405	153	116	76.0	31	12	4.78	2556778	VJ	50
11	---	J6B2	PA	CE	CE	86	16249	10514	141	912	64.7	31	12	10.27	5413914	VJ	100
12	---	J6M1	PA	CE	CE	322	2803	1925	90	62	68.7	31	12	5.80	2567430	J	75
13	---	J6M2	PA	CE	CE	315	6242	4680	196	134	68.4	31	12	5.80	2570760	VJ	100
14	---	J6M3	PA	CE	CE	175	5006	3302	68	58	65.9	31	12	4.96	1918980	VJ	100
15	---	J6M4	PA	CE	CE	160	3345	3149	62	51	81.9	31	12	4.06	2294370	VJ	100
16	---	J6H1	T/Q	CE	CE	680	1332	986	91	67	74.0	31	12	2.52	703296	J	75
17	---	J6H2	T/Q	CE	CE	490	5335	3757	262	185	70.4	31	12	4.63	1952379	J	75
18	---	J6H3	T/Q	CE	CE	320	1328	929	39	26	67.5	31	12	1.74	776556	J	50
19	---	J6H4	T/Q	CE	CE	363	3397	1105	87	40	46.1	31	12	4.76	1339266	VJ	0
20	---	J7B	CE	CE	P	359	1499	777	54	28	52.0	10	1	1.49	666600	VJ	100
21	---	J7H1	CE	CE	P	180	1716	905	31	16	52.8	10	1	1.87	666000	VJ	100
22	---	J7H2	CE	CE	P	222	610	445	18	10	55.1	10	1	1.48	675990	VJ	100
23	---	J7H3	CE	CE	P	28	900	440	3	1	48.9	10	1	1.04	486190	VJ	75
24	---	J8B	CE	CE	CE	310	2249	1213	70	38	53.9	10	1	2.28	959040	J	75
25	---	J8M1	CE	CE	CE	110	2808	1288	25	149	55.8	10	1	2.33	930069	VJ	100
26	---	J8M2	CE	CE	CE	103	2902	2183	42	24	55.9	10	1	4.84	1164168	VJ	75
27	---	J8H	CE	CE	CE	225	2576	1293	58	29	50.2	10	1	2.32	1148983	V	50
28	---	J91	T/Q	CE	CE	43	1809	284	9	4	48.8	10	1	1.17	872126	V	75
29	---	J92	T/Q	CE	CE	288	2450	1163	71	34	47.7	10	1	2.14	980685	V	75
30	---	J93	T/Q	CE	CE	367	7726	3750	283	137	48.5	10	1	4.15	2022742	V	75
31	---	J101	RD	PA	CE	3914	9999	9999	9999	9999	99.9	99	99	9.90	9999999	XX	99
32	---	J102	RD	PA	CE	9999	9999	9999	9999	9999	99.9	99	99	9.90	9999999	XX	99
33	---	KA	P	RD	PA	308	9999	9999	9999	9999	99.9	99	99	9.90	9999999	XX	99
34	---	KB	P	RD	PA	2416	9999	9999	9999	9999	99.9	99	99	9.90	9999999	XX	99
35	---	CC	P	RD	PA	480	9999	9999	9999	9999	99.9	99	99	9.90	9999999	XX	99
36	---	CD	P	RD	PA	347	9999	9999	9999	9999	99.9	99	99	9.90	9999999	XX	99
37	---	E1	RC	PA		320	9999	9999	9999	9999	99.9	17	10	9.90	9999999	XX	99
38	---	E2	RD	PA		460	9999	9999	9999	9999	99.9	7	11	9.90	9999999	XX	99
39	---	E3	RC	PA		270	9999	9999	9999	9999	99.9	7	1	9.90	9999999	XX	99
40	---	P0	P0	P0	P0	999	9999	9999	9999	9999	99.9	99	99	9.90	9999999	XX	99
41	---	P10	P10	P10	P10	999	9999	9999	9999	9999	99.9	99	99	9.90	9999999	XX	99
42	---	P1	P1	P1	P1	9999	9999	9999	9999	9999	99.9	99	99	9.90	9999999	XX	99
43	---	P2	P2	P2	P2	999	9999	9999	9999	9999	99.9	99	99	9.90	9999999	XX	99
44	---	P3	P3	P3	P3	999	9999	9999	9999	9999	99.9	99	99	9.90	9999999	XX	99
45	---	P4	P4	P4	P4	999	9999	9999	9999	9999	99.9	99	99	9.90	9999999	XX	99
46	---	LA	LA	LA	LA	999	9999	9999	9999	9999	99.9	99	99	9.90	9999999	XX	99
47	---	MA	MA	MA	MA	999	9999	9999	9999	9999	99.9	99	99	9.90	9999999	XX	99
48	---	CA	CA	CA	CA	999	9999	9999	9999	9999	99.9	99	99	9.90	9999999	XX	99
49	---	PB	PB	PB	PB	999	9999	9999	9999	9999	99.9	99	99	9.90	9999999	XX	99
50	---	A1	CE	CE	P	95	9999	9999	9999	9999	99.9	99	99	9.90	9999999	XX	99
51	---	AD	PA	CG	CG	300	9999	9999	9999	9999	99.9	99	99	9.90	9999999	XX	99
52	---	A3	CE	CG	P	200	9999	9999	9999	9999	99.9	99	99	9.90	9999999	XX	100
53	---	NP	NP	NP	NP	999	9999	9999	9999	9999	99.9	99	99	9.90	9999999	XX	99

## Enr. Ind NOMP CSOL PENL PENT ALTI DIPT

1	---	K11	KA	99	0	3990	86.0
2	---	K12	KA	99	0	3990	73.0
3	---	K13	KA	99	0	3990	90.0
4	---	K14	KA	99	0	3990	99.0
5	---	K2	KA	99	2	3995	70.0
6	---	K31	ARC	99	10	4000	46.0
7	---	K32	AFE	99	11	4012	35.0
8	---	J4	KA	99	0	4010	73.0
9	---	J5	KA	99	2	4010	52.0
10	---	J6B1	ARC	99	7	4005	99.0
11	---	J6B2	ARC	99	14	4005	99.0
12	---	J6M1	ARC	99	6	4010	99.0
13	---	J6M2	ARC	99	6	4010	99.0
14	---	J6M3	ARC	99	6	4010	99.0
15	---	J6M4	ARC	99	6	4010	99.0
16	---	J6H1	ARC	99	3	4010	99.0
17	---	J6H2	ARC	99	3	4010	66.0
18	---	J6H3	ARC	99	3	4010	99.0
19	---	J6H4	ARC	99	3	4010	99.0
20	---	J7B	KA	99	4	4015	8.0
21	---	J7B1	KA	99	5	4015	99.0
22	---	J7B2	KA	99	5	4015	99.0
23	---	J7B3	KA	99	5	4015	99.0
24	---	C8B	KA	99	11	4020	99.0
25	---	C8M1	KA	99	10	4020	99.0
26	---	C8M2	KA	99	10	4020	99.0
27	---	C8H	KA	7	13	4020	99.0
28	---	C91	ARC	16	26	4040	6.0
29	---	C92	ARC	16	26	4040	99.0
30	---	C93	ARC	16	26	4040	99.0
31	---	J101	KA	99	3	4000	33.0
32	---	J102	JW	99	11	4000	9.0
33	---	KA	KA	99	0	3990	84.0
34	---	JB	AFE	99	4	4010	116.0
35	---	CC	ARC	11	30	4030	31.0
36	---	CD	ARC	16	30	4055	99.0
37	---	E1	ARC	99	99	9999	95.0
38	---	E2	JW	99	99	9999	99.0
39	---	E3	JW	99	99	9999	99.0
40	---	P0	XX	99	99	9999	99.0
41	---	P10	XX	99	99	9999	99.0
42	---	P1	XX	99	99	9999	99.0
43	---	P2	XX	99	99	9999	99.0
44	---	P3	XX	99	99	9999	99.0
45	---	P4	XX	99	99	9999	99.0
46	---	LA	XX	99	99	9999	99.0
47	---	MA	XX	99	99	3995	99.0
48	---	CA	XX	99	99	9999	99.0
49	---	PB	XX	99	99	9999	99.0
50	---	A1	XX	23	99	4055	99.0
51	---	A2	XX	12	99	4055	99.0
52	---	A3	XX	22	8	4055	99.0

NOMP = NOM DE LA PARCELLE , PROP = PROPRIETAIRE (OUI/NON) , CS88=CULTURE EN 88 , CS89 = CULTURE EN 89 , CU90 = CULTURE EN 90 , IIRI = IRRIGATION (OUI/NON) , SURF = SURFACE EN M<sup>2</sup> , REDT = RENDEMENT EN KG DE MATIERE FRAICHE , REDS = RENDEMENT EN KG DE MATIERE SECHE , PROD = PRODUCTION DE LA PARCELLE EN KG DE MATIERE FRAICHE , PROS = PRODUCTION DE LA PARCELLE EN KG DE MATIERE SECHE , TALL = TALLAGE , DENS = NOMBRE DE PIEDS A L'HECTARE , COUL = COULEUR DE LA TIGE (VERT/JAUNE /JAUNE VERT) , EPIA = % DE TIGES AYANT UN EPIS , CSOL = TYPE DE SOL , DIPT = DIFFERENCE TEMPERATURE PARCELLE , TEMPERATURE MAISON EN % DIFFERENCE TEMPERATURES CELESTINO ANTONIO , PENP = PENTE PRINCIPALE EN % , PENA = PENTE SECONDAIRE EN % , ALTI = ALTITUDE .

On évite comme précédemment une certaine hétérogénéité des mesures dues à des conditions climatiques différentes ("inversion" de température notamment). Il faudrait réaliser néanmoins ce type de mesures sur 1 année entière.

Les résultats sont présentés dans le tableau 18. On a réalisé comme pour Antonio une carte des températures. (figure n° 41).

### C.3 Interprétation

Il y a moins de diversité des types de sols chez Celestino. On n'en trouve pratiquement que 2 types: K'arpa et Argiloso. Or, les variations de températures sont importantes. C'est donc un autre facteur qui entraîne ces variations. Au vu de la carte (figure n° 41), la pente paraît un assez bon facteur explicatif. Quand il y a une pente forte (--->) les parcelles apparaissent plus sombres. Au niveau des replats (===>) les parcelles sont plus froides.

On a placé sur la figure n° 42 les pentes de chaque parcelle ainsi que les pourcentages relatifs aux températures minimales correspondantes et calculé le coefficient de corrélation linéaire.

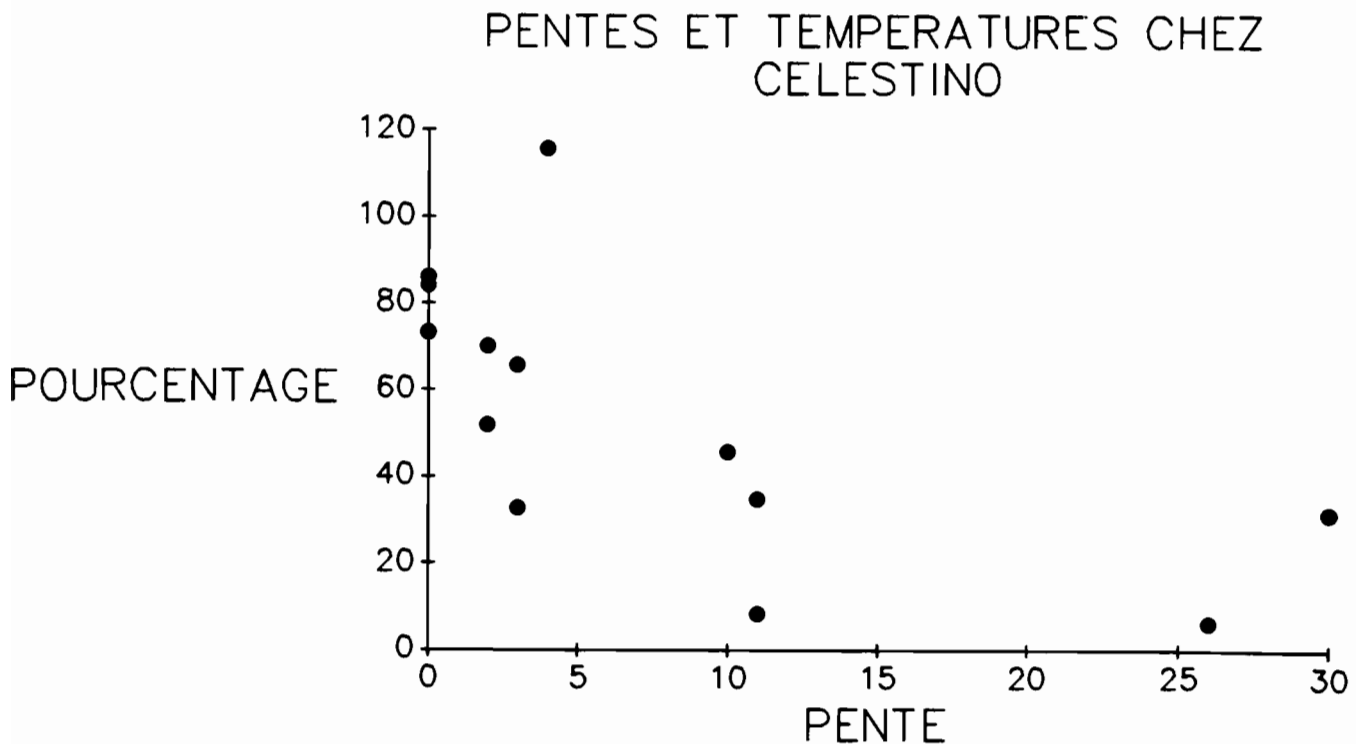


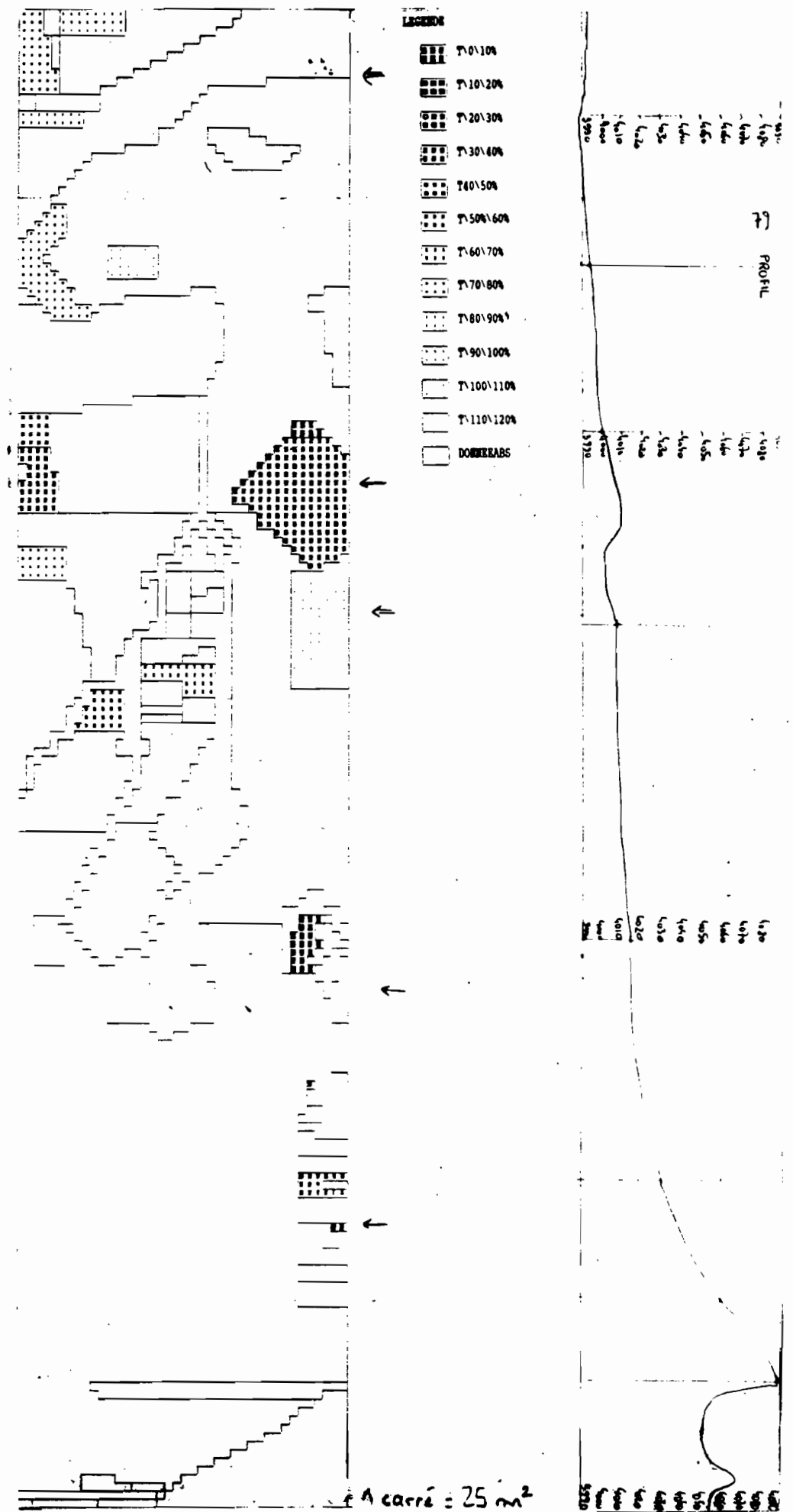
FIGURE N° 42 : CORRELATION ENTRE LES MESURES DE PENTE ET DE TEMPERATURES CHEZ CELESTINO

° CELSIUS	RELEVE	%	RELEVE	%	RELEVE	%	° CELSIUS
	1		2		3		
DATE	24/5		7/6		27/6		DATE
MAISON C	-12,00	100,00	-10,00	100,00	-14,50	100,00	MAISON C
MAISON A	-8,00	0,00	-4,00	0,00	-10,00	0,00	MAISON A
DIFF	-4,00		-6,00		-4,50		DIFF
K11	-12,50	112,50			-13,50	77,78	K11
K12	-9,50	37,50			-12,50	55,56	K12
K13							K13
K14			-10,00	100,00			K14
K2B	-9,00	25,00	-9,00	83,33	-12,00	44,44	K2B
K2H	-13,00	125,00					K2H
K31	-10,00	50,00	-4,00	0,00			K31
K32	-9,00	25,00			-10,50	11,11	K32
J4	-12,00	100,00	-8,00	66,67	-12,50	55,56	J4
J5	-9,00	25,00					J5
J6B1							J6B1
J6B2							J6B2
J6M1							J6M1
J6M2							J6M2
J6M3							J6M3
J6M4							J6M4
J6H1	-12,00	100,00	-7,00	50,00			J6H1
J6H2							J6H2
J6H3							J6H3
J6H4							J6H4
J7B	-7,00	-25,00	-5,50	25,00	-8,50	-33,33	J7B
J7H1							J7H1
J7H2							J7H2
J7H3							J7H3
C8B							C8B
C8M1							C8M1
C8M2							C8M2
C8H							C8H
C91	-7,50	-12,50	-5,50	25,00			C91
C92							C92
C93							C93
J101	-7,00	-25,00					J101
J102	-8,00	0,00			-10,00	0,00	J102
KA	-11,00	75,00	-9,00	83,33	-12,50	55,56	KA
JB			-11,00	116,67			JB
CC					-11,00	22,22	CC
CD					-7,50	-55,56	CD
SERRE	3,00	-275,00					SERRE
RIO	-10,00	50,00					RIO
ENCLOS	-9,00	25,00					ENCLOS
A2					-10,00	0,00	A2
A3G					-8,00	-44,44	A3G
A3D					-10,00	0,00	A3D
A1					-9,50	-11,11	A1
ENTRE 2					-8,00	-44,44	ENTRE 2

TABLEAU N° 18 : RESULTATS RELATIFS AUX MESURES D'INDICES ACTINOTHERMIQUES MINIMAUX REALISES CHEZ CELESTINO.



