Du climat à la commercialisation : l'exemple de l'Altiplano péruvien

Pierre MORLON *

INTRODUCTION

L'Altiplano est un ensemble de plaines ou plateaux au-dessus de 3 600-3 800 mètres d'altitude. À la limite supérieure des cultures, le niveau des risques climatiques est très élevé, et toute modification historique dans cette limite doit correspondre à une modification dans le niveau réel ou accepté des risques, ce qui fait de cette région un « laboratoire » exceptionnel pour l'étude des risques en agriculture.

Mais l'étude des réponses paysannes aux risques climatiques met très vite en évidence les incertitudes sur la propriété de la terre, et plus encore celles relatives à la commercialisation, face auxquelles le paysan est peut-être encore plus désarmé, car si le climat est en quelque sorte « passif », les groupes sociaux, eux, ont une volonté propre qui peut se révéler redoutable.

Et s'il est relativement aisé d'installer des stations météo et d'y obtenir des données tous les jours, il l'est beaucoup moins d'observer et mesurer en permanence les prix et leurs déterminants tout au long de la chaîne qui part du paysan...

Nous illustrerons d'abord quelques méthodes de description des risques climatiques, sur une petite région en haute altitude, l'Altiplano du lac Titicaca. Puis, en élargissant notre perspective à l'ensemble des Andes du sud du Pérou, nous passerons en revue quelques techniques traditionnelles de lutte contre les risques, et les stratégies paysannes d'adaptation et de survie par dispersion des risques à tous les niveaux du système de production.

1. LES RISQUES CLIMATIQUES

Situé, dans l'autre hémisphère, aux mêmes latitudes que les régions sahéliennes ou sub-sahéliennes d'Afrique, l'Altiplano péruvien « bénéficie » du même climat... transposé en haute altitude : alternance d'une longue saison sèche et d'une saison des pluies totalisant entre 400 et 800 mm sur 3 à 5 mois en moyenne ; des gelées nocturnes se produisent par temps clair.

Avec de fortes différences d'un lieu à l'autre, on peut ainsi distinguer trois périodes dans l'année :

---

* Agronome INRA, Systèmes Agraires et Développement, ENSSAA, 26, boulevard du Docteur Petitjean, 21100 Dijon, France.

— le cœur de la saison sèche, mai à août : la sécheresse et, sauf dans certains microclimats, les gelées nocturnes sont une certitude.

— la saison des pluies, décembre à mars : si l'on considère les moyennes de températures et bilan hydrique, les conditions météorologiques sont favorables (en sol bien drainé). Mais d'une part la variabilité entre années est très forte, avec des risques de sécheresse et gelées à n'importe quelle date, et d'autre part le cycle végétatif de la plupart des plantes cultivées ne peut s'accomplir entièrement à l'intérieur de cette période, et doit donc déborder sur :

— les mois « intermédiaires », septembre à novembre ainsi qu'avril, pour lesquels la variabilité entre lieux et entre années est maximale avec donc un niveau très élevé d'incertitude. C'est sans doute à cette période que le décalage peut être le plus grand entre le risque évalué statistiquement sur données météorologiques et sa perception par l'agriculteur : nous nous limiterons cependant dans cette première partie à une brève revue de quelques méthodes de description des risques climatiques et de leurs résultats.

1.1. Descriptions fréquentielles des risques climatiques

Nous allons présenter ici très succinctement les résultats de trois méthodes qui permettent de décrire chacune un aspect des risques de gelées, pour vingt stations météorologiques de l'Altiplano du lac Titicaca, toutes situées dans la même tranche d'altitude entre 3 810 et 4 050 m, mais à des distances du lac et dans des situations topographiques très diverses (fig. 1).

Toutes les données utilisées dans ce paragraphe sont les températures les plus basses enregistrées sous abri par décade (période de 10 jours), par le Service National de Météorologie et Hydrologie du Pérou, et soigneusement vérifiées.

1.1.1. RISQUE DE GEL À UNE DATE DÉTERMINÉE

Lorsque l'on s'intéresse à un stade particulier du développement d'une plante, par exemple à la floraison, il est utile de connaître les risque encourus à une date déterminée. Nous avons choisi de présenter ici, pour chaque décade, les températures en dessous desquelles on est « sûrs » de ne pas descendre plus d'une année sur cinq, si les fréquences observées dans le passé se répètent à l'avenir (c'est le sens du mot « probabilité » que nous emploierons par la suite par abus de langage). Les résultats sont réunis dans le tableau I où, pour plus de lisibilité, chaque température est représentée par un seul caractère, et d'où ressortent :

— l'importance des risques de gel en général

— les très grandes différences entre localités pourtant situées à des altitudes très voisines : le facteur déterminant semble être la distance du lac Titicaca (fig. 1), avec cependant des exceptions qui posent question : Progreso est aussi loin du lac qu'Ayaviri ou Chuquibambilla : Azangaro l'est autant que Lampa et beaucoup plus que Juliaca... Pour plusieurs stations, le risque de gel n'est jamais nul dans l'année. Or, il y a des cultures à ces endroits, et lorsque l'année est favorable les potentiels sont très élevés, comme le suggèrent les 43 tonnes/ha de pommes de terre, obtenues en production commerciale (grandes parcelles) par l'agronome péruvien Mario TAPIA en 1984-85 à Ayaviri.

Lorsque l'on fait varier, par exemple en prenant une année sur deux au lieu d'une année sur cinq (tabl. II), la fréquence avec laquelle on accepte le retour

du risque, le niveau de celui-ci (ici la rigueur du gel) diminue, en même temps qu'augmente la durée apparente de la période sans gelées. Mais, comme les données ont jusqu'à présent été traitées décade par décade, indépendamment les unes des autres, la durée réelle de la période libre de gelées doit être calculée directement.