FIGURE N° 41 : CARTE DES TEMPERATURES DE L'EXPLOITATION DE CELESTINO.



Le coefficient de corrélation linéaire est égal à - 0,68. On peut donc considérer que la pente explique dans ce cas pratiquement 50 % des différences de température.

La vision de Celestino est relativement proche. A titre d'illustration, on présentera le schéma réalisé par Celestino à propos de la gelée du 23/02/89 qui a détruit une partie de ses pommes de terre. (figure n° 43).

Celestino distingue tout d'abord 4 zones:

- Le sommet de son exploitation où il gèle très peu (la seule mesure que nous ayons faite à cet endroit - relevé n° 3 - semble lui donner raison).

- la zone pentue (parcelle J7B - J101) peu gélive. Les 3 parcelles mesurées, situées en haut de cette zone, ne sont effectivement pas gélives. Mais les parcelles JB et J4 situées sur le replat le sont beaucoup plus !

- la zone allant de la rupture de pente située à la jonction des canyons jusqu'au Bofedal\*. Pour Celestino, cette zone est la plus froide. Cela paraît exact au vu des mesures effectuées au niveau de la maison, à l'exception des parcelles situées sur la petite pente (J102, K31, K37).

- la zone située à l'avant du Bofedal, gélive, mais moins que la précédente. Ceci paraît exact, les parcelles K11, K12 ayant des valeurs de l'ordre de 80 % sont moins froides que la maison.

Celestino au vu des dégâts de la gelée du 23/02 a déduit que sur ses terres le facteur sol était moins important que le facteur pente. En effet, il avait planté des pommes de terre sur les parcelles J101 et J102. La parcelle J101 présente une tache de sol J'arwe (le plus chaud) au milieu de sol K'arpa, pentu. Cette tache est située dans une zone presque plane. La gelée du 23/02 (- 5 au niveau de la maison) a détruit totalement les pommes de terre situées sur le sol J'arwe, et partiellement celles situées sur le sol K'arpa. Les pommes de terres amères, elles ont résisté. Dans ce cas, le facteur pente est plus important que le facteur sol. Le sol de type J'arwe étant normalement plus chaud, a subi plus de dégâts car situé sur un replat.

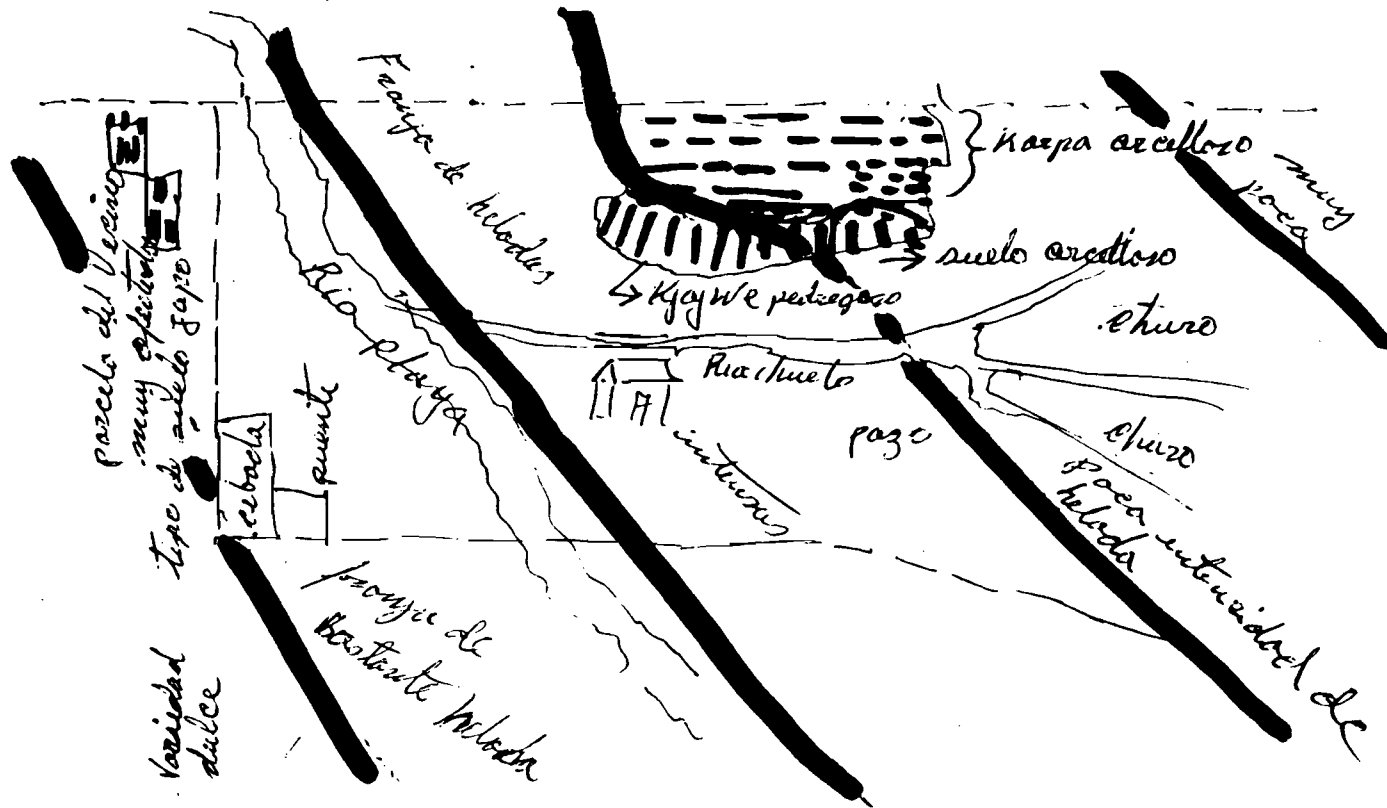
Ces différences de températures peuvent influencer, de manière importante, sur les périodes laissées libre de gel. Ainsi, pour cette année, cette période aurait été de 70 jours environ au niveau des parcelles les plus chaudes (J102, CC) et de 40 jours au niveau des plus froides (K2B, K11) soit une différence de 30 jours. Pratiquement le double !

Chez Celestino, le facteur le plus déterminant est donc la pente à l'inverse de chez Antonio. L'air froid s'accumule dès qu'il y a un replat et refroidit la parcelle. Sur les pentes, l'air "glisse" et celles-ci se refroidissent moins.

FIGURE N° 43 : PERCEPTION DES MICROVARIATIONS DE TEMPERATURES PAR CELESTINO.

E Bajo de suelo Kjaywe y Maapa Niekke (suelo arcilloso)

Croquis de la parcela lindero



## D - Les variations de températures sur l'exploitation de Miguel

### D.1 - Visualisation des parcelles

Comme dans les 2 cas précédents, un parcellaire a été réalisé (figure n° 44). On trouvera ci-contre les caractéristiques de chaque parcelle regroupées dans un fichier (tableau n° 19).

### D.2 - Mesures et Commentaires

Peu de mesures ont été réalisées. 3 séries de 11. Les résultats sont exposés dans le tableau n° 20.

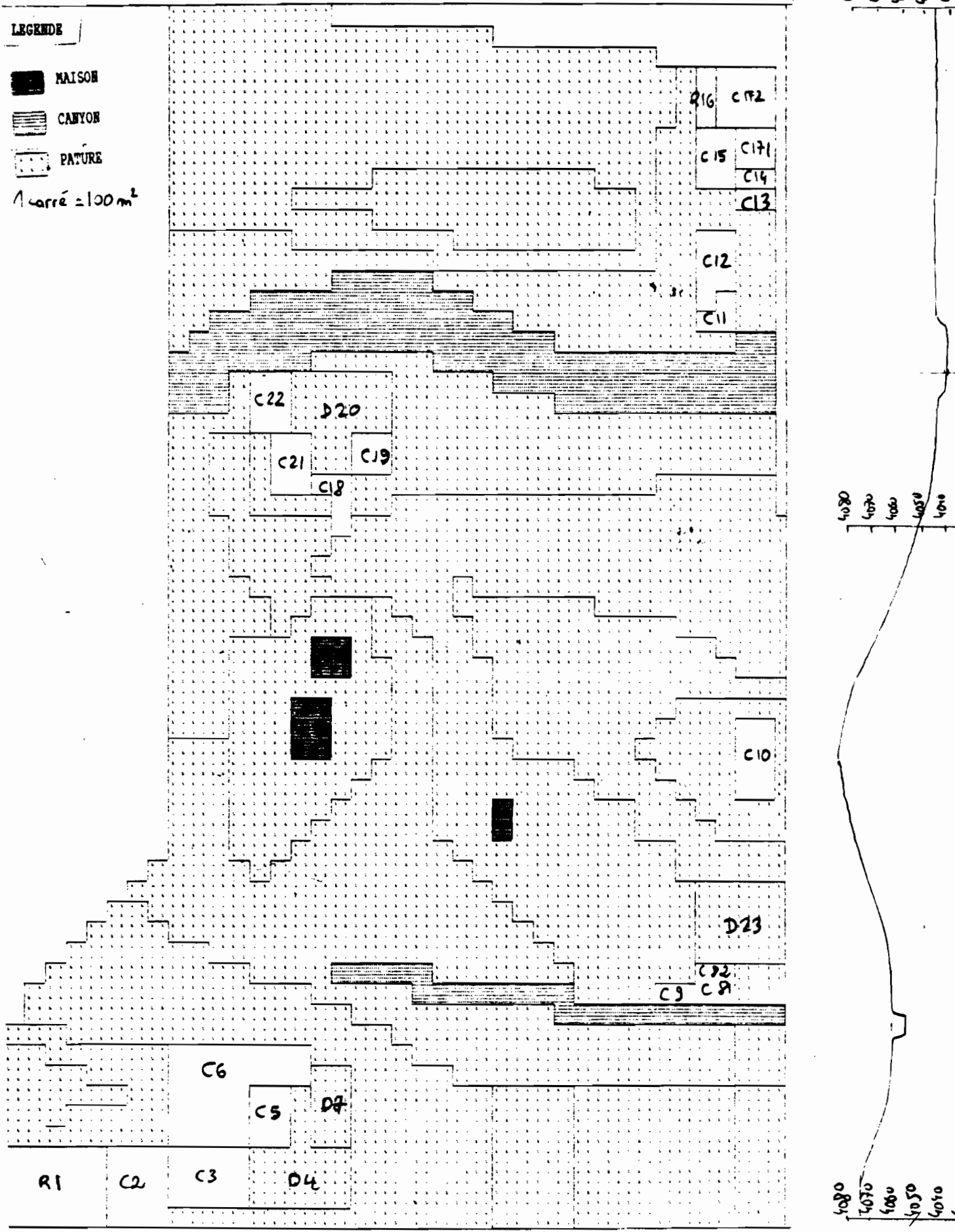
On a relevé quelques faibles variations de température. L'amplitude est plus petite que chez Celestino et Antonio. Il est vrai que la variété des sols est moindre et que le relief de l'exploitation est moins important. D'après Miguel, son exploitation est assez uniforme vis à vis des risques de gelées, si ce n'est les sols JARWI et les parcelles situées en pente.

En effet, les parcelles C9, D23, C10, C18 qui sont les plus pentues sont les plus chaudes.

On insistera cependant sur l'importance de l'orientation des parcelles. On peut en effet comparer la parcelle C1 à la parcelle D23. Les 2 parcelles ont les mêmes caractéristiques de pente et d'altitude. Indépendamment de la différence de sol, il semble que ce soit l'orientation de la parcelle D23 qui la rende systématiquement plus froide.

Il paraît ardu de tirer plus de conclusion compte tenu du peu de mesures effectuées chez Miguel.

FIGURE N° 44 : VISUALISATION DES PARCELLES DE MIGUEL.



Enr.	Ind	NOMP	NOME	PROG	CU88	CU89	CU90	SURF	CSOL	DIPT	PENP	ALTI
1	---	R1	19	MIGU	P	R	PA	1122	MJA	-8.3	7.0	4040
2	---	C2	1	MIGU	RC	PA	TR/QU	1152	MJW	-8.3	7.0	4045
3	---	C3	4	MIGU	AV+CE	CE	CE/DE	1240	JW	-8.7	7.0	4050
4	---	D4	20		P	P	P	1585	JW	99.9	7.0	4060
5	---	C5	3	MIGU	QU+TR	CE	DE	328	JW	99.9	5.0	4060
6	---	C6	2	CELE	P	RC	PA	1784	JW	99.9	5.0	4050
7	---	D7	21	MAMA	F	P	P	961	JW	99.9	5.0	4060
8	---	C81	5	MAMA	TR	CE	CE	405	GR	99.9	10.0	4070
9	---	C82	5	MAMA	TR+QU	TR	CE	95	MGR	99.9	10.0	4070
10	---	C9	6	MIGU	CE	CE	D	105	MGR	-7.5	10.0	4070
11	---	C10	7	MIGU	PA+TR	CE	CE/DE	703	JW	-6.5	11.5	4075
12	---	C11	8	MAMA	RC	PA	QU	464	CH/JW	99.9	1.0	4045
13	---	C12	9	MAMA	PA	CE	CE	686	CHA	-8.2	1.0	4045
14	---	C13	11	MIGU	CE	CE	CE	448	CH/JW	99.9	1.0	4045
15	---	C14	12	MIGU	RC	PA	QU	368	CH	99.9	1.0	4045
16	---	C15	10	MIGU	TR	CE	CE	598	JW	99.9	1.0	4045
17	---	R16	14	MIGU	P	RC	PA	396	CH	99.9	1.0	4045
18	---	C171	13	MIGU	PA	QU	CE	383	CH	99.9	1.0	4045
19	---	C172	15	MIGU	TR+QU	CE	CE	532	CH	-8.7	1.0	4045
20	---	C18	18	MIGU	CE	CE	CE/DE	572	GR	-6.2	5.0	4040
21	---	C19	18	MIGU	CE	CE	DE	260	CH	-9.2	1.0	4035
22	---	D20	23	KXXX	F	P	P	1890	CH	99.9	1.0	4035
23	---	C21	31	MAMA	CE	CE	CE	875	CH	99.9	0.0	4035
24	---	C22	17	MAMA	P	RC	PA	940	CH	-9.8	0.0	4035
25	---	D23	22	MIGU	P	P	P	9999	MGR	-8.0	10.0	4999
26	---	E1	49	SUEG	CE	CE	CE/DE	940	KY	99.9	9.9	4999

TABLEAU N° 19 : DONNEES RELATIVES AUX PARCELLES DE MIGUEL.

TABLEAU N° 20 : RESULTATS RELATIFS AUX MESURES D'INDICES ACTINOTHERMIQUES MINIMAUX REALISES CHEZ MIGUEL.

RELEVE	N°1	N°2	N°3	MOYENNE
DATE	6/1	24/8	25/8	
NUMERO	° CELSIUS			
R1	-10,5	-8,5	-6	-8,3
C2	-10	-7,5	-7,5	-8,3
C3	-11,5	-8	-6,5	-8,7
C9	-9	-7,5	-6	-7,5
C10	-8,5	-5,5	-5,5	-6,5
C12	-9	-7,5	-8	-8,2
C172	-10	-8	-8	-8,7
C19	-11	-9	-7,5	-9,2
C22	-13,5	-9	-7	-9,8
C18	-8,5	-6	-4	-6,2
D23	-10	-7,5	-6,5	-8,0

NOMP = NOM DE LA PARCELLE , PROP = PROPRIETAIRE (OUI/NON) , CU88=CULTURE EN 88 , CU89 = CULTURE EN 89 , CU90 = CULTURE EN 90 , IIRI = IRRIGATION (OUI/NON) , SURF = SURFACE EN M<sup>2</sup> , REDT = RENDEMENT EN KG DE MATIERE FRAICHE , REDS = RENDEMENT EN KG DE MATIERE SECHE , PROD = PRODUCTION DE LA PARCELLE EN KG DE MATIERE FRAICHE , PROS = PRODUCTION DE LA PARCELLE EN KG DE MATIERE SECHE , TALL = TALLAGE , DENS = NOMBRE DE PIEDS A L'HECTARE , COUL = COULEUR DE LA TIGE (VERT/JAUNE /JAUNE VERT) , EPIA = % DE TIGES AYANT UN EPIS , CSOL = TYPE DE SOL , DIPT = DIFFERENCE TEMPERATURE PARCELLE , TEMPERATURE MAISON EN % DIFFERENCE TEMPERATURES CELESTINO ANTONIO . PENP = PENTE PRINCIPALE EN % . PENB = PENTE SECONDAIRE EN % , ALTI = ALTITUDE .