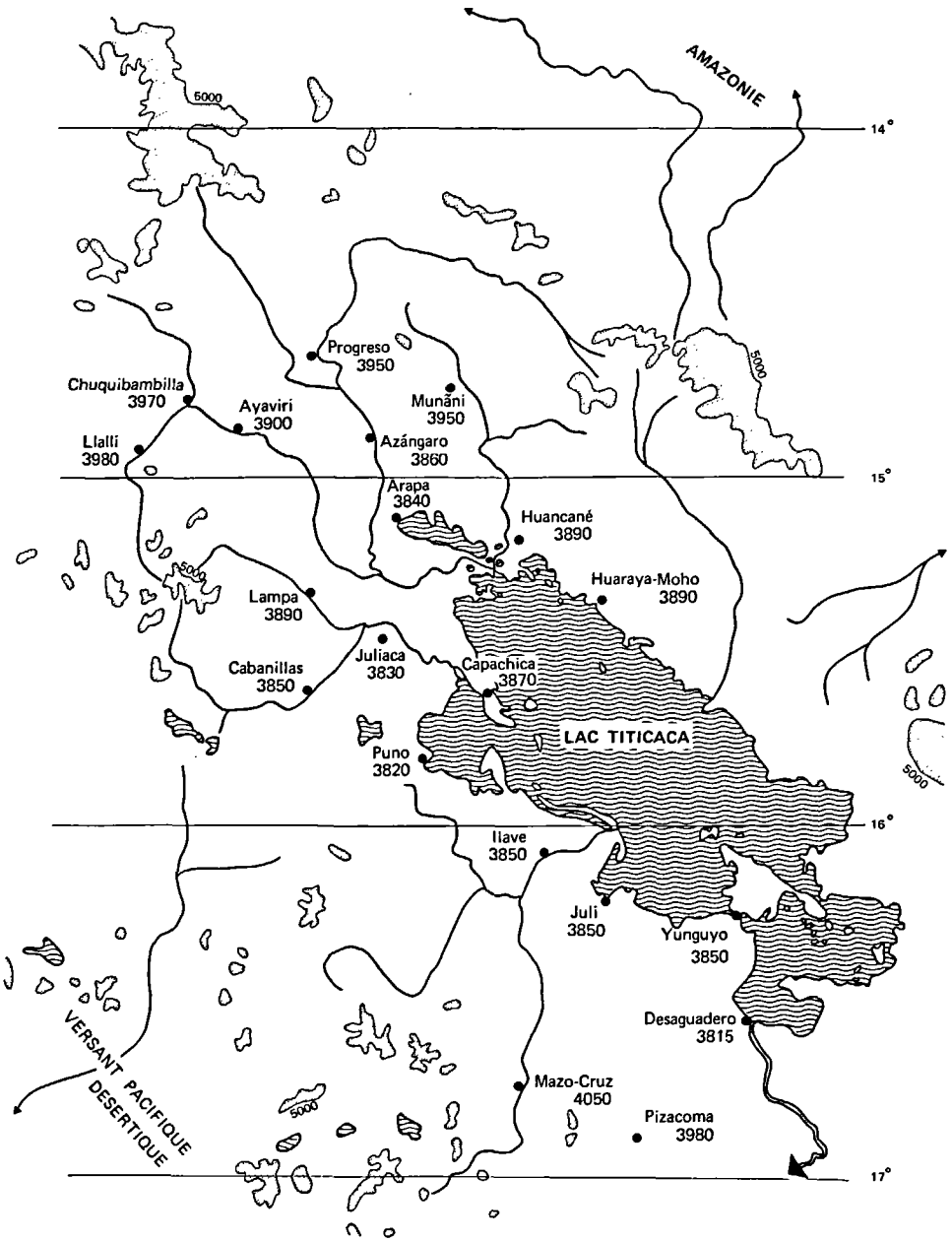


FIG. 1. — Carte de situation des stations météorologiques (§ 1)

TABLEAU I

Risques de gelées à chaque décade de l'année. Températures en dessous desquelles on ne descend qu'1 année sur 5

	JUILLET			AOUT			SEPTEMBRE			OCTOBRE			NOVEMBRE			DECEMBRE			JANVIER			FEVRIER			MARS			AVRIL				MAI			JUIN		
ARAPA	4	4	4	4	4	3	2	2	1	2	1	1	1	0	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	0	1	2	2	3	4	4	4
AYAVIRI	C	C	C	C	C	B	B	B	A	A	A	A	4	3	2	2	0	2	0	0	+	0	+	1	0	+	1	3	4	A	A	B	B	B	C	C
AZANGARO	B	B	B	B	B	A	A	A	3	4	1	1	1	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	1	2	4	A	A	A	B	B
CABANILLAS	A	A	A	A	A	A	A	3	2	2	1	1	1	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	2	2	4	A	A	A	A	A
CAPACHICA	4	4	4	4	4	3	2	1	1	2	2	1	1	0	0	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	1	2	2	3	3	4	4
CHUQUIBAMBILLA	C	C	C	C	C	C	B	C	B	B	B	B	B	A	A	4	3	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	A	A	A	B	B	C	C	C	C
DESAGUADERO	C	C	C	C	B	B	A	A	A	A	4	4	4	3	4	1	+	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1	2	4	B	B	B	B	C	C
HUANCANE	B	B	B	B	B	B	A	A	4	4	3	2	2	1	0	0	+	+	1	+	0	+	+	+	0	+	0	1	3	4	A	A	A	B	B	B
HUARAYA -MOHO	4	3	4	3	2	2	1	1	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	1	1	2	2	3	3
ILAVE	B	B	B	B	B	B	A	A	A	4	3	4	4	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	1	4	4	4	A	B	B	B	B
JULI	A	A	A	4	4	3	2	2	2	1	1	0	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	1	3	3	4	4	4	4
JULIACA	C	C	C	C	C	C	B	B	A	A	A	A	A	A	3	2	1	0	+	0	0	+	+	+	1	0	2	4	4	A	B	B	B	B	C	C
LAMPA	C	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	4	3	1	1	0	+	0	+	0	0	1	0	2	4	A	A	B	B	B	B	B	B
LLALLI	C	B	C	C	C	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	3	2	1	0	+	0	1	0	1	3	2	3	4	A	A	B	B	B	B	B	C
MAZO-CRUZ	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	A	4	4	3	2	3	2	2	3	3	A	B	B	C	C	C	C	C	C	C
MUÑANI	A	A	A	A	A	A	4	3	2	3	2	0	3	0	0	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	2	3	4	A	A	A	A	A
PIZACOMA	C	C	C	C	C	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	3	1	1	0	+	0	+	2	0	0	0	2	4	A	B	B	C	C	C	C	C
PROGRESO	A	A	A	4	4	3	2	1	1	1	0	0	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	0	1	2	3	4	4	A	A
PUNO	4	4	4	4	3	3	1	1	0	1	0	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1	1	2	3	3	4	4
YUNGUYO	A	A	A	A	A	4	4	3	3	3	2	2	1	1	1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	1	2	3	4	A	A	A	A