## F - CONCLUSION DE LA PARTIE II

Que ce soit entre les exploitations d'une communauté ou entre les parcelles d'une même exploitation agricole, il existe d'importantes variations de la température minimale.

Nous avons montré que des variations micro-climatiques même faibles ont conduit cette année à une différence d'environ 30 jours (29 chez Antonio, 30 chez Celestino) de la durée de la période laissée libre de gel pour la pomme de terre, entre les parcelles les plus chaudes et les plus froides.

En conclusion de la partie I, nous avons fait remarquer qu'entre 2 stations du groupe II, la période laissée libre de gel 1 année sur 2 pour la pomme de terre diffère en moyenne d'une vingtaine de jours environ.

Les ordres de grandeur observés sur les écarts de température minimales entre parcelles et entre stations sont donc comparables.

Cette constatation permet de conclure que les données météorologiques d'une station seront difficilement utilisables pour connaître la réalité agroclimatologique d'une communauté, même proche :

- entre 2 exploitations agricoles, les différences de température minimale ne sont pas toujours d'égale importance et de même signe. Il peut exister des réchauffements brusques et inégaux. L'explication de ces phénomènes devra être recherchée à l'échelle des mouvements des masses d'air.

- les différences de températures minimales sont essentiellement fonction de 3 facteurs qui sont : la pente de la parcelle, son orientation et le type de sol. L'importance de ces facteurs varient d'une exploitation à l'autre.

Les paysans semblent posséder une bonne connaissance des caractéristiques de leur exploitation et de leurs sols. Les résultats expérimentaux trouvés concordent bien avec les indications fournies par les agriculteurs.

Cette remarque étant faite, il paraît intéressant de comprendre comment le paysan aymara utilise ces différences micro-climatiques, notamment au niveau de la gestion de son système de culture et de ses pratiques culturelles. Ce sujet fait l'objet de la partie suivante.

PARTIE III

ADAPTATION DES PRATIQUES

PAYSANNES AUX VARIATIONS

MICRO-CLIMATIQUES

On a voulu savoir si les agriculteurs utilisaient les variations micro-climatiques présentes sur leur exploitation, et de quelle manière ? Pour cerner l'importance du facteur gelée au niveau du système de culture, il a fallu de façon générale comprendre le mécanisme de l'agencement de ce système, et pour ce, remonter jusqu'au système de production. Le système de culture ne pouvant être compris sans avoir étudié au moins sommairement le système d'élevage.

Cette étude a été réalisée principalement à l'aide d'enquêtes et surtout grâce aux cartes de cultures, qui nous ont permis de connaître l'importance de chaque production et sa localisation. Avant de commencer la présentation des différentes productions, il faut signaler l'importance de l'établissement de ces cartes. Les agriculteurs ont en effet une assez mauvaise notion de la surface, 1 hectare pour eux, représente à peine un 1/2 hectare.

Leur définition de l'hectare est en fait la suivante : "surface de terrain que l'on peut retourner en une bonne journée de travail avec une yunta\*"

#### I - Quelle production, pour qui ?

On trouve à Antarani 6 productions : la pomme de terre, l'orge, la quinoa, le blé, l'avoine et la oca. Les 2 premières sont les principales.

##### A - La pomme de terre

Elle est cultivée principalement pour l'alimentation de la famille. Il s'agit de pommes de terre douces et amères. Ces dernières, pour être consommées, doivent être transformées en chuno ou tunta. Les surplus de pomme de terre, chuno et tunta peuvent être conservés pour les années de moindre récolte ou vendus.

La pomme de terre est en tête de rotation. La plantation est étalée dans le temps. Les plants sont récupérés de l'année précédente. Ils sont choisis pour leur état sanitaire et leur taille.

La pomme de terre sera buttée 2 fois, Le premier buttage recentre la pomme de terre au milieu de la butte, le deuxième consiste à réaliser une butte haute qui protège les stolons de la lumière.

Cette culture est la plus exigeante et demande un grand nombre d'heures de travail.

B - L'orge

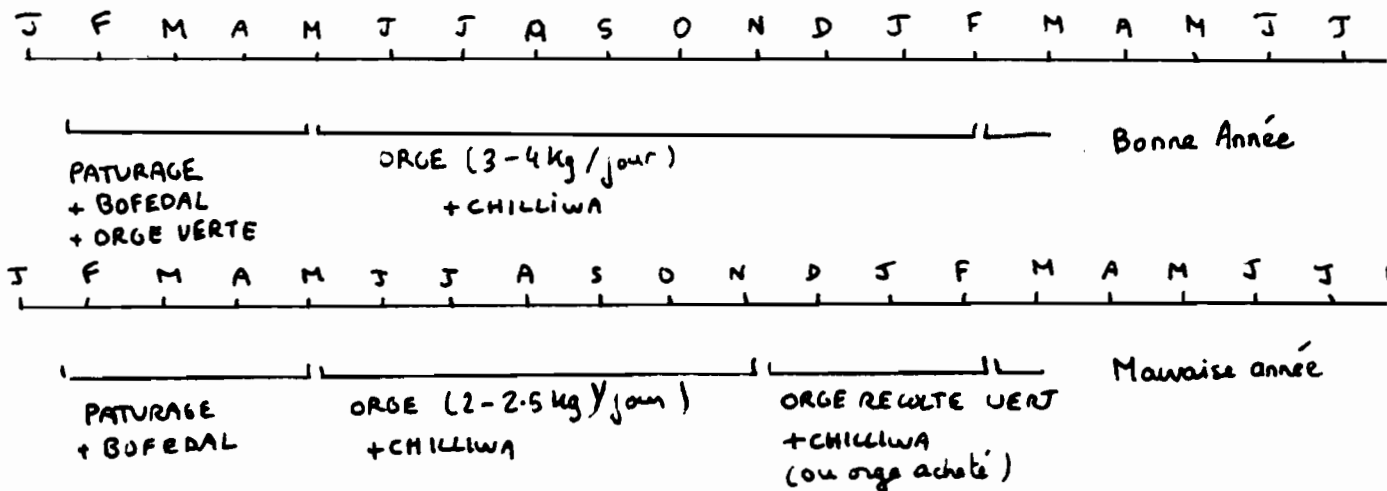
Cette culture est la plus importante en surface à Antarani. L'orge sert presque exclusivement à l'alimentation de bovins pendant la période où les pâturages sont insuffisants. L'orge est semé quand arrivent les premières pluies. L'importance de cette culture est en relation étroite avec celle du troupeau de bovins.

Quand on examine les bilans économiques de Celestino, Antonio et Miguel (voir les annexes n° 2) on peut remarquer que, excepté les salaires extérieurs et les aides, la vente de bovins représente la principale rentrée d'argent. De plus, les bovins font en quelque sorte office de compte en banque. Quand un paysan a de l'argent, il le place dans l'achat d'un bovin qu'il pourra ensuite revendre.

On soulignera également le rôle des taureaux. Chaque paysan doit posséder au moins 2 mâles pour effectuer les labours. Qui n'en possède pas, ne peut retourner sa terre.

Les bovins pèsent aux alentours de 350 kg.

Les bovins sont donc extrêmement importants, et leur alimentation demeure une préoccupation pour l'agriculteur. Si l'on regarde le planning fourrager ci-dessous, on remarque l'importance de l'orge qui permet de faire la soudure. Le paysan sera donc toujours très attentif à la réussite de cette culture.



On note l'importance des pâturages de chilliwa\* qui sont les plus riches. Ceux-ci sont presque exclusivement destinés à l'alimentation des bovins.

On cultive parfois de l'orge grain pour l'alimentation de la volaille, lorsque la longueur de la période de culture le permet.

#### C - La quinoa

La quinoa est cultivée sur de petites surfaces. Son principal but est de nourrir la famille (soupes,...) et les volailles. Cette culture ne réussit pas toutes les années.

#### D - Le blé

Le blé, s'il monte en grain, est utilisé pour la réalisation de pito\* (blé grillé, moulu) mangé au petit déjeuner. S'il n'y a pas de formation de grain, il sert de fourrage.

#### E - L'avoine

L'avoine sert à l'alimentation du bétail et représente un complément de l'orge fort apprécié.

#### F - La oca

Tubercule cultivée pour l'alimentation humaine. On en trouve de très petites surfaces.

#### G - Les pâturages

Tout ce qui n'est pas cultivé ou qui n'est pas de la chilliwa\* correspond à des pâturages relativement pauvres, qui sont consommés par les bovins et les lamas. Ceux-ci servent surtout à l'alimentation en viande de la famille. Par exemple, chez Celestino, en moyenne 2 moutons sont tués par mois et 1 lama par an. Les moutons sont rarement vendus mais leur laine est commercialisée (60 centavos\*/livre).

Voyons quelle est la surface disponible pour ces cultures.

## II - La surface cultivée

### A - Surface cultivée / surface totale

On touche là un problème important. En effet, une grande partie des terres des paysans n'est pas cultivable pour différentes raisons.

- les parties situées dans les montagnes (cerros) sont trop pentues et caillouteuses pour être travaillées.
- des zones situées en contrebas sont soumises à des remontées de sel.
- les zones érodées et les canyons sont incultes.
- la chilliwa\* est trop précieuse pour l'alimentation du bétail et n'est jamais retournée pour installer une culture.

Pour chaque paysan, nous avons indiqué la répartition des terres cultivables et non cultivables (figures n° 45, 46, 47).

La situation est différente d'une exploitation à l'autre. Chez Miguel, 72 % des terres sont cultivables soit 13,5 ha sur 21. Alors que chez Antonio, seulement 38 % le sont, soit 9,5 ha sur 25 ha. Seul Celestino possède des terres salées.

Cette surface cultivable est d'autre part extrêmement hétérogène.

#### B - Hétérogénéité de la surface cultivable

L'hétérogénéité se situe surtout au niveau des sols et des situations topographiques.

On a déjà montré cette hétérogénéité au niveau des gelées. On peut maintenant la montrer au niveau de la disponibilité en eau. A Antarani, le 22/02/89, les profils hydriques de 3 types de sols de Celestino ont été dressés. On remarque aisément les différences existant entre eux (figures n° 48, 49, 50).

Cette différence se traduit par une hétérogénéité des rendements. A titre d'exemple, on a étudié ceux de l'orge en matière sèche. Chez Celestino, ceux-ci s'étalent de 440 kg/ha à 10.480 kg/ha, soit un rapport de plus de 1 à 20 ! Chez Antonio, ils vont de 950 à 3.390 kg/ha.

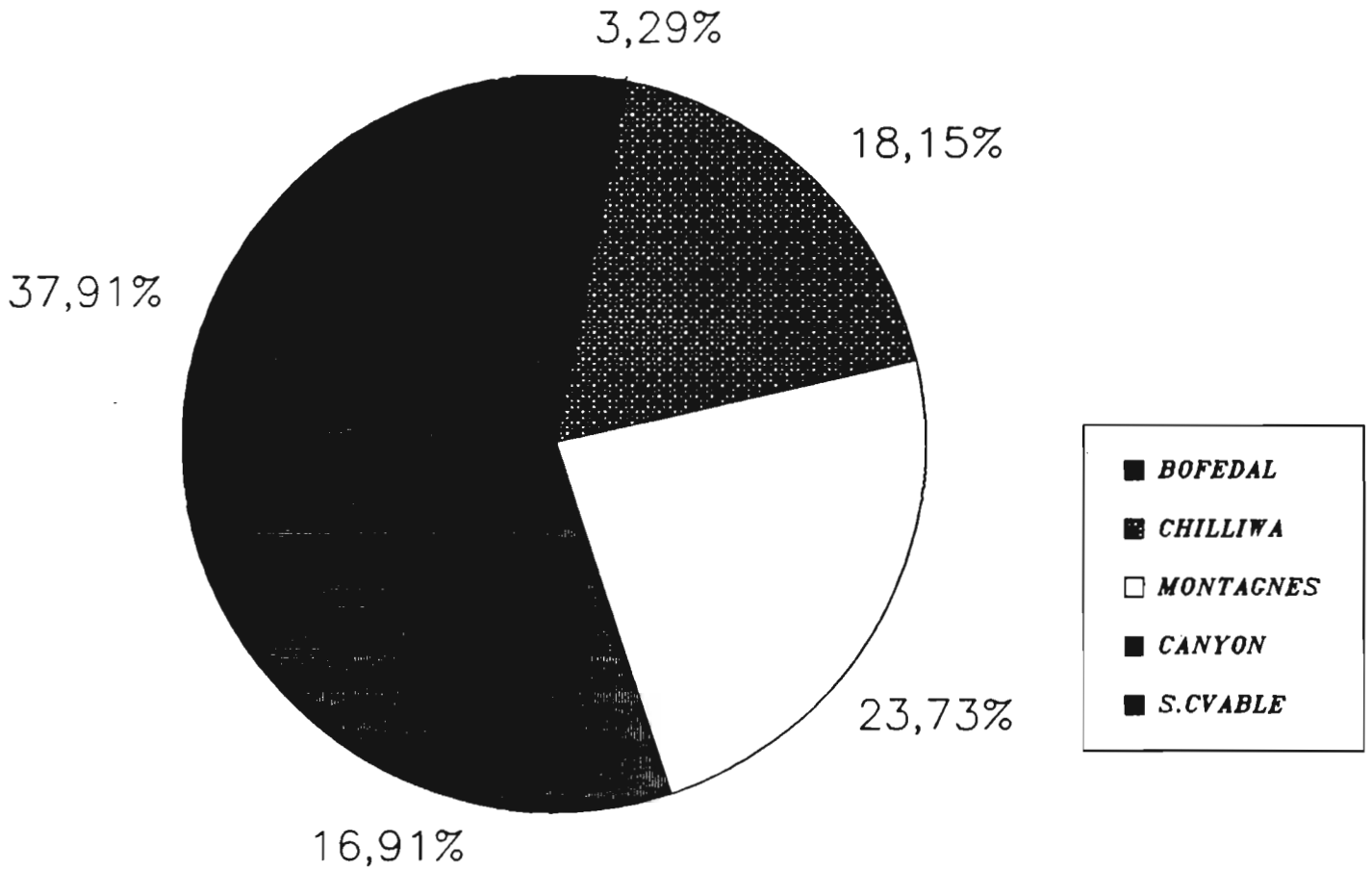
Le tallage semble être un facteur déterminant du rendement (figure n° 50bis). La corrélation entre le rendement et le tallage est de 0,92, ce qui permet de penser qu'il y a des problèmes d'alimentation en eau sur certains sols.

Les situations topographiques sont connues et utilisées au mieux. Ainsi, chez Celestino, on trouve à l'ouest des collines supérieures, une bande de terre cultivable. A ce niveau, il utilise une sorte d'impluvium.

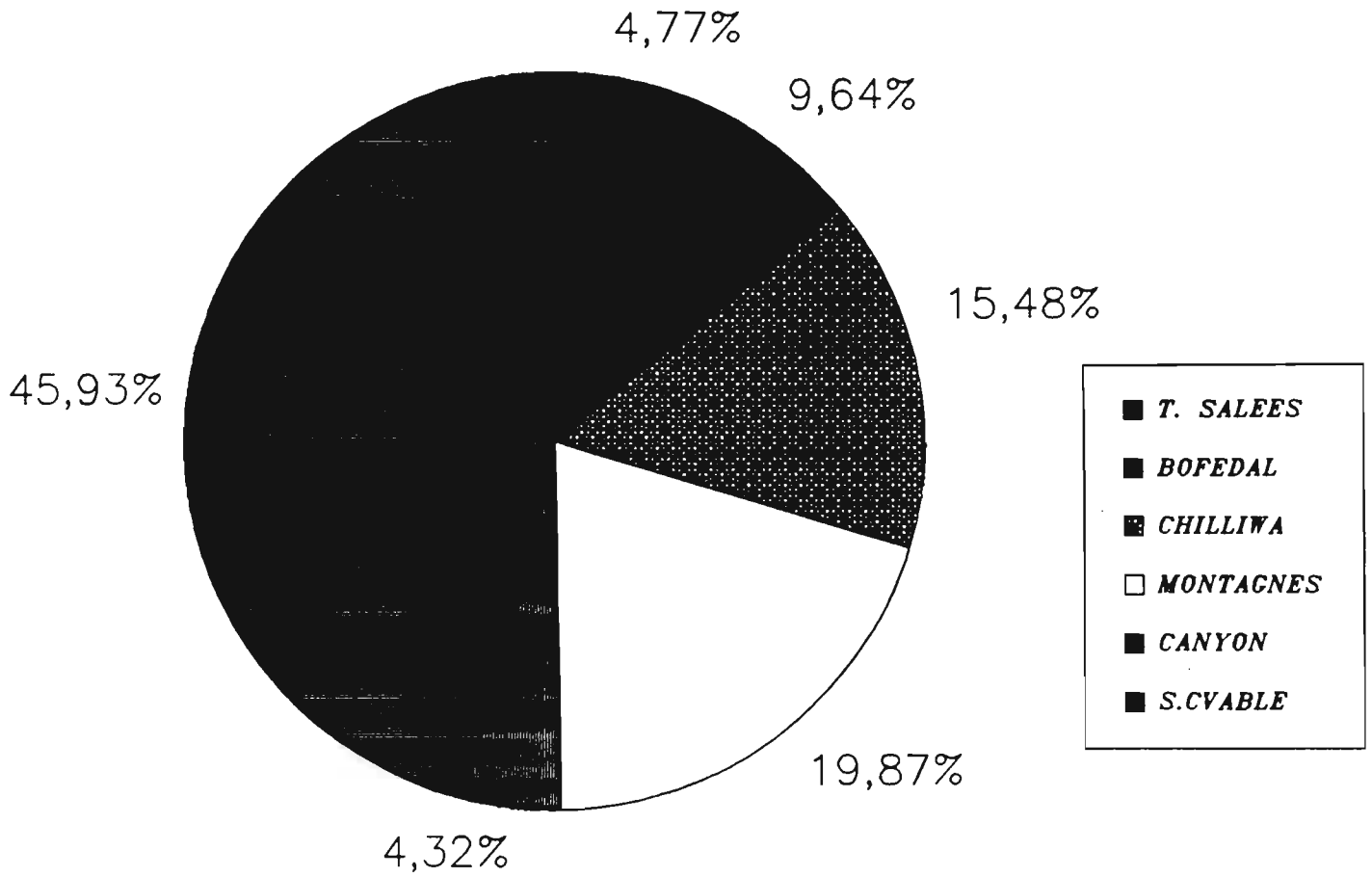


FIGURE N° 45 : UTILISATION DE LA SURFACE TOTALE DE ANTONIO.