LEGENDE : Températures positives : + — 2,0 à - 2,9°C : 2 — 5,0 à - 7,9°C : A
0,0 à - 0,9°C : 0 — 3,0 à - 3,9°C : 3 — 8,0 à - 11,9°C : B
- 1,0 à - 1,9°C : 1 — 4,0 à - 4,9°C : 4 en dessous de - 12,0°C : C

TABLEAU II

Risques de gelées à chaque décade de l'année. Températures en dessous desquelles on descend 1 année sur 2

	JUILLET			AOUT			SEPTEMBRE			OCTOBRE			NOVEMBRE			DECEMBRE			JANVIER			FEVRIER			MARS			AVRIL			MAI			JUIN		
ARAPA	4	4	3	3	3	2	1	1	0	0	0	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	1	2	2	3	3	4
AYAVIRI	C	C	C	C	B	B	A	A	A	4	4	3	3	2	1	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	2	4	A	A	B	B	B	C
AZANGARO	B	B	B	A	A	A	3	3	2	1	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	1	3	4	A	A	A	A	A
CABANILLAS	A	A	A	A	A	4	2	2	1	0	0	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	1	3	3	4	A	A	A
CAPACHICA	4	3	3	3	3	2	1	0	0	0	0	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	1	1	2	3	4	4
CHUQUIBAMBILLA	C	C	C	C	C	B	B	B	B	B	A	A	B	3	3	3	1	+	+	+	+	+	+	0	+	+	0	4	4	A	B	B	B	B	C	C
DESAGUADERO	B	B	B	B	B	A	A	4	4	4	4	3	3	2	2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	1	3	A	A	A	B	B	B
HUANCANE	B	B	B	A	A	A	4	3	3	2	1	1	0	0	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	0	1	3	A	A	A	B	B
HUARAYA	3	3	3	2	1	1	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	0	1	2	3	3
ILAVE	B	B	B	B	A	A	3	3	3	2	2	1	1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1	2	3	4	A	A	A	A
JULI	4	4	4	4	3	2	2	1	1	1	1	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	1	1	3	3	4	4
JULIACA	C	C	B	C	B	B	A	A	4	A	3	2	4	3	1	1	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	1	3	A	A	A	B	B	B	B
LAMPA	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	4	3	3	2	+	+	+	+	+	+	+	+	0	+	0	2	3	A	A	A	B	B	B	B
LLALLI	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	3	3	2	1	1	0	+	+	0	+	+	0	0	1	1	2	3	A	A	A	B	B	B	B
MAZO-CRUZ	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	B	B	B	B	4	3	1	1	0	0	+	0	3	2	3	A	B	B	C	C	C	C	C	C
MUÑANI	A	A	A	A	A	4	2	2	1	1	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	1	3	4	4	A	A	A
PIZACOMA	C	C	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	3	2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1	2	4	A	B	B	B	B	C	C
PROGRESO	A	A	4	4	3	2	1	1	0	0	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	1	2	3	4	4	A
PUNO	4	4	3	3	2	2	0	0	0	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	1	2	2	4	4
YUNGUYO	A	A	A	A	A	3	3	3	2	2	0	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	1	2	3	A	A	A	A

LEGENDE : Températures positives : +
0,0 à - 0,9°C : 0
- 1,0 à - 1,9°C : 1
- 2,0 à - 2,9°C : 2
- 3,0 à - 3,9°C : 3
- 4,0 à - 4,9°C : 4
- 5,0 à - 7,9°C : A
- 8,0 à - 11,9°C : B
en dessous de - 12,0°C : C

TABLEAU III

« Périodes libres de gelées ». Durée, en décades, des périodes pendant lesquelles les températures ne descendent pas en dessous d'un certain seuil ; les trois colonnes représentent les risques d'une année sur deux, une année sur cinq et le risque nul. L'année a 36 décades