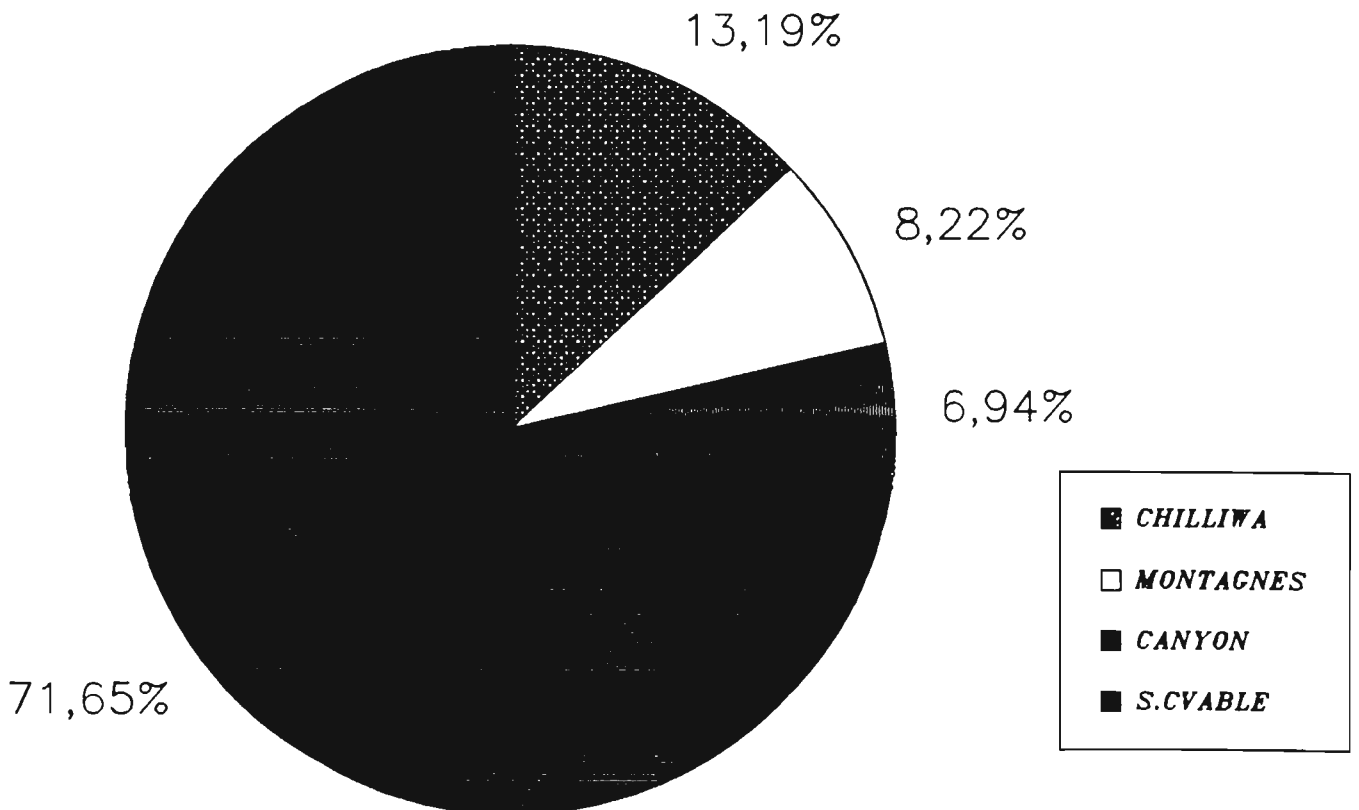
UTILISATION DE LA SURFACE TOTALE DE ANTONIO



UTILISATION DE LA SURFACE TOTALE DE CELESTINO

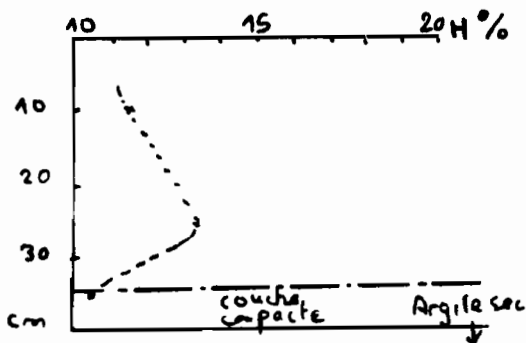


UTILISATION DE LA SURFACE TOTALE DE MIGUEL



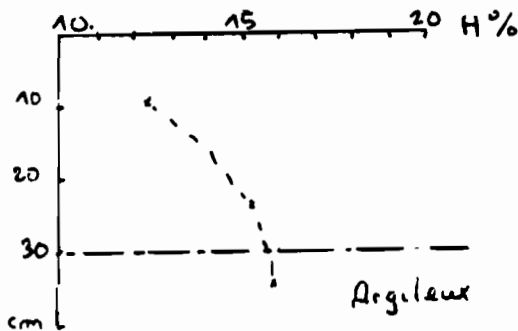
K'ARPA      ARCILLOSO

PROFONDEUR cm	POIDS HUMIDE	POIDS SEC	HUMIDITE %
0-20	136,6	124,8	11,4
20-30	83	75,75	13,4
30-40	85,4	79,5	10,2



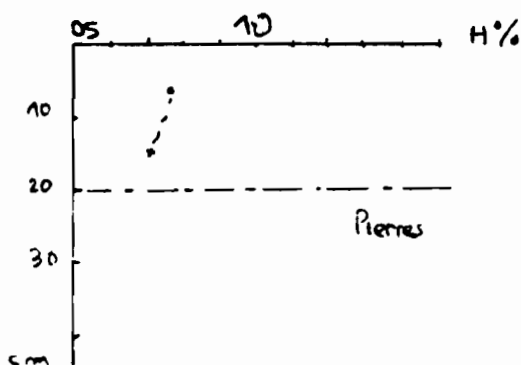
ARENOSO      CHURO

PROFONDEUR cm	POIDS HUMIDE	POIDS SEC	HUMIDITE %
0-20	85,9	78,8	12,4
20-30	114,3	102,2	15
30-40	121,3	107,95	15,4



J'ARWE      LINDERO

PROFONDEUR cm	POIDS HUMIDE	POIDS SEC	HUMIDITE %
0-10	84,8	80,35	7,6
10-20	76,3	73,1	6,2



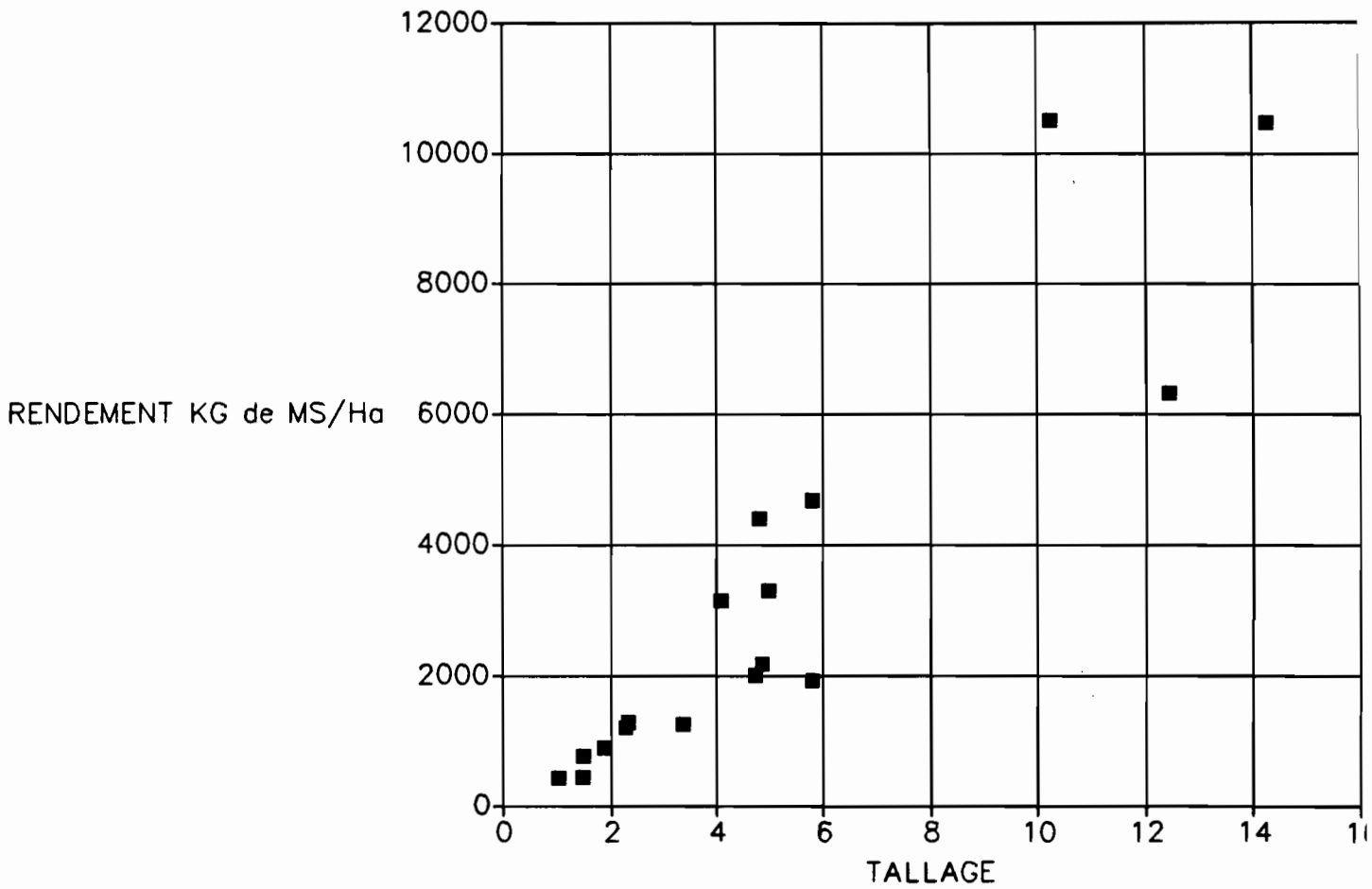


FIGURE N° 50 BIS : RENDEMENTS EN MATIERE SECHE ET TALLAGE DES PIEDS D'ORGE CHEZ CELESTINO.

Seule cette zone de la montagne est cultivée. C'est la seule qui peut bénéficier de suffisamment d'eau. L'eau ruisselle jusqu'à la parcelle cultivée, les rendements sont d'ailleurs plus importants dans le fond de l'impluvium.

Voyons maintenant comment est utilisée cette surface cultivable.

### III - La surface cultivée

#### A - Le rythme 3/13

En théorie, les paysans tiennent à respecter le rythme suivant 3 années de culture, 10 années de repos.

La rotation typique est :

- 1ère année Pomme de terre
- 2ème année Quinoa ou blé ou orge
- 3ème année Orge

et ensuite 10 ans de jachère. D'après les paysans, cette jachère sert surtout à éviter les problèmes sanitaires (tel celui du Cusano\*, ver blanc qui attaque les pommes de terre) et à reconstituer la fertilité. Exceptionnellement, la rotation peut ne pas être respectée. Miguel qui manquait de beaucoup d'orge l'année dernière a planté directement la parcelle C13 en orge. Nous avons essayé de voir dans quelle mesure cette proportion 3/13 était respectée.

#### B - Surface cultivée

##### B.1 - Chez Celestino

A l'aide du parcellaire réalisé, on a pu connaître la surface cultivée, l'année précédente (87/88) cette année (88/89) et ce qui sera mis en culture l'année prochaine (89/90). On trouve ci-après carte et tableau (les graphiques sont en annexe n° 3).

On remarque que l'année qui vient de s'écouler fut exceptionnelle du fait d'un retard des pluies. Celles-ci arrivent généralement en octobre mais cette année, elles ne sont tombées que fin décembre. Les semis ont donc été très tardifs. D'un autre côté, la saison des pluies a été plus longue que d'habitude (figure n° 51). Les récoltes n'ont donc pas été aussi catastrophiques qu'on aurait pu le penser. Pour Celestino, les rendements d'orge ont même été supérieurs à la moyenne.

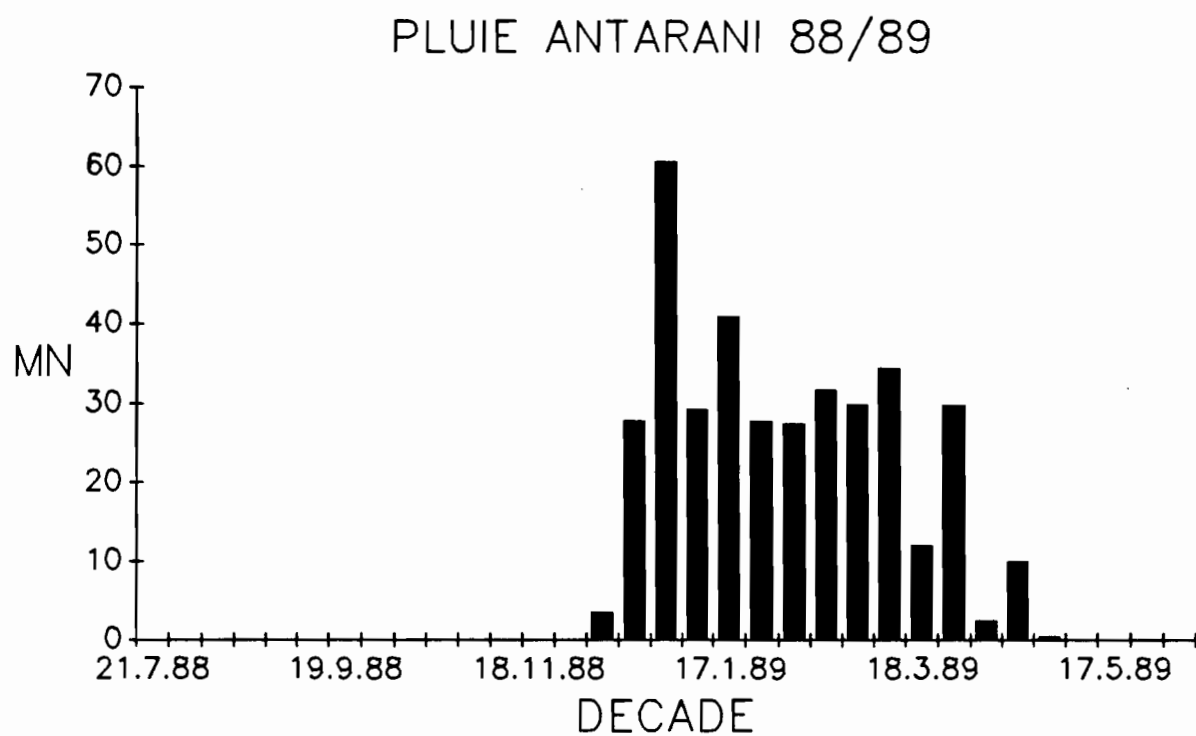
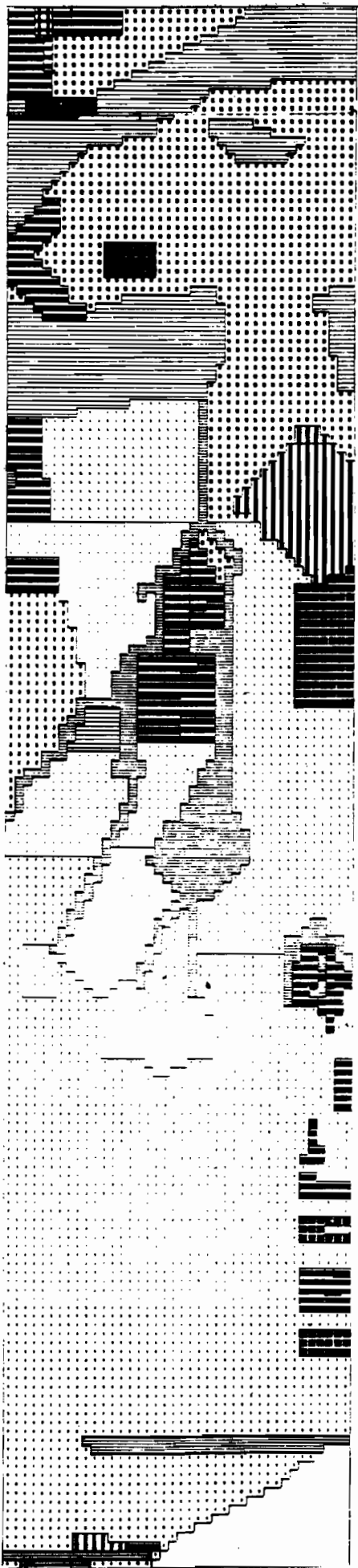


FIGURE N° 51 : PLUIES DE LA SAISON AGRICOLE 88/89 A ANTARANI.

FIGURE N° 52 : PARCELLAIRE 88/89 DE CELESTINO.