SEUIL	0°			- 1°			- 2°			- 3°			- 4°			- 5°			- 8°			- 12°		
ARAFA	16	13	8	19	17	12	22	20	16	27	24	20	31	28	20	35	31	20	36	36	33	36	36	36
AYAVIRI	4	3	0	8	6	0	11	6	0	15	8	5	18	14	5	19	15	13	25	24	19	31	30	25
ANZANGARO	14	11	6	17	14	13	19	18	17	21	20	17	24	20	17	26	24	21	32	30	29	36	35	31
CABANILLAS	16	13	8	17	14	12	20	17	13	22	20	14	26	24	20	26	26	25	36	34	29	36	36	36
CAPACHICA	15	10	4	18	14	6	22	19	6	29	24	6	32	29	18	36	33	31	36	36	36	36	36	36
CHUQUI.	6	3	0	6	4	3	9	8	5	12	9	5	14	9	5	15	12	9	19	17	17	27	26	22
DESAGUA.	9	7	6	12	9	6	14	12	7	15	14	9	18	15	11	21	17	13	27	21	19	34	31	30
HUANCANE	9	5	0	13	7	4	15	11	7	17	14	13	22	19	15	24	21	20	31	27	22	36	36	31
HUARAYA	20	18	11	24	22	18	27	26	19	31	29	25	35	30	27	36	36	32	36	36	36	36	36	36
ILAVE	12	7	6	15	13	6	16	13	7	17	14	13	22	17	15	26	20	15	30	27	24	36	36	34
JULI	17	14	12	20	15	13	23	22	16	27	26	24	30	28	24	32	30	28	36	36	34	36	36	36
JULIACA	6	4	0	8	6	5	11	8	5	12	10	6	15	13	6	17	14	13	24	21	20	31	28	27
LAMPA	6	4	0	8	5	0	10	7	4	11	8	6	14	12	7	17	14	12	22	22	20	35	32	30
LLALLI	3	0	0	6	6	0	8	7	5	11	7	7	15	14	7	18	16	12	24	21	16	35	31	28
MAZO-CRUZ	0	0	0	3	0	0	4	0	0	6	3	0	8	6	4	9	6	5	11	8	6	14	14	13
MUÑANI	12	9	9	18	13	11	18	13	11	21	16	12	25	21	16	27	21	18	36	33	31	36	36	36
PIZACOMA	5	3	0	7	5	4	8	6	6	10	8	6	13	9	7	14	11	10	20	17	11	29	27	26
PROGRESO	17	15	8	20	20	17	24	23	19	27	25	21	28	28	24	32	30	26	36	36	34	36	36	36
PUNO	18	15	12	22	20	18	25	22	21	28	26	23	32	30	27	36	35	31	36	36	36	36	36	36
YUNGUYO	14	10	6	17	13	7	20	18	7	23	20	10	26	21	10	27	27	20	36	32	29	36	36	35

1.1.2. DURÉE DE LA PÉRIODE LIBRE DE GELÉES

Lorsque l'on veut savoir de combien de temps disposera une culture pour accomplir son cycle végétatif, on s'intéresse à la période libre de gelées. Nous avons ainsi d'abord déterminé pour chaque année la durée (en décades) de la plus longue période pendant laquelle la température ne descend pas en dessous de certains seuils, et ensuite sur l'ensemble des années disponibles les durées correspondant à des risques d'une année sur deux, une année sur cinq, ainsi qu'au risque nul : les résultats sont reportés sur le tableau III où l'on peut constater que la classification des stations n'est pas stable lorsque le niveau du risque change.

Mais cette connaissance de la seule Durée des périodes libres de gelées est insuffisante pour l'agriculteur, qui doit en connaître les Dates pour « placer » dans l'année le cycle des cultures grâce au choix des dates de semis : l'incertitude sur ces dates entraîne pour les agriculteurs l'échelonnement des semis pour faire face aux différents cas possibles (cf. p. 214).

Nous aurons recours pour cela à une troisième méthode :

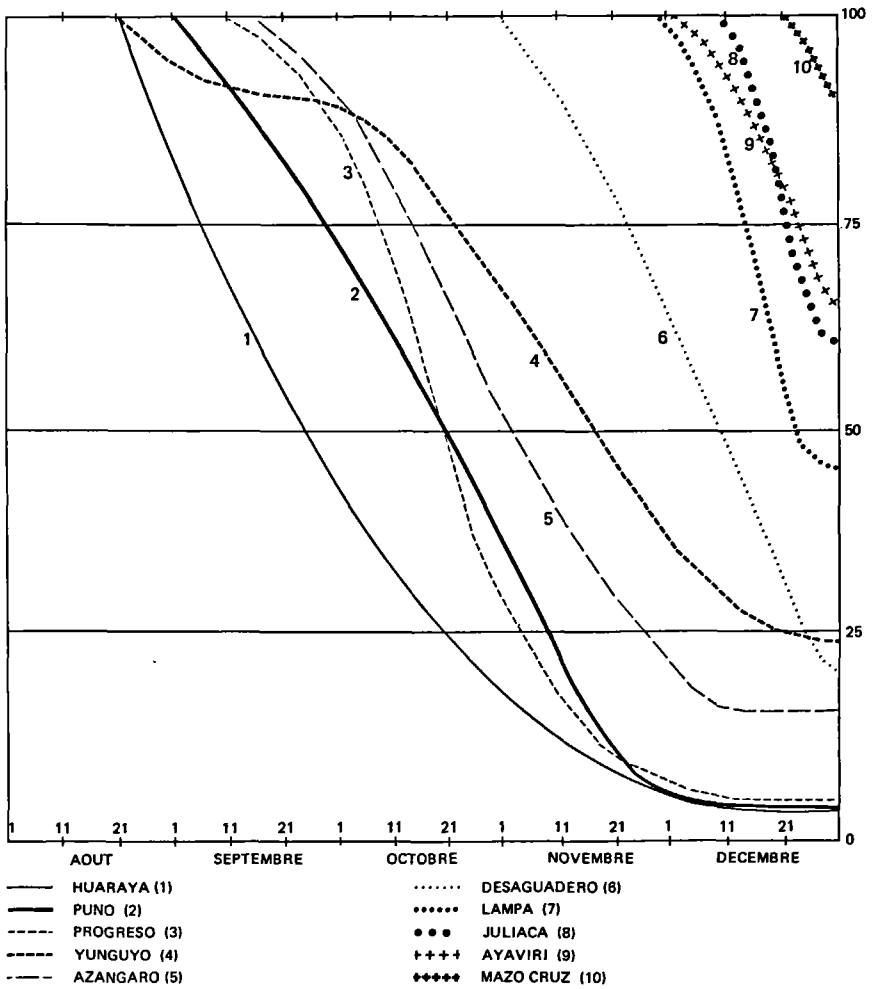


FIG. 2. — Fréquences des gelées entre une date quelconque et le 31 janvier (seuil 0° C)

1.1.3. ÉVOLUTION DES « PROBABILITÉS » DE GEL EN DÉBUT ET EN FIN DE SAISON (MÉTHODE INSPIRÉE DE CELLE DE FRANQUIN, 1973)

Ici de nouveau nous fixons des seuils de température, et nous déterminons la « probabilité » (fréquence) que la température descende en dessous de ce seuil :

— en début de saison (fig. 2), entre chaque décade et une date limite fixe, ici le 31 janvier ;

— en fin de saison (fig. 3), entre une date fixe, ici le 1er janvier, et chaque décade.

(La nécessité du choix d'une date-limite fixe vient de ce que, pour certaines stations, le risque de gel n'est jamais nul dans l'année).

Sur les figures 2 et 3 les résultats sont présentés sous forme graphique, après lissage des courbes, pour le seuil de 0° C ; les graphiques correspondant au seuil -2° C ont été publiés par ailleurs (MORLON, 1978).

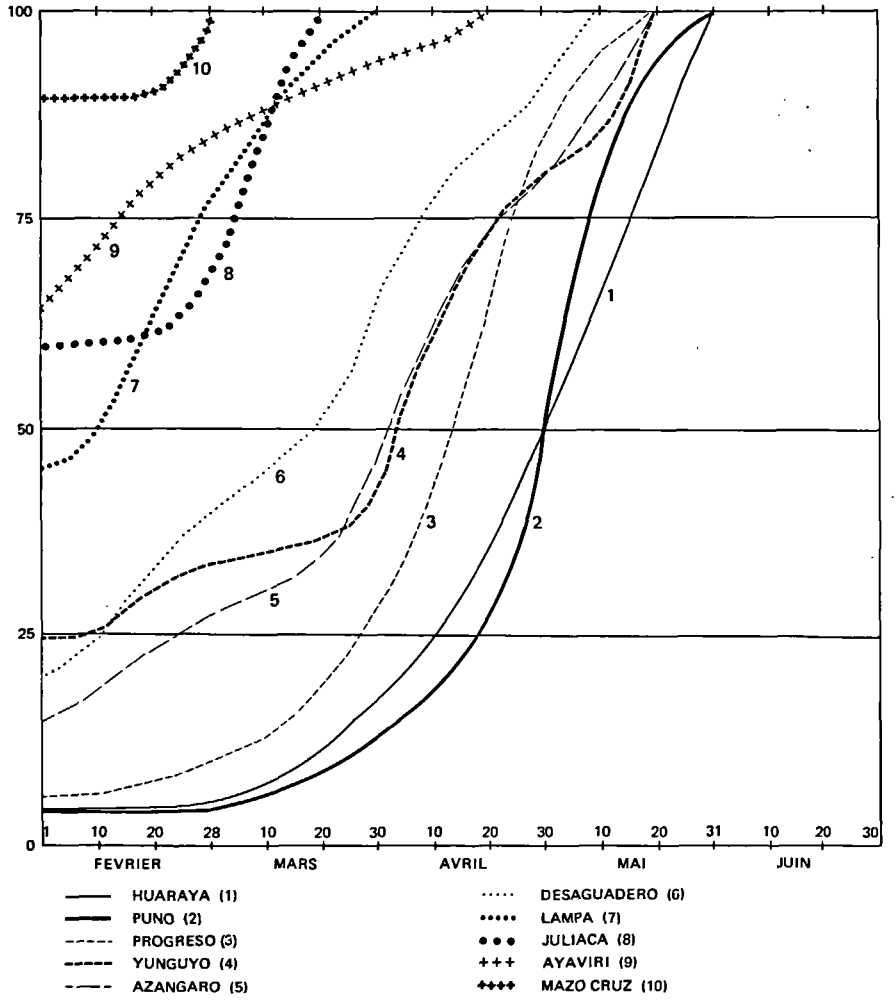


FIG. 3. — Fréquences des gelées entre le 1er janvier et chaque décade (seuil 0° C)

1.1.4. LE RISQUE DE SÉCHERESSE PENDANT LES PÉRIODES LIBRES DE GELÉES

Même si la sécheresse et les gelées sont étroitement liées (il gèle parce que l'air est sec et le ciel dégagé), la première correspond à une situation météorologique générale sur la région (« synoptique »), alors que le niveau des secondes est modulé par des microclimats locaux, dus à la proximité du lac Titicaca ou à la topographie.

Le délai entre la disparition (ou l'apparition) des gelées et celle de la sécheresse au cours de la saison, varie donc selon les endroits, et par conséquent, les localités les plus favorisées du point de vue des gelées sont celles où les déficits hydriques sont les plus importants et prolongés : c'est ce qui apparaît sur le tableau IV (issu d'un travail plus ancien (MORLON, 1976), le pas de temps y est le mois entier, et la « période libre de gelées » y est définie comme les mois pendant lesquels le minimum le plus bas est supérieur à — 5° C et la moyenne des minima supérieure à 0° C).

Les quatre méthodes que nous avons présentées illustrent différentes approches possibles pour la description des risques climatiques. Cette description peut suffire pour comprendre les stratégies paysannes de survie ou d'adaptation aux risques (cf. p. 213) ; mais nous avons besoin de connaître également les mécanismes en cause pour étudier les techniques traditionnelles de lutte contre le risque de gel (cf. p. 201).

1.2. Les mécanismes en cause dans le risque de destruction des plantes par le gel

1.2.1. LE BILAN DE RAYONNEMENT

Contrairement à ce qui est généralement affirmé dans la littérature climatologique sur la région, y compris les « ouvrages de référence » (ONERN-CORPUNO, 1965, p. 176) les gelées en saison des cultures sur l'Altiplano du lac Titicaca ne sont pas causées par les « invasions d'air polaire » [1], contre lesquelles la seule méthode efficace de lutte serait la construction de coûteuses serres à toit de verre, mais exclusivement par le bilan de rayonnement négatif, la nuit par ciel clair (MUNOZ et SANCHEZ, 1974).