LEGENDE

- CARRAS/ORG
- AVOBLE/ORG
- ORGE
- PDT
- LABOUR
- BOPEDAL
- PATURE1
- PATURE2
- PATURE3
- PATURE4
- CHILLINA
- MAISON
- CAMPON
- LAC
- AVOINE
- ORGEGRAIN
- OCA
- PAJARRAVA
- EXTERIEUR

1 carré = 25 m<sup>2</sup>

CELESTINO	M <sup>2</sup>	SAISON 87/88	SAISON 88/89	SAISON 89/90
SURFACE TOTALE	173175			
SURFACE NON CULTIVABLE				
TERRES SALEES	25800			
BOFEDAL	17525			
CHILLIWA NS	11025			
CHILLIWA S	17125			
MONTAGNES	36125			
CANYON	7850			
SURFACE CULTIVABLE	83525			
SURFACE EXTERIEURE		700	1070	1070
SURFACE PATURAGE PAUVRE (P1-P5)		109148	108115	106888
SURFACE PATURAGE RICHE (P0-P10-P100)	45675			
SURFACE P.D.T		2814	3914	3551
SURFACE ORGE		8429	9940	10965
SURFACE BLE		1279	0	0
SURFACE ORGE GRAIN		0	300	0
SURFACE OCA		0	200	0
SURFACE AVOINE		615	732	1846
SURFACE LABOUREE		3914	3551	3600
SURFACE QUINOA		1279	0	0
TOTAL S. CULTIVEE		14416	15086	16362
S. CVABLE/S. TOT %		48,2	48,2	48,2
S. CULTIVEE/S. TOT %		8,3	8,7	9,4
S. CVEE/S. CVABLE %		17,3	18,1	19,6
PATURAGES/S. TOT %		89,4	88,8	88,1

Si l'on prend la surface cultivée de la saison 89/90, le quotient Surface cultivée/Surface cultivable est égal à 18,1 %. Il est donc inférieur au rapport 3/13 (23,3 %). Celestino, s'il suit sa logique, peut donc encore augmenter sa surface cultivée de 4.500 m<sup>2</sup> environ. C'est ce qu'il pense faire les prochaines années car il veut agrandir son troupeau de bovins (les surfaces d'orge et d'avoine augmentent d'ailleurs depuis 3 ans).

Les trois seules surfaces qui sont restées à peu près constantes sont celles de la pomme de terre, d'orge et la surface labourée chaque année. Les autres surfaces sont très variables, nous l'expliquerons dans la partie IV.

La surface cultivée a augmenté en 3 ans, alors que la surface labourée n'a pas changé : la surface cultivée augmente du fait que certaines parcelles sont mises en culture 4 années au lieu des 3 "traditionnelles". Nous verrons dans la partie IV les raisons qui conduisent à cultiver les terres 4 années de suite.

### B.2 - Chez Antonio

On a pris en considération les terres cultivées par lui et son père, car ils les travaillent ensemble, 1 sillon sur 2 revenant à Antonio.

La surface cultivée par ce dernier augmente rapidement. Comme il l'explique, ses enfants grandissent et les besoins augmentent. Depuis cette année, le rapport Surface cultivée/Surface cultivable a dépassé le rapport 3/13 ce qui fait que les 10 ans de jachère ne seront plus respectées. Pour agrandir rapidement sa surface cultivée, Antonio augmente la surface labourée, mais surtout cultive ses parcelles plus de 3 ans, comme les parcelles mises en blé cette année ou la parcelle B11 cultivée depuis 8 ans !

Antonio possède d'excellents pâturages de chilliwa\* (Chilliwa 2) qui sont sous-exploités vu son faible nombre de bovins. Son père et lui louent 10 ha de pâturages pauvres à leur cousin, curé qui est parti du village. Ils utilisent également les pâturages communaux (très pauvres) situés au-dessus de son exploitation. Il est vrai que l'important troupeau de moutons et lamas des parents demande une grande surface de pâturages "pauvres".

Antonio cultive régulièrement du blé (pour le pito\*) et de la quinoa.

### B.3 - Chez Miguel

Il faut, à l'inverse de chez Antonio, regarder indépendamment les surfaces cultivées par Miguel et celles cultivées par sa mère, car chacun cultive pour son propre compte en fonction de ses besoins. On ne s'intéressera qu'au cas de Miguel en ce qui concerne l'agencement du système de culture.

FIGURE N° 53 : PARCELLAIRE 88/89 DE ANTONIO.















LEGENDE

- EXTERIEUR
- ▨ PATURE1
- ▩ PATURE2
- ▧ PATURE3
- ▦ PATURE4
- ▤ BOPEDAL
- ▣ CHILLIWA1
- ▢ CHILLIWA2
- CANYON
- MAISON
- ▟ LABOUR
- ▞ ORGE
- ▝ BLE
- ▜ ORGEGRAIN
- ▛ QUINOA
- ▚ PDT

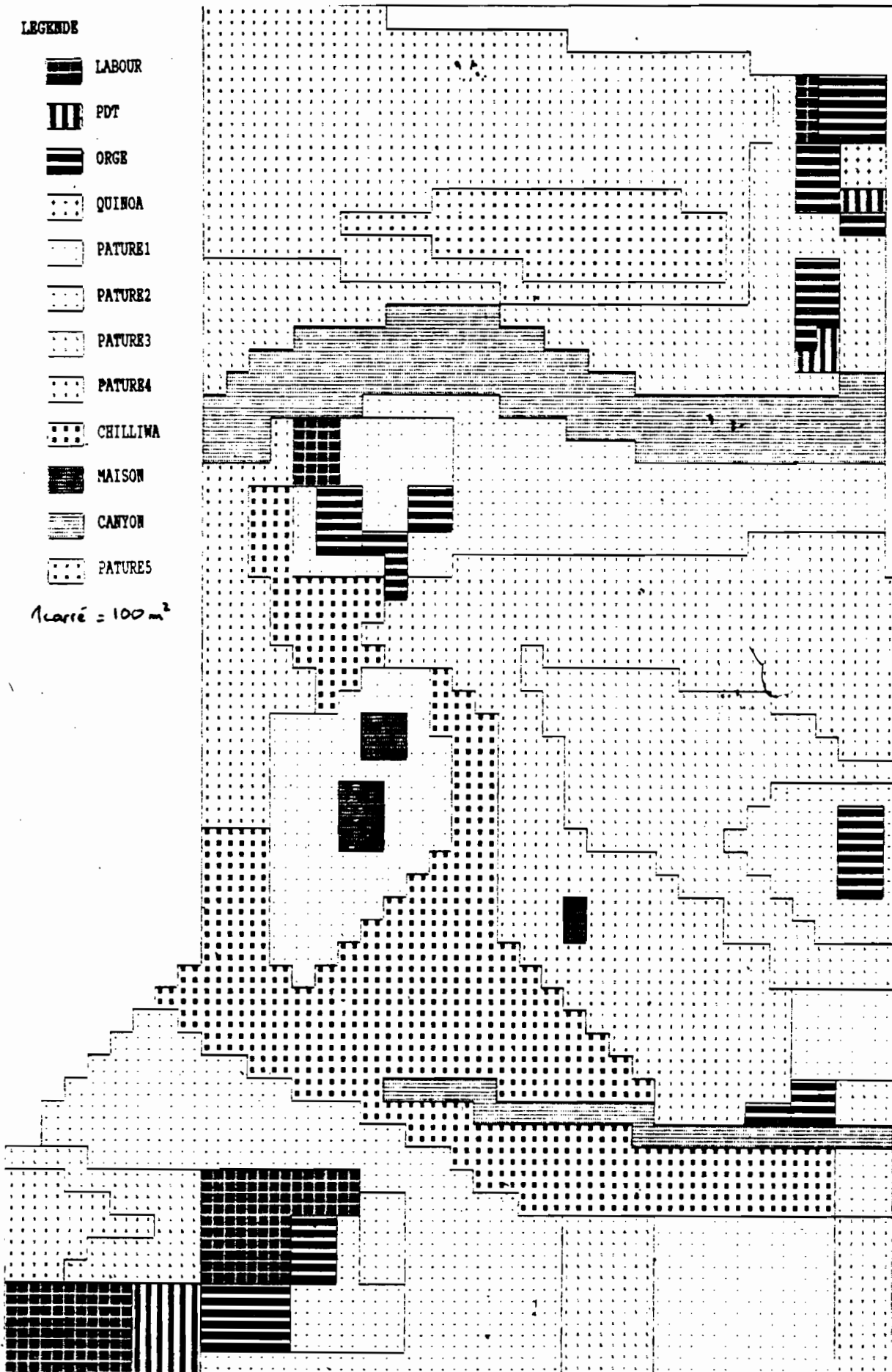
1 carre = 100 m<sup>2</sup>

ANTONIO	M <sup>2</sup>	SAISON 87/88	SAISON 88/89	SAISON 89/90
SURFACE TOTALE	249000			
SURFACE NON CULTIVABLE				
TERRES SALEES	0			
BOFEDAL	8200			
CHILLIWA	45200			
MONTAGNES	59100			
CANYON	42100			
SURFACE CULTIVABLE	94400			
SURFACE EXTERIEURE PATURAGES	100000			
SURFACE PATURAGE PAUVRE (P1-P5)		135010	127878	126256
SURFACE PATURAGE RICHE(PO-P10-P100)	53400			
SURFACE P.D.T		2400	7132	6012
SURFACE ORGE		11320	11320	17041
SURFACE BLE		4485	4485	2603
SURFACE ORGE GRAIN		0	285	0
SURFACE OKA		0	0	0
SURFACE QUINUA		285	2400	1588
SURFACE AVOINE		0	0	0
SURFACE LABOUREE		7132	6012	8000
TOTAL S. CULTIVEE		18490	25622	27244
S. CVABLE/S. TOT %		37,9	37,9	37,9
S. CULTIVEE/S. TOT %		7,4	10,3	10,9
S. CVEE/S. CVABLE %		19,6	27,1	28,9
PATURAGES/S. TOT %		54,2	51,4	50,7

LEGENDE

-  LABOUR
-  PDT
-  ORGE
-  QUINOA
-  PATURE1
-  PATURE2
-  PATURE3
-  PATURE4
-  CHILLWA
-  MAISON
-  CANYON
-  PATURE5

1 carré = 100 m<sup>2</sup>



## TAB N° 23 UTILISATION DE LA SURFACE DE MIGUEL

MIGUEL	M <sup>2</sup>	SAISON 87/88	SAISON 88/89	SAISON 89/90	
SURFACE TOTALE	187300				PLUVIELK N.PLUVIELK
SURFACE NON CULTIVABLE					
TERRES SALÉES	0				
BOFEDAL	0				
CHILLIWA	24700				
MONIAGNES	15400				
CANYON	13000				
SURFACE CULTIVABLE	134200				
SURFACE EXTERIEURE	600				
SURFACE PAIURAGE PAUMRE (P1-P5)		142636	140386	137825	140340
SURFACE PAIURAGE RICHE(FO-P10-P100)	24700				
SURFACE P.D.T MA		686	464	2724	2724
SURFACE P.D.T MI		1086	1520	1518	1518
SURFACE P.D.T TOT		1772	1984	4242	4242
SURFACE ORGE MA		875	1966	1441	1441
SURFACE ORGE MI		2005	4786	4476	1961
SURFACE ORGE TOT		2880	6752	5917	3402
SURFACE BLE MA		450	95	0	0
SURFACE BLE MI		1028	0	0	1152
SURFACE BLE TOT		1478	95	0	1152
SURFACE QUI MA		50	0	464	464
SURFACE QUI MI		164	383	1152	0
SURFACE QUI TOT		214	383	1616	464
SURFACE AVO MA		0	0	0	0
SURFACE AVO MI		620	0	0	0
SURFACE AVO TOT		620	0	0	0
TOT S. CULT MA		2061	2525	4629	4629
TOT S. CULT MI		4903	6689	7146	4631
TOT S. CULT		6964	9214	11775	9260
S. LABOUREE MA		464	2724	1350	1350
S. LABOUREE MI		1520	1518	2280	2280
S. LABOUREE TOT		1984	4242	3630	3630
S.CVABLE/S.TOT %		71,6	71,6	71,6	71,6
S.CULTIVEE/S.TOT %		3,7	4,9	6,3	4,9
S.CVEE/S.CVABLE %		5,2	6,9	8,8	6,9
PAIURAGES/S.TOT %		89,3	88,1	86,8	88,1

On remarquera que Miguel et sa mère exploitent très peu leurs terrains. En effet, 5 % de la surface cultivable est cultivée. 18 % de plus pourraient l'être. De ce fait, la durée de jachère est beaucoup plus grande (jusqu'à 15 ans).

Dans ce cas, on peut remarquer que c'est le peu de personnes vivant sur une exploitation qui conduit à cette faible utilisation des terres cultivables. Cependant comme chez Antonio et Celestino, la surface cultivée augmente chaque année.

On remarque donc que pour les 3 paysans étudiés, la situation est différente. Si Antonio utilise toute sa surface cultivable, Miguel peut se permettre de multiplier par 4 ses surfaces cultivées.

Pour Celestino et Antonio, on pourra considérer que toutes les terres cultivables seront un jour cultivées, et que leur marge de manœuvre est faible. Si Miguel, vu l'importance de la surface disponible, peut choisir l'emplacement de chacune de ses cultures, Antonio et Celestino, compte tenu de la rotation classique, sont pratiquement contraint de cultiver chaque production sur tous les types de sols, que celui-ci soit favorable ou non. La faible disponibilité en terre limite la décision et contraint d'une certaine façon le paysan à "subir sa rotation".

#### C - Utilisation de la surface non cultivée

La surface non cultivée est utilisée comme pâturages. La chilliwa\* est presque exclusivement réservée aux bovins. Le reste des pâturages est assez pauvre, constitué de paja brava\*, de tola\* et d'autres arbustes.

Sur la carte, les pâturages de Chilliwa sont appelés chilliwa 1 ou chilliwa 2 en fonction de leur densité. De même, les pâturages pauvres sont classés de 1 à 5.

C'est la surface des pâturages pauvres qui limite le nombre de lamas et d'ovins. Celestino considère qu'il ne peut en avoir plus. Il possède 60 moutons et 3 lamas (1 lama = 3 unités ovines) ce qui correspond à 69 unités ovines. Avec un peu moins de 11 ha de pâturages pauvres, cela correspond à une charge à l'hectare de 6,3 unités ovines/ha. Cette valeur est très largement supérieure à la norme que l'on trouve dans la littérature (maximum = 1,14 ovines/ha - BORLUET-SEMTA, 1987).

Ce surpâturage expliquerait les problèmes d'érosion que rencontre actuellement Celestino. Alors qu'il y a 15 ans, il n'y avait pratiquement pas de problèmes, actuellement, 3/4 d'hectare sont complètement érodés. On trouve des canyons de 5 m dans la propriété. Ce problème inquiète Celestino qui ne sait pas comment y remédier. Il essaye, tant bien que mal d'orienter au mieux les sillons pour éviter au maximum le ruissellement.

Ce surpâturage remet également en question la reconstitution de la fertilité de la jachère.

Antonio et surtout Miguel sont moins concernés actuellement par ce problème de surpâturage. Mais ils pourraient l'être vu leur désir d'augmenter leur troupeau. Les grandes surfaces rangées dans la catégorie canyons correspondent aux lits des rivières qui passent sur leur propriété plutôt qu'à des zones érodées.

#### IV - Utilisation de la surface cultivée

Dans cette partie, nous allons essayer de montrer comment les paysans utilisent leur surface cultivée, quelles sont les surfaces affectées à chaque culture et pourquoi. Nous verrons ensuite quelle est l'influence du facteur gelée dans cette organisation.

##### A - Le premier niveau de décision

Il y a deux productions qui sont toujours présentes, la pomme de terre et l'orge.

##### A.1 - La surface de pomme de terre

La surface de pomme de terre à planter est calculée directement en fonction du nombre de bouches à nourrir.

La pomme de terre étant tête de rotation, la surface à planter est donc décidée l'année précédente, au moment du labour.

La surface peut être réduite en fonction du régime alimentaire. Proportionnellement, Celestino cultive beaucoup moins de pomme de terre qu'Antonio, mais il achète beaucoup plus de féculents (pâtes, riz) que ce dernier.

La surface de pomme de terre à planter peut également être augmentée en fonction d'un désir de vendre du chuno\* ou de la tunta\*.

La surface est calculée sur la récolte moyenne que l'on peut escompter.

Il reste ensuite à répartir les diverses variétés sur les différentes situations culturales retournées et à choisir la pratique culturale. Nous aborderons ce problème très intéressant dans la partie B2 relative aux gelées.

##### A.2 - La surface d'orge

Cette surface à semer est directement liée au nombre de bovins. Les paysans estiment ce qui va être nécessaire pour nourrir les bovins, durant les 4 - 5 mois de la période de soudure. Cette surface est calculée "au plus juste". Aucun des 3 agriculteurs étudiés ne cherche à produire plus pour vendre. Si au vu de la récolte, le paysan pense qu'il va

manquer de fourrages, différentes techniques peuvent être utilisées, outre l'achat d'orge qui est alors très cher. Ces techniques consistent principalement quand cela est possible à irriguer des pâturages ( cf. partie C3).

L'orge pourra pratiquement être semé sur tous les sols et situations topographiques. Le semis sur sol j'arwe est cependant évité, la production étant mauvaise sur ce type de sol.

Le paysan pourra plus ou moins estimer sa production grâce à une classification des sols pour l'orge. Les classifications sont les suivantes :

CELESTINO	ANTONIO	MIGUEL	
K'ARPA	J'APO FINO	CH'ALLA	SOL LE PLUS FAVORABLE
CH'ALLA	J'APO	K'ARPA	
J'APO	K'ARPA		
M.J'ARWE	NIEK'E		
(J'ARWE)	M.J'ARWE	LES AUTRES	
	J'ARWE		
	KALANE		SOL LE MOINS FAVORABLE

#### B - Surface affectée aux autres cultures

Toutes les autres productions, blé, orge grain, quinoa, oca, et avoine ne sont pas présentes tous les ans. Leur culture est plus délicate et ces productions ne sont pas indispensables. Ce sont la disponibilité de tel ou tel type de sol et les conditions climatiques qui décident de ces productions.