Cela est démontré, entre autres, *par l'absence de gelée lorsque le ciel est complètement couvert*, et par l'étroite relation dans l'espace et dans le temps entre températures minimales (gelées) et tension de vapeur d'eau dans l'atmosphère (MORLON, 1979, annexe 1), qui explique les différences signalées précédemment entre stations situées à une même distance du lac Titicaca, mais dont les unes sont plus proches du versant amazonien, et les autres du versant pacifique désertique. Or il est possible de réduire ce type de risque soit en agissant directement sur le bilan de rayonnement, soit en jouant sur les gradients de températures qui en sont la conséquence.

L'effet d'abri

Le refroidissement nocturne est produit par la surface du sol qui perd de l'énergie par rayonnement vers l'espace. Si une partie de ce rayonnement est absorbée par un corps quelconque qui, à son tour, émet du rayonnement vers le sol, le bilan global est moins négatif et le refroidissement est moindre. Un tel corps peut être de l'eau dans l'atmosphère (nuages, brouillard,...) ou tout autre objet qui réduise l'angle dans lequel le rayonnement est définitivement perdu vers l'espace : montagnes, maisons, arbres (fig. 4).

TABLEAU IV

Déficits hydriques pendant les périodes libres de gelées. Le risque pris en compte ici est d'une année sur cinq (ou 2 années sur 10) ; les parties hachurées correspondent aux mois où le risque de gel est supérieur à ce seuil

STATION \ MOIS	JUILLET	AOUT	SEPTEMBRE	OCTOBRE	NOVEMBRE	DECEMBRE	JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN
CHUQUIBAMBILLA							0	0	0			
LAMPA						25	0	0	0			
LLALLI						0	0	0	0			
AYAVIRI					65	5	0	0	0			
AZANGARO				95	70	65	0	0	5 0	60 50		
PROGRESO			80	75	85	45	30	0	15 0	60 35	75 75	
PUNO			115	110	105	55	0	0	0	45 30	90 55	

Les nombres indiqués sont : - en début de saison, les déficits hydriques ETP-P (en mm) (4è quintile)
- en période d'assèchement, ETP-(P+RU) avec RU=50mm (1è ligne)
- et RU = 100mm (2è ligne) (4è quintile également)

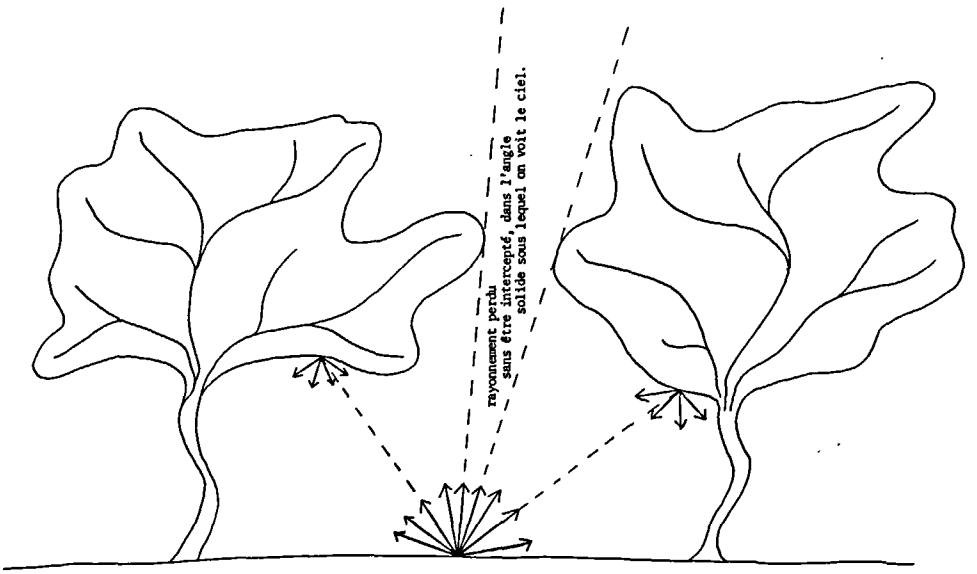


FIG. 4. — Réduction des pertes par rayonnement nocturne dans un « bocage »

Le flux de chaleur du sol

La perte d'énergie de la surface du sol est contrebalancée par des flux de chaleur depuis la profondeur du sol, qui proviennent en partie du rayonnement solaire emmagasiné le jour, et en partie de la chaleur interne du globe terrestre. L'importance de ces flux est contrôlée par la conductivité thermique des couches superficielles du sol, elle-même dépendante de l'humidité du sol, de son degré de tassement ou d'aération, et de la couverture végétale.

1.2.2. LES GRADIENTS DE TEMPÉRATURE ET LE DRAINAGE DE L'AIR FROID

Le lieu de « production » du gel est la surface du sol (ou de la végétation), et c'est elle qui, par contact, refroidit l'air. Or l'air froid est plus dense et reste donc au contact du sol à moins qu'il ne puisse s'évacuer (drainer) vers des lieux plus bas :

— sur une surface horizontale, la température est d'autant plus froide qu'on est près du sol, et que la surface de celui-ci est isolante (« mulch » ou gazon) (fig. 5). Nous en avons illustré les conséquences sur le risque de gel pour la station de Puno (tabl. V et fig. 6) où les différences entre indices actinothermiques mesurent le gradient de température au-dessus du sol, alors que la différence entre température sans abri et indice actinothermique à la même hauteur est due à l'effet d'abri (cf. ci-dessus).

— lorsqu'il y a du relief, les gelées sont beaucoup plus fréquentes et intenses dans la plaine que sur les pentes au-dessus : c'est le phénomène de « ceinture thermique » qui est une des causes de cette situation paradoxale où les cultures sont localisées sur des pentes érodées, alors que les sols riches et profonds de la plaine sont laissés en prairie.