##### B.1 - La quinoa

La surface plantée de quinoa est fonction des type de sols ainsi que des situations topographiques disponibles du fait de la rotation (la quinoa est plantée après la pomme de terre), mais surtout des conditions pluviométriques.

Les conditions pluviométriques : C'est le principal facteur qui détermine la surface de quinoa semée. Si la pluie n'arrive pas assez rapidement (ce fut le cas cette année), les parcelles qui étaient prévues en quinoa ne seront pas semées. Par contre le paysan pourra semer de l'orge en solution de remplacement. Miguel cette année avait prévu de mettre de la quinoa sur sa parcelle C171, la pluie n'arrivant pas, il a mis de l'orge.

Conditions de sols et de topographie : On a demandé aux 3 paysans quels étaient les meilleurs sols pour la quinoa et les meilleurs sols en général quand il y a beaucoup de pluie. Les résultat sont les suivants :

		1	2	3	4	5
MEILLEUR SOL POUR LA QUINOA	CELESTINO	KA	NI	MJW	JW	JA
MEILLEUR SOL QUAND IL PLEUT		KA	MJW	JW	JA	
MEILLEUR SOL POUR LA QUINOA	MIGUEL	CH	KA	JW		
MEILLEUR SOL QUAND IL PLEUT		KA	JW	CH	GR	
MEILLEUR SOL POUR LA QUINOA	ANTONIO	MJW	KA	CH	JA	
MEILLEUR SOL QUAND IL PLEUT		KA	JW	MJW	NI	JAF

Il existe un parallélisme entre ces 2 classifications qui permet de penser que les meilleurs sols pour la quinoa sont ceux qui permettent les meilleurs rendements quand il y a beaucoup de pluie.

Il y a donc une certaine logique à ne pas semer quand il ne pleut pas. En effet, si les sols prévus pour la quinoa sont les meilleurs quand il pleut beaucoup, ils sont les moins bon quand il pleut peu (cf. annexe n° 4). Il n'y a donc aucun intérêt à semer si les pluies sont insuffisantes.

De même, les paysans ne sèmeront pas dans un sol défavorable. Celestino ne plante jamais de quinoa en dessous du niveau où est située la parcelle J5. En effet, dans cette zone, les types de sols rencontrés ne conviennent pas.

### B.2 - L'avoine

L'avoine demande des sols humides. Elle est plantée seulement si la rotation libère ces sols. Par exemple, Celestino ne peut en planter qu'en bas de sa propriété (situations parcellaires au niveau des parcelles K1x).

### B.3 - Orge grain. Blé

Pour réussir de l'orge grain ou du blé, il faut que le cycle de la plante soit assez long pour permettre la formation des grains avant les premières gelées. Il faut donc :

- Soit cultiver les parcelles les plus chaudes : Celestino par exemple a mis cette année en orge grain la parcelle A2 située tout en haut de son exploitation. D'après lui, cette parcelle est la moins froide (cela n'a pu être vérifié. cf. Partie II).

- Soit irriguer la parcelle, pour permettre un semis plus précoce et rallonger le cycle de culture. C'est ce que réalise Antonio sur les parcelles C15 et C19.

- Le blé assez exigeant en eau est souvent planté avec la quinoa.

## C - Les pratiques culturales

Les surfaces de chaque culture ayant été établies, le paysan va, pour chaque sol et chaque situation topographique, adapter ses pratiques culturales en fonction des conditions climatiques. Nous donnerons quelques exemples.

### C.1 - Pratiques culturales et gelées

C'est surtout pour la pomme de terre que l'on trouve différentes pratiques culturales.

#### C.11 - Répartition des pommes de terre amères et douces

Les 2 types de pommes de terre ne sont pas plantés sur les mêmes sols. La pomme de terre "douce" plus sensible au froid est toujours semée sur les sols les plus chauds.

Celestino par exemple ne la plante que sur sols J'arwe, Medio J'arwe et K'arpa. Il ne met jamais de pommes de terre amères sur les sols J'arwe et Medio J'arwe qui sont réservés aux pommes de terre douces. Les amères seront préférentiellement placées sur les sols K'arpa, Ch'alla et Niek'e.

Celestino possédant peu de sols J'arwe, si une année, il n'en a pas assez, il est obligé d'aller louer des parcelles de sols J'arwe chez son voisin. Pour l'année 89/90 par exemple, il va aller cultiver une partie de ses pommes de terre douces chez Miguel qui possède beaucoup de j'arwe.

Miguel procède de la même manière. Il place ses pommes de terre douces et amères en fonction du type de sol. La parcelle C11 par exemple, est un composite de 2 types de sols : J'arwe et Ch'alla. Les pommes de terre douces sont placées sur le J'arwe, les amères sur le Ch'alla.

Les parcelles les plus chaudes (ex : C10) ne sontensemencées qu'en pommes de terre douces.

#### C.12 - Date de semis

Les différentes parcelles ne vont pas être semées au même moment. La connaissance des risques de gelées inhérents à chaque situation, va permettre d'organiser le semis.

Les 3 paysans sèment toujours en premier les variétés douces et en second les variétés amères. Les sols les moins sensibles étant semés en premier.

Antonio par exemple sème dans l'ordre suivant :

1	Kalani	semé en para monda*
2	J'arwe	semé en pomme de terre douce
3	K'arpa	semé en pomme de terre amère
4	J'apo fino	" "

soit exactement dans l'ordre de sensibilité des sols aux gelées.

Celestino sème dans l'ordre JW, MJW, puis KARPA qui est moins humide et CHK et JA plus humide.

La connaissance des risques de gelées relatifs à chaque parcelle permet donc au paysan de gérer au mieux son temps de travail au moment du semis pour limiter les risques sur chaque parcelle.

Comme le souligne E. Brasier de Thuy, le paysan peut aussi prendre la décision de réaliser des paris et de modifier son calendrier en conséquence. De manière générale, semer à des dates différentes permet de limiter les risques, les conditions climatiques futures étant imprévisibles.

On peut noter l'importance des pronostics climatiques qui permettent au paysan d'organiser son planning. Par exemple, cette année Antonio a déjà estimé que l'hiver austral a été peu rigoureux. Il va donc probablement mettre en place ses parcelles de pomme de terre un peu plus tôt qu'à l'accoutumée.

### C.2 - Pluie et jachère

Pour de nombreuses parcelles, la décision de mettre en jachère est liée aux précipitations. En effet, la rotation normale dure 3 ans. La dernière année, la parcelle est pratiquement toujours cultivée en orge. Si le dernier rendement est correct, le paysan peut décider de cultiver une année de plus sa parcelle, mais seulement dans le cas où les précipitations sont suffisantes. Si les pluies sont faibles, le rendement sur une parcelle déjà cultivée depuis 3 ans sera faible, et cela ne vaudra pas la peine de semer.

### C.3 - L'irrigation

L'irrigation peut être pratiquée chez Antonio et Celestino. Mais c'est surtout Antonio qui l'utilise. Ce dernier possède 3 sources non taries à la fin de l'hiver. Cette pratique nécessite cependant beaucoup de travail pour la construction des canaux. Les pâturages et les cultures peuvent être irrigués.

Celestino et Antonio irrigent leurs pâturages de Chilliwa\* au mois de septembre ce qui permet à cette plante de redémarrer plus précocement. Cette irrigation est surtout pratiquée quand il risque de manquer de fourrage. Elle consiste en une sorte d'assurance contre les mauvaises récoltes d'orge.

L'irrigation peut également être utilisée pour semer plus précocement, rallonger le cycle de culture et donc s'affranchir un peu des risques de gelée de fin de cycle. Antonio pratique cette technique pour le blé et l'orge depuis l'année dernière avec un relatif succès. L'irrigation est pratiquée à la mi-septembre.

Il a irrigué des parcelles de pommes de terre il y a 5 ans. Cela a bien fonctionné.

#### D - CONCLUSION DE LA PARTIE III

L'utilisation des variations micro-climatiques par l'agriculteur est tout d'abord fonction du degré d'occupation de la surface cultivable.

Miguel qui n'en utilise qu'une petite partie peut pour chaque culture choisir le sol qui lui convient le mieux et peut se permettre de ne pas cultiver ses plus mauvais terrains.

Celestino et Antonio utilisent la quasi-totalité de leur surface cultivable. Toutes les parcelles seront donc un jour cultivées. Les parcelles les plus gélives comme les moins gélives. La marge de manoeuvre est donc très faible et ne peut s'exprimer qu'au niveau des pratiques culturales.

Si l'agriculteur ne possède pas assez de sols favorables, il doit, le cas échéant, en louer chez ses voisins.

Le gel concerne surtout 2 productions :

- Les céréales grains qui ne peuvent être cultivées que sur les parcelles les plus chaudes.
- Les pommes de terre.

Pour cette production, différentes pratiques culturales seront utilisées en fonction de la gélivité des parcelles : les pratiques concernent :

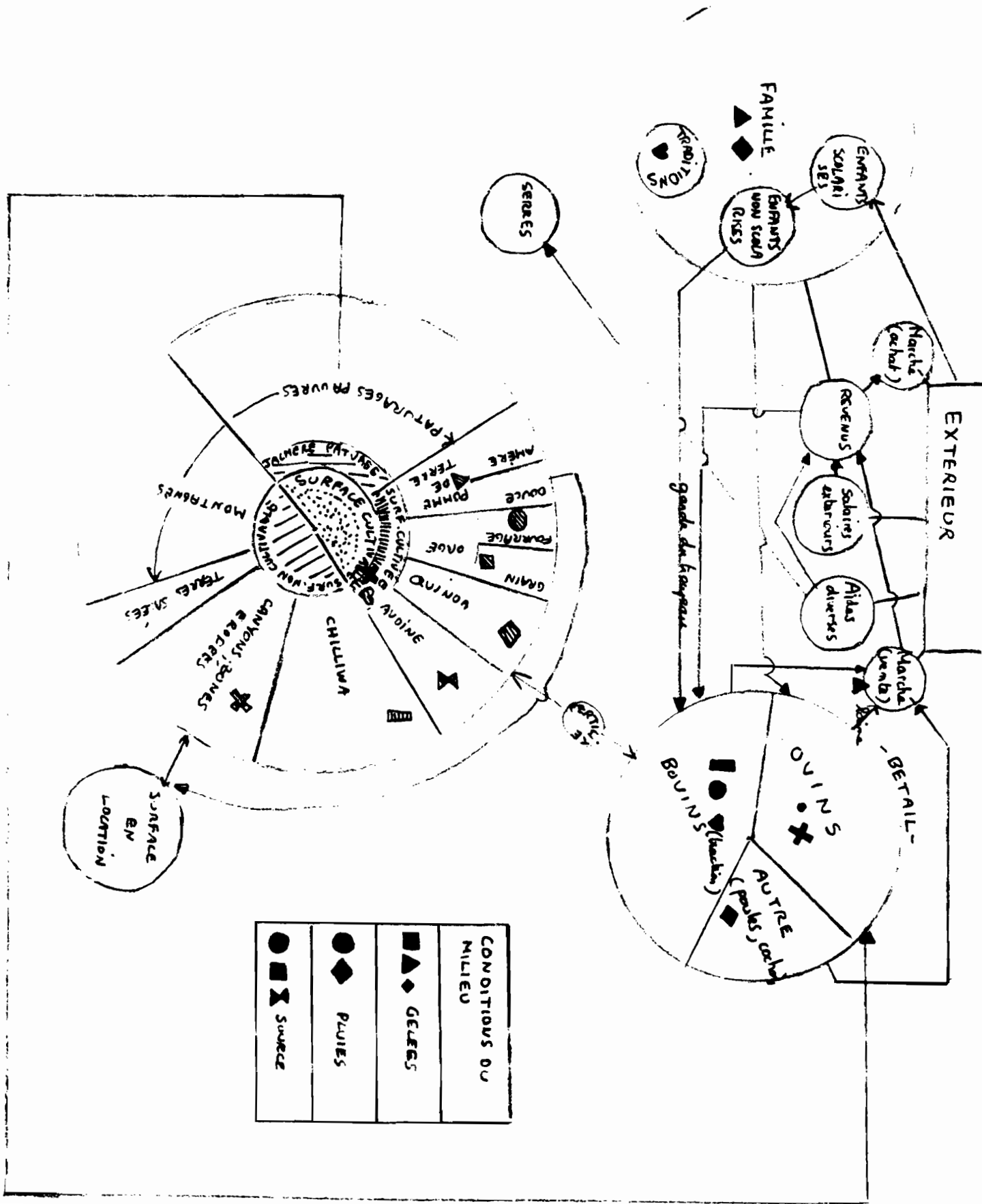
- la répartition pomme de terre douce - pomme de terre amère
- les dates de semis.

Avec le schéma qui suit (figure n° 55), nous avons essayé de regrouper tous les facteurs qui agissent sur l'organisation de l'exploitation agricole et les relations qui les lient.

Vu le nombre de ces relations, nous avons, afin de simplifier la lecture du schéma, utilisé la technique suivante :

Le "camembert" utilisation de la surface est au centre du schéma. A chaque surface (surface d'orge, de pomme de terre,...) est affecté un symbole ( , ) mis en hachures. Tous les facteurs qui influent sur la surface considérée sont marqués du même symbole mis en sombre. Ainsi, la surface d'orge est fonction du nombre de bovins (marqués ), des pluies (marquées ), d'une éventuelle source (marquée ) et un peu du nombre d'ovins (marqués d'un petit .)

FIGURE N° 55 : REPRESENTATION SCHEMATIQUE DES DIFFERENTS FACTEURS COMMANDANT LA GESTION DU SYSTEME DE CULTURE.



CONDITIONS DU MILIEU	
▲	GELÉES
◆	PLUIES
●	SOURCE

## CONCLUSION GENERALE

Considérant les risques de gelées comme particulièrement importants, nous avons réalisé un zonage de l'Altiplano bolivien centre-nord qui nous a permis de distinguer 5 zones inégalement sensibles au gel.

On trouve une forte diversité face à ces risques ; Certaines zones comme celles proches du lac Titicaca permettent de nombreuses productions, d'autres les interdisent presque toutes.

Néanmoins, pour la plupart des stations de l'Altiplano, les gelées restent un des principaux obstacles à une production agricole correcte et régulière. En situation moyenne, la pomme de terre ne peut accomplir un cycle végétatif normal qu'une année sur deux environ.

Ce type de zonage reste malgré tout un outil insuffisant pour rendre compte de la réalité agroclimatique en un lieu précis. Il existe en général au niveau de la communauté ou de l'exploitation agricole des variations micro-climatiques qui modifient les conditions du milieu sur de très petites distances. Entre 2 situations topographiques proches, ces écarts micro-climatiques sont souvent du même ordre de grandeur que ceux enregistrés entre 2 stations météorologiques distantes de plusieurs dizaines de kilomètres.

Les différences micro-climatiques sont fonction de plusieurs facteurs qui sont : la situation topographique, le type de sol, la pente, l'altitude et l'exposition des parcelles. L'importance de ces différents facteurs dépend de chaque situation.

Il existe une hiérarchie entre les différents types de sol quant aux risques de gelées : Celle-ci peut s'expliquer par la texture, la couleur des sols, la présence de pierres, la nature du sous-sol,...

Afin de pouvoir utiliser en tout lieu les données des stations météorologiques du réseau, il serait sans doute intéressant d'effectuer une étude des "termes de passage" entre la station et chaque micro-situation. La connaissance des principaux facteurs influençant les conditions du milieu (type de sol, pente, exposition, altitude,...) pourrait peut être permettre d'évaluer ces termes de passage et d'obtenir une estimation des données agroclimatiques propres à chaque situation.

Les écarts micro-climatiques existants à l'échelle de l'exploitation agricole sont connus des paysans ; les résultats expérimentaux concordent assez bien avec la connaissance empirique qu'ont les agriculteurs de leurs parcelles. La prise en compte de ces différences écologiques dépend d'abord du degré d'utilisation de la surface cultivable. Si un agriculteur cultive le maximum de ce que lui autorise sa logique des rotations (3 années de culture, 10 ans de repos en général) à savoir 3/13ème de ses terres, toutes les parcelles seront régulièrement cultivées.

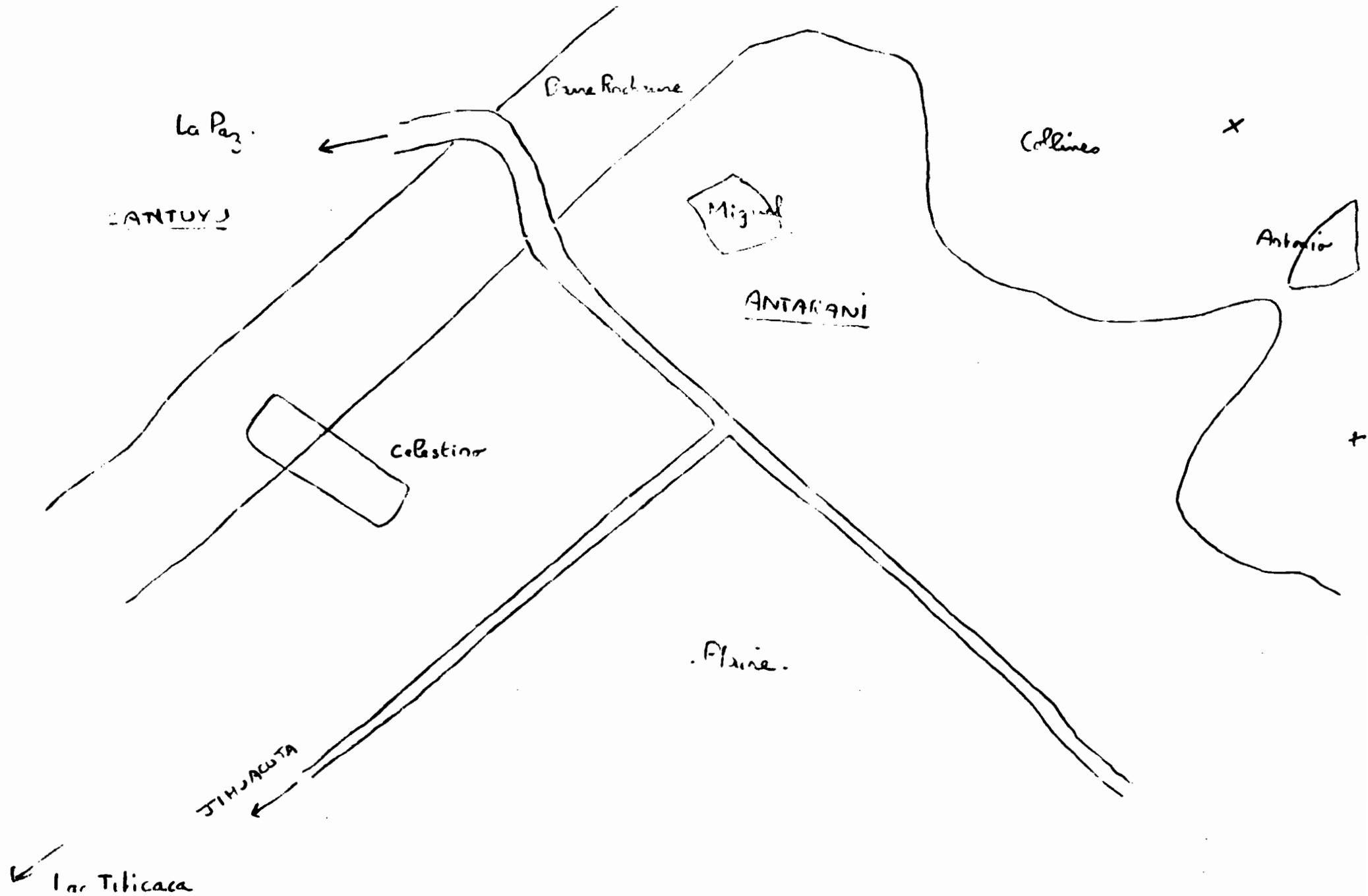
La marge de choix de l'agriculteur sera alors extrêmement réduite : les parcelles sensibles aux gelées et celles qui le sont moins devant recevoir un jour chacune des cultures de la rotation. A l'inverse, une moindre utilisation de la surface cultivable permet à l'agriculteur d'affecter avec plus de souplesse chaque culture aux parcelles qui lui conviennent le mieux.

La connaissance de ces variations micro-climatiques permet à chaque agriculteur d'adapter ces pratiques culturales à chaque situation. Il peut par exemple jouer sur les variétés à semer (douces ou amères), les dates de semis, ce qui lui permet ainsi de limiter les risques sur chaque parcelle.

De manière générale, le système actuel de production basé sur l'élevage, la culture de pomme de terre, de l'orge et de la quinoa sera toujours soumis à des risques de gel importants ; Ces cultures - malgré leur réputation de résistance au froid - restent en effet très vulnérables aux fortes gelées. Il paraît clair que l'agriculture sur l'Altiplano bolivien ne pourra pas être significativement améliorée tant que la production ne sera pas sécurisée en particulier vis à vis des risques de sécheresse et de gelées.

---

ANNEXE N° 1 : PLAN SOMMAIRE DE LA COMMUNAUTE DE ANTARANI.



ANNEXE N° 2 : BILANS ECONOMIQUES SIMPLIFIES DE CELESTINO , ANTONIO ET MIGUEL POUR  
L'ANNEE 88/89.

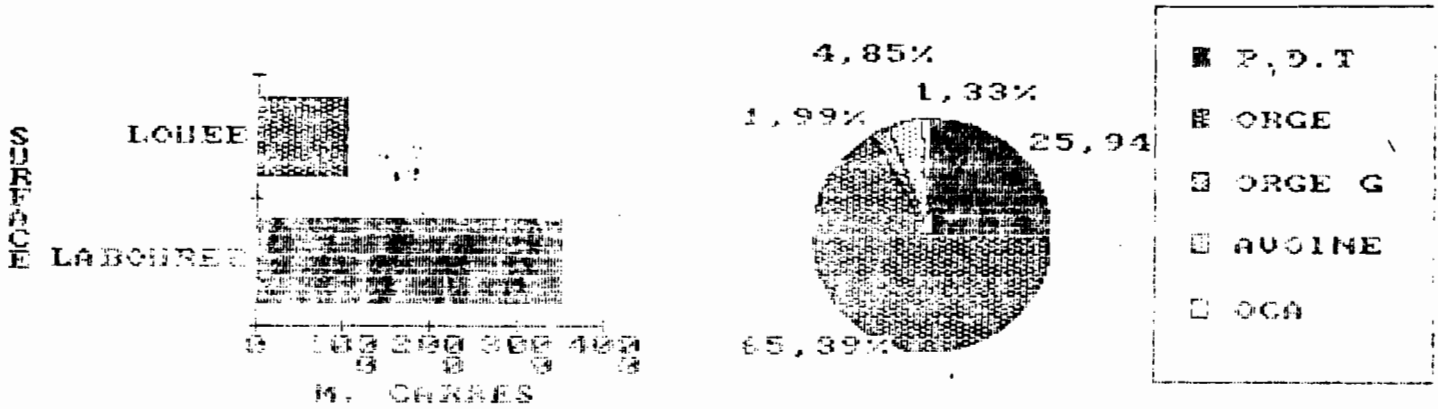
CELESTINO		REVENUS	DEPENSES	BOLIVIENS
VETO		300	ALIMENTATION	SUCRE 210
				FARINE 150
				PATES 57
				RIZ 186
VENTES	TAUREAU/2	250		P.D.T 0
	MOUTONS 5	125		CHUNO 0
	COCHONS 2	110		LEGUMES 96
	LAINES 70KG	45,5		FRUITS 84
				PAIN 120
	SS TOTAL	530,5		HUILLE 60
				EPICES 12
				THE/CAFE.. 48
				SS TOTAL 1023
			SANTE	MEDECIN 0
				SORCIER 0
				MEDICAMENT 60
				SS TOTAL 60
REVENUS EXTERIEURS		1200	MAISON	KEROSENE 15
				IMPOTS ANT 12
				IMPOTS LAP 21
				ELECTR LAP 60
				SS TOTAL 108
HAIDE EXT	CLUB	0	EDUCATION	E. PRIM 2 X 6.5 13
	COMPASSION	0		E. SEC 3 X 10 30
				COLLEGE 1 X 7.5 7,5
				FACULTE 1 X 25 25
				E. SUP 10 + 25 35
	SS TOTAL	0	FRAIS ENF.	LA PAZ 12 X 30 360
			FOURNITURES	E. PRIM 50
				E. SEC 90
				SS TOTAL 610,5
			TRANSPORT	LA PAZ 4/MOIS 144
			HABITS	100
			AGRICULTURE	VETO 150
				SEMENCES ORGE 50
				SERRE 10
			ANIMAUX	TAUREAU/2 150
				SS TOTAL 360
			AUTRES	FETES 10
				KERMESSE 2/AN 60
				SS TOTAL 70
TOTAL		2030,5		2475,5

MIGUEL		REVENUS	DEPENSES	BOLIVIENS
			ALIMENTATION	
			SUCRE	31
			FARINE	0
			PATES	150
VENTES	BOISSONS	1500	RIZ	24
	TAUREAU/2	250	P.D.T	0
	MOUTONS 4	100	CHUNO	0
	LAINÉ	10	LEGUMES	48
			FRUITS	12
			PAIN	12
			HUILE	0
			EPICES	0
			THE/CAFE..	24
			SS TOTAL	301
			SANTE	
			MEDECIN	0
			SORCIER	0
			MEDICAMENT	20
			SS TOTAL	20
			MAISON	
			KEROSENE	30
			IMPOTS	0
			SS TOTAL	30
			EDUCATION	
			E. PRIM	1 X 6,5
			E. SEC	2 X 10
AIDE EXT	CLUB	440	FOURNI	E. PRIM
	COMPASSION	360		E. SEC
				75
			SS TOTAL	100
			TRANSPORT	LA PAZ
				2/MOIS
				72
			HABITS	400
			AGRICULTURE	
			SEMENCES	VETO
				130
				ORGE
				0
				SERRE
				0
			ANIMAUX	TAUREAU/2
				150
			SS TOTAL	280
			AUTRES	
			FETES	100
			KERMESSE	2/AN
				50
			CLUB	INSCRIP
				30
			BOISSONS	1320
			SS TOTAL	1500
TOTAL		2660		2703

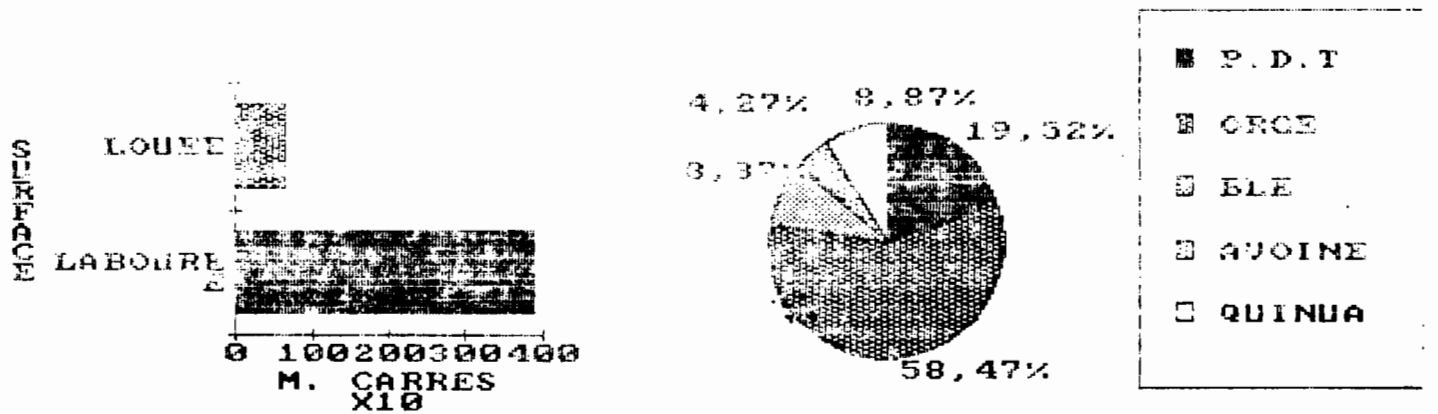
ANTONIO		REVENUS	DEPENSES	BOLIVIENS
			ALIMENTATION	SUCRE 240
				FARINE 0
				PATES 30
				RIZ 48
VENTES	TAUREAU/2	250		P.D.T 0
	MOUTONS 8	200		CHUNO 0
	COCHONS 2	100		LEGUMES 24
				FRUITS 24
				PAIN 120
				HUILLE 0
				EPICES 0
				THE/CAFE.. 12
				-----
	SS TOTAL	550		SS TOTAL 498
			SANTE	MEDECIN 0
				SORCIER 100
				MEDICAMENT 100
				-----
				SS TOTAL 200
REVENUS			MAISON	KEROSENE 50
EXTERIEURS		840		IMPOTS ANT 10
				-----
				SS TOTAL 60
			EDUCATION	E. PRIM 2 X 6.5 13
AIDE EXT	CLUB	440		
	COMPASSION	360		
	SS TOTAL	800	FRAIS ENF.	E. PRIM 100
			FOURNITURES	
			TRANSPORT	LA PAZ 2/MOIS 144
			HABITS	200
			AGRICULTURE	VETO 30
				SEMENCES ORGE 20
				SERRE 10
			ANIMAUX	TAUREAU/2 150
				-----
				SS TOTAL 210
			AUTRES	FETES 0
				KERMESSE 2/AN 50
				CLUB INSCRIPTIO 30
				-----
				SS TOTAL 80
				-----
TOTAL		2190		1505
				-----

**ANNEXE N° 3** : FIGURES DE LA REPARTITION DE LA SURFACE CULTIVEE CHEZ CELESTINO , MIGUEL ET ANTONIO ( A METTRE EN RELATION AVEC LES TABLEAUX N° 21 , 22 , 23 ).

**SURFACES 88/89 DE CELESTINO**

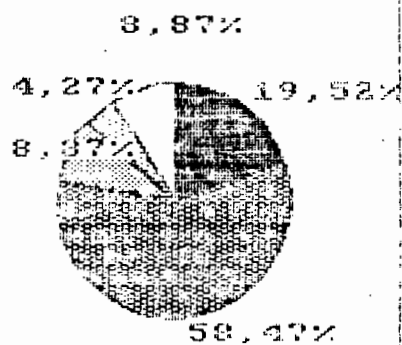
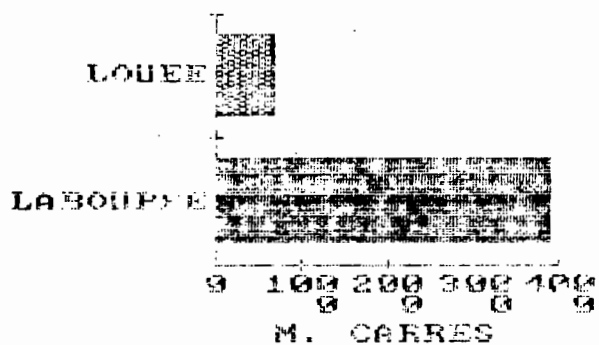


**SURFACES 89/98 DE CELESTINO**



SURFACES 87/88 DE CELESTINO

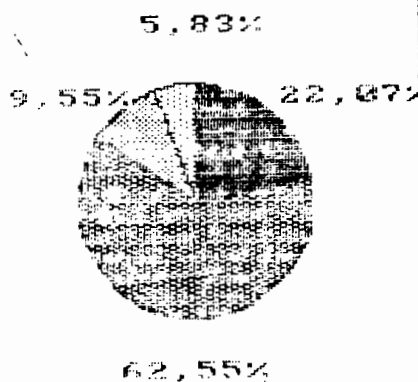
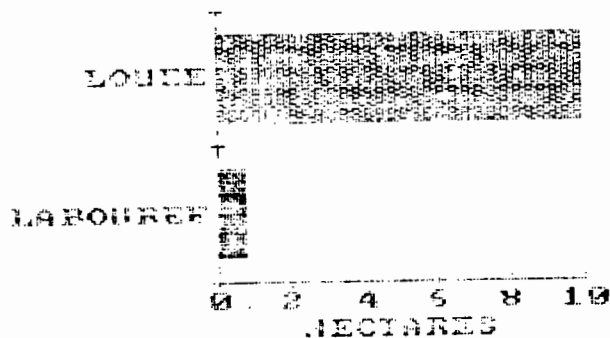
SURFACES



- P.D.T
- ORGE
- BLE
- MAUOINE
- MAINGA

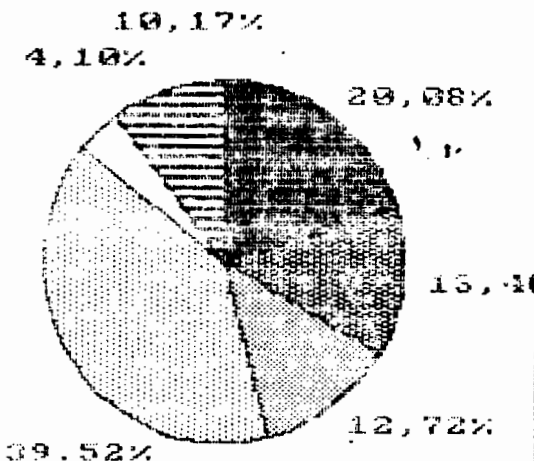
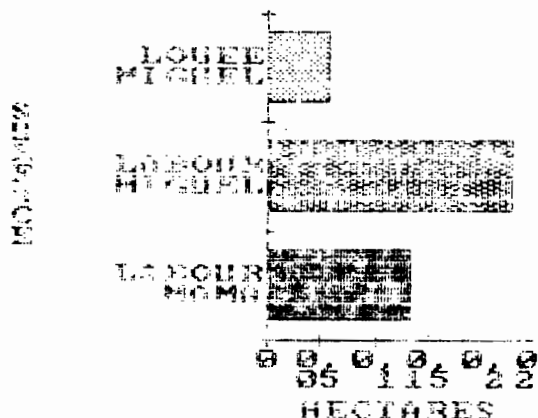
SURFACES 89/90 DE ANTONIO

SURFACES



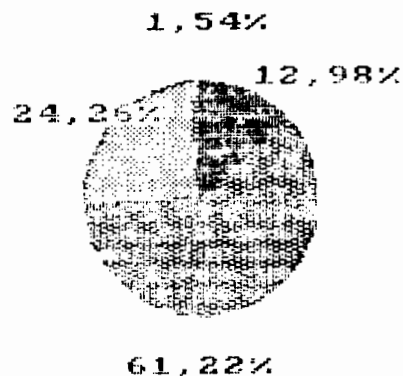
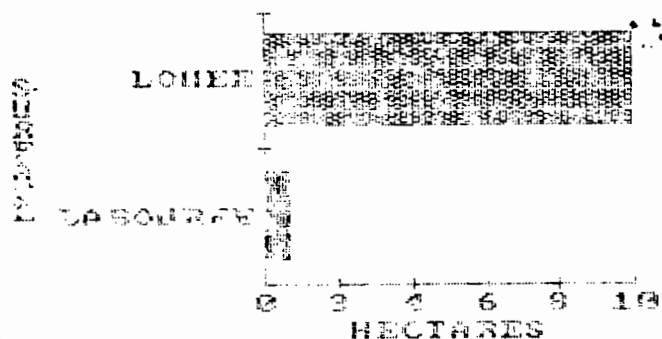
- P.D.T
- ORGE
- BLE
- QUINOA

SURFACES 89/90 DE MIGUEL (PLUVIEUX)