L'autre cause est la suivante : pour les raisons exposées plus loin (cf. p. 220), les grandes propriétés (latifundia) ont choisi des systèmes de

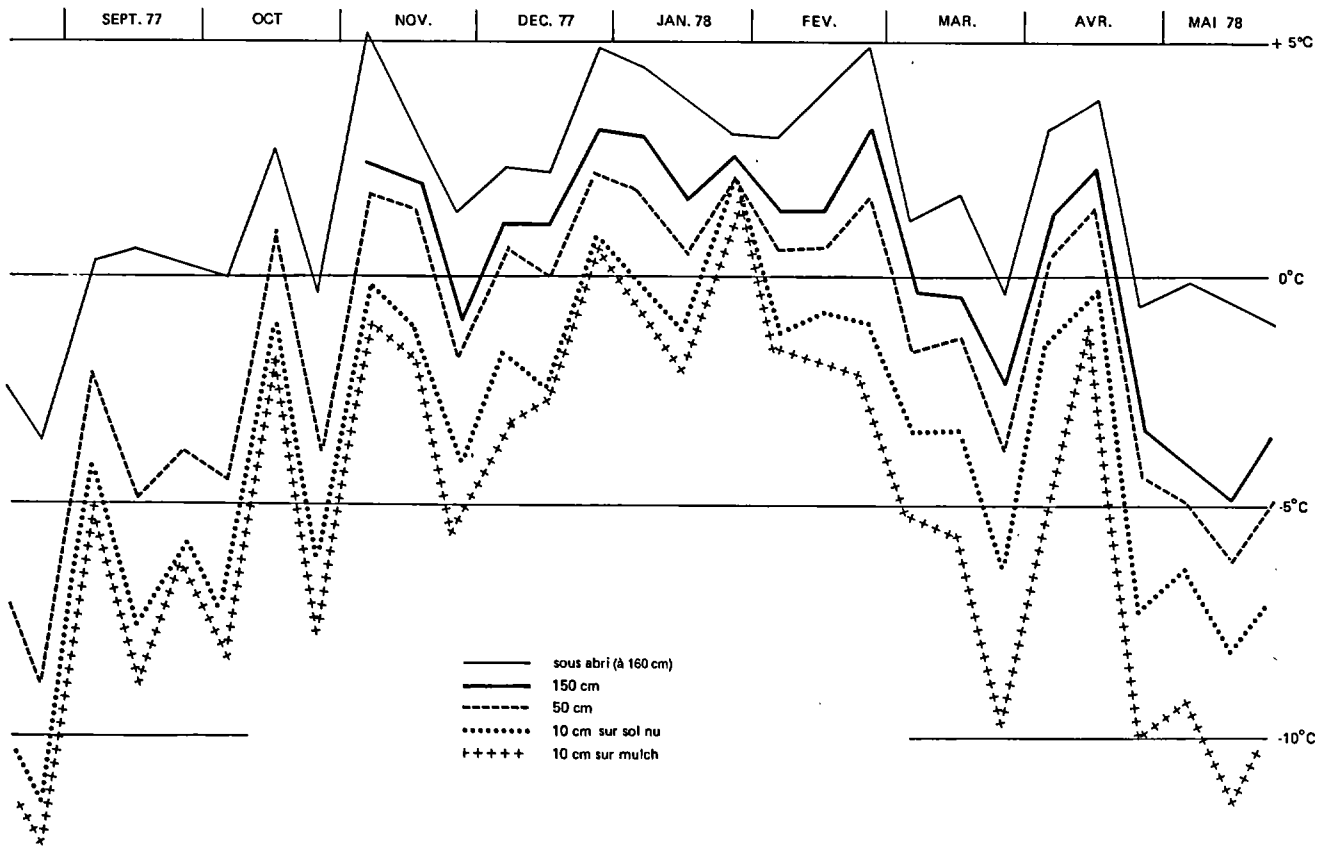


FIG. 5. — Températures minimales à différentes hauteurs au dessus du sol (sauf la température sous abri, il s'agit d'indices actinothermiques) Puno, 1977-78. Les différences entre indices actinothermiques (thermomètres de verre placés horizontalement à l'air libre) mesurent le gradient de températures au-dessus de la surface du sol ; la différence entre température sous abri et indice actinothermique à la même hauteur est due à l'abri qui ne laisse passer que l'air mais pas le rayonnement

TABLEAU V

Risques de gel à différentes hauteurs au-dessus du sol (Puno) (même légende que les tableaux I et II)

	JUILLET			AOUT			SEPTEMBRE			OCTOBRE			NOVEMBRE			DECEMBRE			JANVIER			FEVRIER			MARS			AVRIL			MAI			JUIN		
sous abri	4	4	4	4	3	3	1	1	0	1	0	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1	1	2	3	3	4	4
50 cm	B	B	B	B	A	A	4	4	4	4	3	4	3	3	2	1	0	+	+	+	0	+	0	+	+	0	3	4	4	4	A	A	A	A	B	B
10 cm, sol nu	C	C	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	4	3	2	2	0	0	1	0	2	0	1	1	3	A	A	A	A	B	B	B	B	B
10 cm avec mulch	C	C	C	C	C	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	3	2	3	0	0	1	1	1	+	1	2	3	A	A	B	B	B	B	B	C	C
10 cm avec gazon	C	C	C	C	C	B	B	B	A	B	A	A	A	A	A	4	3	3	2	0	1	1	2	0	1	2	4	A	A	B	B	B	C	C	C	C

A

sous abri	4	4	3	3	2	2	0	0	0	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	1	2	2	4	4
50 cm	B	B	B	B	A	4	4	3	3	3	3	1	1	1	1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	3	3	3	4	A	A	A	A	A
10 cm, sol nu	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	4	4	3	3	2	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1	3	4	A	A	A	B	B	B	B
10 cm avec mulch	C	C	B	B	B	B	A	A	A	A	A	4	A	4	3	2	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	2	3	A	A	A	B	B	B	C	B
10 cm avec gazon	C	C	B	C	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	4	3	1	+	+	0	+	0	0	+	+	0	2	4	A	A	B	B	B	B	C	C