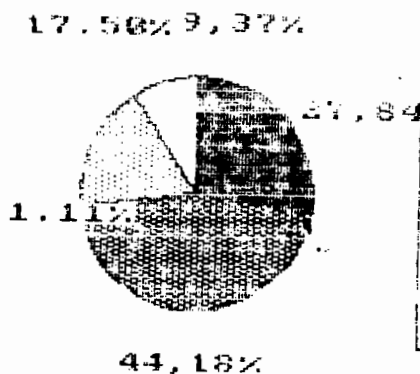
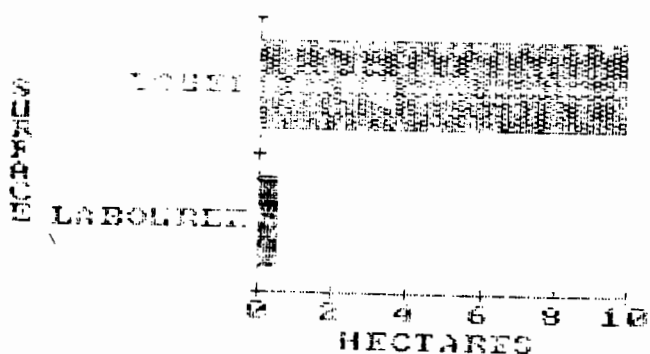
- P.D.T MAMA
- P.D.T MIGUEL
- ORGE MAMA
- ORGE MIGUEL
- QUINOA MAMA
- QUINOA MIGUEL

SURFACES 87/88 DE ANTONIO



- P.D.T
- ORGE
- BLE
- QUINOA

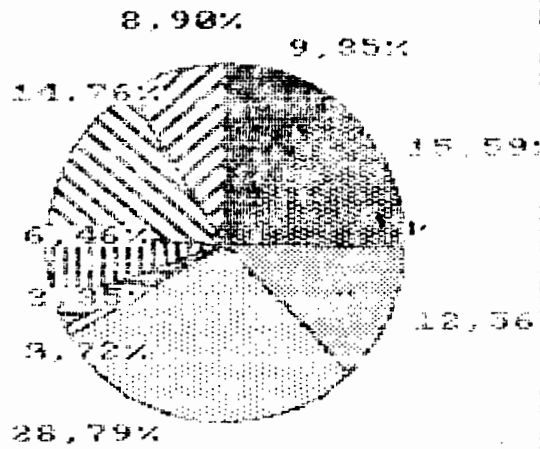
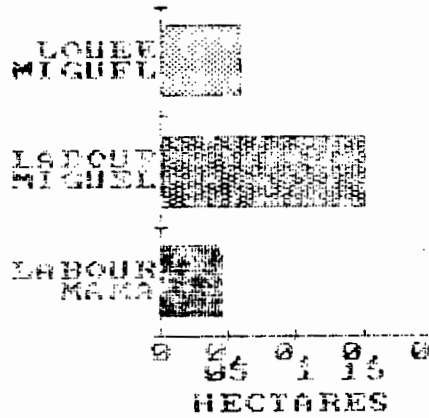
SURFACES 88/89 DE ANTONIO



- P.D.T
- ORGE
- ORGE C
- BLE
- QUINOA

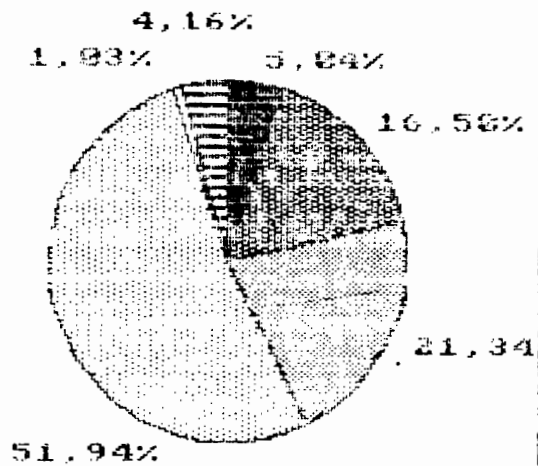
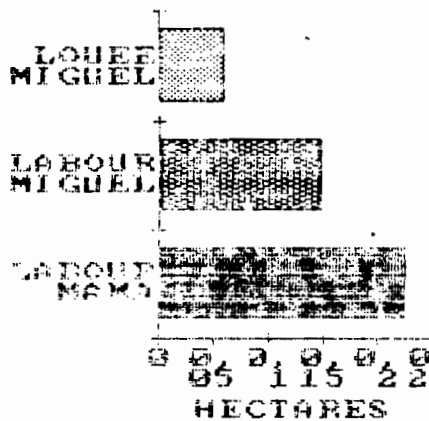
87/88 MIGUEL

- P. D. T MAMA
- P. D. T MIGUEL
- ORGE MAMA
- ORGE MIGUEL
- QUINOA MAMA
- QUINOA MIGUEL
- BLE MAMA
- BLE MIGUEL
- AVOINE MIGUEL



SURFACES 88/89 DE MIGUEL

- P. D. T MAMA
- P. D. T MIGUEL
- ORGE MAMA
- ORGE MIGUEL
- BLE MAMA
- QUINOA MIGUEL



ANNEXE N° 4 : CLASSIFICATION DES SOLS SELON LEUR POTENTIALITES PAR CELESTINO ,  
ANTONIO ET MIGUEL .

MIGUEL	1	2	3	4	5	6	7	8
SOL LE + SENSIBLE AU GEL	CH	KA						
MEILLEUR SOL QUAND IL Y A PEU DE PLUIE	CH	JW	MJW	GR	KA			
MEILLEUR SOL QUAND IL Y A BEAUCOUP DE PLUIE	KA	JW	MJW	CH	GR			
SOL LE PLUS FACILE A TRAVAILLER	JW	CH						
MEILLEUR SOL POUR LA P.D.T	JW	CH						
MEILLEUR SOL POUR L'ORGE	CH	KA						
MEILLEUR SOL POUR LA QUINOA	CH	JW						
CELESTINO	1	2	3	4	5	6	7	8
SOL LE + SENSIBLE AU GEL	JA	CH	KA	MJW	JW			
MEILLEUR SOL QUAND IL Y A PEU DE PLUIE	CH	JA	JW	MJW	KA			
MEILLEUR SOL QUAND IL Y A BEAUCOUP DE PLUIE	KA	NI	MJW	JW	JA	CH		
SOL LE PLUS FACILE A TRAVAILLER	CH	JA	JW	MJW	KA	NI		
MEILLEUR SOL POUR LA P.D.T DOUCE	JW	MJW	JA	KA	NI	CH		
MEILLEUR SOL POUR LA P.D.T AMERE	KA	CH	JA	NI				
MEILLEUR SOL POUR L'ORGE	KA	CH	JA	MJW				
MEILLEUR SOL POUR LA QUINOA	KA	MJW	JW	JA				

ANTONIO	1	2	3	4	5	6	7	8
SOL LE + SENSIBLE AU GEL	JAF	JA	KA	MJW	JW	KA		
MEILLEUR SOL QUAND IL Y A PEU DE PLUIE	CH	MJW	JW	KA	NI			
MEILLEUR SOL QUAND IL Y A BEAUCOUP DE PLUIE	KA	JW	NI	JAF	KA			
SOL LE PLUS FACILE A TRAVAILLER	JW	CH	JAF	KA				
MEILLEUR SOL POUR LA P.D.T-BCP DE PLUIE	KA	KL						
MEILLEUR SOL POUR L'ORGE	JAF	JA	KA	NI	JW	KA		
MEILLEUR SOL POUR LA QUINOA	MJW	KA	CH	JA	JAF			

ANNEXE N° 5 : BIBLIOGRAPHIE.

BIBLIOGRAPHIE

BOUYASSE-CASSAGNE T. : Pomme de terre et maïs chez les aymaras des hauts plateaux de Bolivie - Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée - XXIX , 3 , 4 , 1982.

BRASIER DE THUY E. : Thèse de doctorat : Stratégies paysannes face aux risques climatiques sur l'altiplano bolivien - INAPG - à paraître fin 1989 .

ELDIN M. : Risques et potentialités climatiques pour la production agricole in climat et développement , séminaire des 15-16/10/1985 - Collection colloques et séminaires , Editions de l'ORSTOM Paris - 1986 - p 179,187.

ELDIN M. : A system of agroclimatic zoning to evaluate climatic potential for crop production in agroclimate information for development , reviving the green revolution , edited by David F. cusak , USA , Colorado , Weeshview - 1983 - p 83-91.

FRERE M. , REA J. , RIKES JQ. , Proyecto institucional FAO/UNESCO/OMN en agroclimatología de la zona andina - Informe técnico , ONU 1975 .

GRASSI CANTERO BA. : Riesgos de primeras y últimas heladas en Puebla de Tlaxcala respecto a los cultivos básicos - Tesis de Maestría en Ciencias - Colegio de Postgraduadas , Chapingo , Mexico , 1983 .

GUIRLET C. : Rapport de stage 1987 - INAPG - Les systèmes de production de 2 communautés de l'altiplano central bolivien face au risques climatiques.

HANN CT. : 1977 , Statisticals Methods in Hydrology . The Iowa State University Press .

INFANTE GIL S. y ZARATE DE LARA G. : - 1984 - Metodos Estadísticos - Edit Trillas , Mexico .

LIBERMANN CRUZ M. : Impacto ambiental del uso actual de la tierra en el altiplano sur de Bolivia con énfasis en el cultivo de *Chenopodium quinua wild* - Rivista di agricoltura subtropicale e tropicale - Italie - 1986.

MOREL D. : Rapport de stage - ISAB - Les systèmes d'élevages sur l'altiplano bolivien - à paraître début 1990 .

MORLON P. : Del clima a la comercializacion : Un riesgo puede ocultar otro - Ejemplos sobre el altiplano peruano - Agricultura y sociedad n°45 , octubre-diciembre 1987.

MORLON P. : Questions sur l'agriculture de l'altiplano péruvien - Séminaire CNRS ( NSF Paris , octobre 1980 - L'homme et son environnement à haute altitude - ) - Paris , éditions du CNRS - 1981 .

MORLON P. , HERVE D. , BOURLIAUD J. , REAU R. : Chaquitacla , stratégies de labour et intensification en agriculture andine - Technique et culture 7, 1986 - 181-225 .

MORLON P. , ORLOVE B. , HIBON A. : Tecnologias agricolas tradicionales en los andes centrales ; perspectivas para el desarrollo .

MORLON P. , MONTOYA B. , CHANNER S. : Los sistemas agropastoriles andinos - Un estudio de casos de cinco familias del altiplano peruano - V congreso internacional de sistemas agropecuarios andinos - anales PUNO-PERU , 10-14 marzo 1986.

ORTIZ S. : - 1982 - Agrometeorologia - Dpta de suelos , UACH , Chapingo , Mexico.

PRESTON A. : L'agriculture dans un desert d'altitude : L'altiplano central de Bolivie - Les cahiers d'outremer , avril-juin 1973 , n°102 , 26<sup>eme</sup> année .

PROYECTO " AGRICULTURA Y CLIMA EN EL ALTIPLANO BOLIVIANO " ( PACAL ) - ORSTOM , SENAMHI - Suelos cultivados en dos comunidades del altiplano central . Analisis de textura , composicion quimica y humedad - Confrontacion con la clasificacion campesina.

ROMO GONZALES J. y ARTEGARAMIREZ R. : - 1983 - Meteorologia agricola - Universidad Autonoma Chapingo , dpta de irrigacion , 442 p. .

RONCHAIL J. : Variabilidad del tiempo en Bolivia - La anomalia climatica del invierno 1988 - Conferencia en la academia de ciencias - La Paz 14/09/88 .

VACHER J. et Al : Analisis de los riesgos de sequia en el altiplano boliviano - A paraître .

VACHER J. et Al : Los riesgos de heladas en el altiplano boliviano - A paraître .

VACHER J. , ATTEIA O. , IMANA E. , BRASIER DE THUY E. : Estudio in situ del consumo de agua y de la produccion de la papa para 3 estaciones del altiplano boliviano - Actas del segundo simposio de la investigacion francesa en bolivia , ORSTOM 19-22/4/1988.

## LEXIQUE

ADOBE : Brique de terre séchée qui sert à la construction des maisons.

AYNOCA : La pratique de l'aynoca consiste à ce que chaque paysan mette chaque année une partie de ces terres en commun, soit pour le pâturage des animaux soit pour être cultivée. Cette pratique permet à chacun d'avoir accès à une plus grande gamme de sols et de situations topographiques. Cette coutume disparaît de plus en plus sur l'altiplano.

BOFEDAL : Terre inondée la plupart du temps.

CENTAVO : Sous division du boliviano, 100 centavos = 1 boliviano.

CERRO : Colline.

CHILLIWA : Graminée de très bonne valeur fourragère.

CHUNO : On réalise du chuno en laissant dehors les pommes de terre au milieu de l'hiver ; celles-ci gèlent la nuit et se dessèchent le jour. Ce processus enlève les substances amères. Le chuno peut se conserver plusieurs années.

FERIA : Foire aux animaux.

GUSANO : Ver blanc qui attaque les pommes de terre, principale maladie sur l'altiplano.

PAJA BRAVA : Graminée de mauvaise valeur fourragère qui sert à la construction des toits des maisons.

PAPA MONDA : Pommes de terre douces qui sont consommées cuites et pelées.

PITO : Blé grillé et moulu ; se consomme au petit déjeuner.

SUMA MANG'ANANI : " mangeons mieux " en aymara : ONG Franco-bolivienne dépendant de AICF.

TOLA : Arbuste fourragère qui verdit au premières pluies.

TUNTA : La tunta comme le chuno provient de la pomme de terre. La transformation consiste à placer en plein hiver la pomme de terre dans un ruisseau pendant 1 mois.

YUNTA : Araire.

## PLAN

### REMERCIEMENTS

### INTRODUCTION:

## I-ETUDE AGROCLIMATIQUE REGIONALE p. 5.

### A - DONNEES GENERALES p. 6

I - LA BOLIVIE

II - L'ALTIPLANO

III - LES STATIONS

### B - LE RISQUE DE GELEE p. 9

B1 - Les principales cultures de l'altiplano p. 11

B11 - La pomme de terre

B12 - La quinoa

B13 - L'orge

B2 - Technique d'étude des risques de gelées. p. 15

B21 - Indices actinothermiques et températures minimale

B22 - Données de base

B23 - Calcul de la probabilité P

B231 - Réalisation d'un graphique

B232 - Choix des variables

B233 - Corrélations relatives à ces 5 variables

B24 - Introduction d'autres variables

B241 - Utilisation des courbes

B242 - Autres variables

B3 - Classification des stations et zonage de l'altiplano sur des critères relatifs aux gelées p. 33

B31 - Classification des stations en groupes homogènes vis à vis des gelées.

B32 - Les gelées de milieu de cycle

### C - LE RISQUE DE SECHERESSE p. 38

C1 - Données de base p. 38

C2 - Classification des stations en groupes homogènes vis à vis des précipitations p. 39

C21 - Corrélations entre variables

C22 - Classification hiérarchique et ACP

### D - LES RISQUES DE SECHERESSE ET DE GELEE p. 46

D1 - Données

D2 - Classification des stations en groupes homogènes

### E - CONCLUSIONS ET LIMITES D'UNE TELLE ETUDE p. 48

## II - LES VARIATIONS MICROCLIMATIQUES A L'ECHELLE D'UN TERRITOIRE VILLAGEOIS p. 50

### I - DONNEES GENERALES p. 51

A - LA COMMUNAUTE DE ANTARANI p. 51

- A1 - Situation géographique
- A2 - Présentation générale
- A3 - L'ORSTOM et ANTARANI
- B - LES PAYSANS p 53
  - B1 - Celestino HUANCA
  - B2 - Antonio MALEA
  - B3 - Miguel POMA
- C - METHODOLOGIE p 54
  - C1 - Entretiens
  - C2 - Mesures de température
    - C21 - Mesures journalières
    - C22 - Mesures d'un bloc
  - C3 - Mesures des précipitations
  - C4 - Mesures sur parcelle
  - C5 - Elaboration d'un parcellaire
- II - LES VARIATIONS DE TEMPERATURE A L'ECHELLE DE LA COMMUNAUTE p. 56
- III - LES VARIATIONS DE TEMPERATURE A L'ECHELLE DE L'EXPLOITATION AGRICOLE p 60
  - A - NOMENCLATURE AYMARA DES SOLS p 63
  - B - LES VARIATIONS DE TEMPERATURES SUR L'EXPLOITATION DE ANTONIO p 64
    - B1 - Visualisation des parcelles
    - B2 - Analyse des résultats
    - B3 - Carte des températures
  - C - LES VARIATIONS DE TEMPERATURE SUR L'EXPLOITATION DE CELESTINO p 71
    - C1 - Visualisation des parcelles
    - C2 - Mesures
    - C3 - Interpretation
  - D - LES VARIATIONS DE TEMPERATURE SUR L'EXPLOITATION DE MIGUEL p 81
    - D1 - Visualisation des parcelles
    - D2 - Mesures et commentaires
- III - ADAPTATION DES PRATIQUES PAYSANNES AUX VARIATIONS MICROCLIMATIQUES p. 85
  - I - QUELLE PRODUCTION, POUR QUI ? p 86
    - A - La pomme de terre
    - B - L'orge
    - C - La quinoa
    - D - Le blé
    - E - L'avoine
    - F - La oca
    - G - Les paturages
  - II - LA SURFACE CULTIVABLE p 88
    - A - Surface cultivable/Surface totale
    - B - Hétérogénéité de la surface cultivable
  - III - LA SURFACE CULTIVEE p 94
    - A - Le rythme 3/13
    - B - La Surface cultivée

B1 - Chez Celestino	
B2 - Chez Antonio	
B3 - Chez Miguel	
C - Utilisation de la surface non cultivée	
IV - GESTION DE LA SURFACE CULTIVEE	p 104
A - Le premier niveau de décision	p 104
A1 - La surface de pomme de terre	
A2 - La surface d'orge	
B - Surfaces affectées aux autre cultures	p . 105
B1 - La quinoa	
B2 - L'avoine	
B3 - Orge grain et blé	
C - LES PRATIQUES CULTURALES	p 107
C1 - Pratiques culturales et gelées	
C11 - Répartition PDT douces et PDT amères	
C12 - Dates de semis	
C2 - Pluies et jachère	
C3 - L'irrigation	
D - CONCLUSION DE LA PARTIE III	p 109
CONCLUSION GENERALE	p 112
ANNEXES et BIBLIOGRAPHIE	p 114
PLAN	p 128 .