B

A — Températures en dessous desquelles on ne descend qu'une année sur cinq

B — Températures en dessous desquelles on descend 1 année sur 2

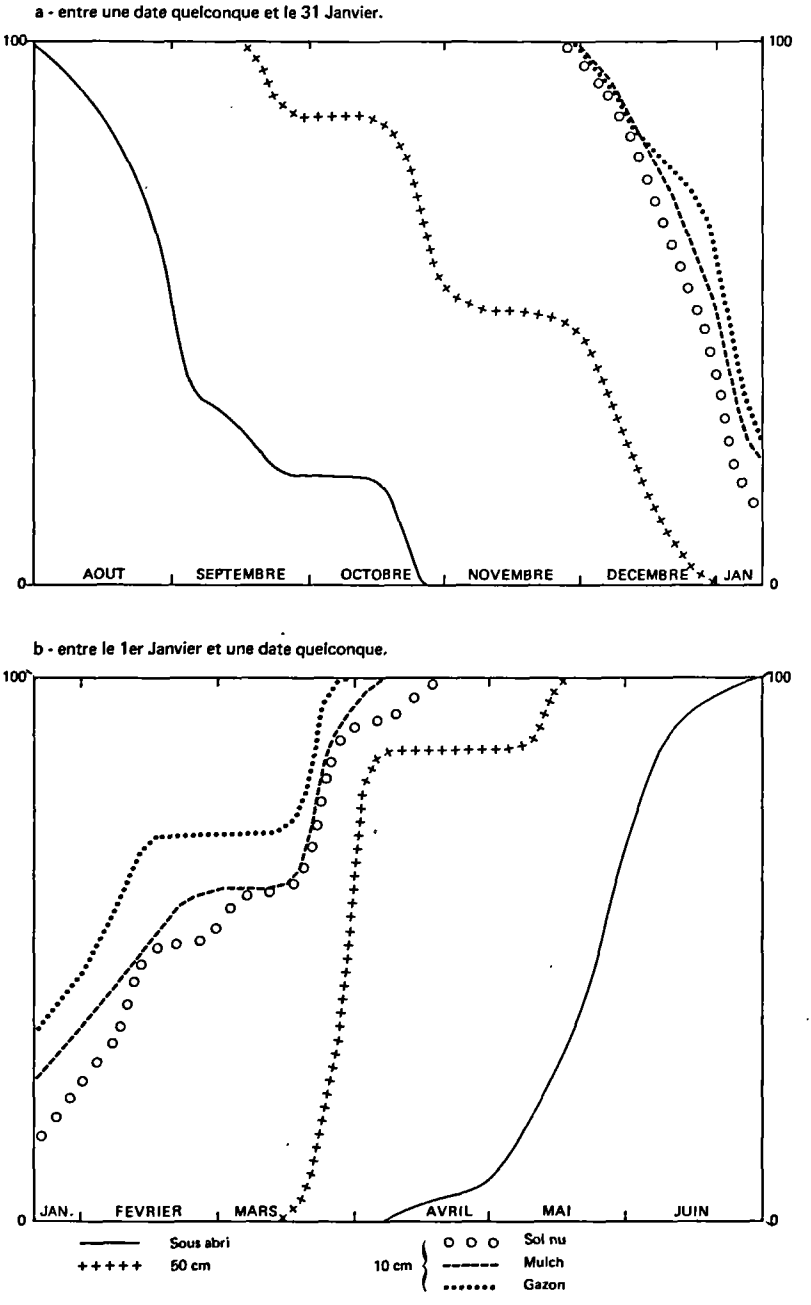


FIG. 6. — Fréquences de gel à différentes hauteurs au dessus du sol. Puno, seuil -2° C

production à base d'élevage en général extensif, et se sont donc réservé les plaines, qui contiennent les terrains les plus favorables pour cette production.

1.2.3. EFFET DU GEL SUR LES PLANTES

Dans une atmosphère très sèche (la tension de vapeur d'eau varie entre 1,5 et 8 mb), la répétition de l'alternance entre les gelées nocturnes, qui pompent l'eau hors des cellules, et l'intense rayonnement solaire diurne (32 MJ/m^2 pour un jour clair en saison des cultures, avec des maxima de 1 200 à 1 300 W/m^2), fait que le principal effet du gel sur les plantes cultivées est une déshydratation, beaucoup plus qu'une destruction mécanique par les cristaux de glace (petits, car la durée du gel est réduite, et probablement formés en dehors des cellules) : ces mêmes conditions sont utilisées par les paysans pour déshydrater les tubercules (fabrication du « chuño » à partir des pommes de terre). Cela explique les effets bénéfiques, fréquemment observés :

— de l'ombre lors du lever du soleil, qui réduit la déshydratation : ombres d'arbres, murs, bâtiments... ou bien versants ouest où, autrefois, les cultures montaient plus haut que sur les versants est :

« *L'exposition à l'ouest est considérée préférable à celle de l'est, car la brutale variation thermique causée par l'intense rayonnement solaire le matin peut produire des dégâts considérables sur les plantes gelées* » (WINTERHALDER et THOMAS, 1978 : 68).

— d'un système radiculaire sain et profond, atteingnant des couches de sol humide, qui permet à la plante de récupérer l'eau perdue. Au contraire, les plantes dont les racines sont trop superficielles, ou ont été asphyxiées par l'excès d'eau, meurent au premier gel.

1.2.4. CONCLUSION

Les mécanismes que nous avons brièvement décrits, sont tels que l'homme peut réduire les risques de dégâts sur les plantes, en aménageant le milieu et/ou en favorisant un *enracinement profond des cultures* : cela fait des siècles que les paysans des Andes ont aménagé le milieu pour assurer leurs récoltes, et nous allons passer en revue les techniques qu'ils emploient, en élargissant le cadre géographique de notre étude à l'ensemble des Andes du sud du Pérou.

2. TECHNIQUES TRADITIONNELLES DE RÉDUCTION DES RISQUES NATURELS

Nous présenterons ici quelques exemples de réduction directe du niveau d'un facteur naturel (climatique ou biologique) ou de son action destructrice sur une plante déterminée, en ne traitant que des techniques « traditionnelles », à l'exclusion de celles qui utilisent des intrants industriels dont le coût risque fort de n'être pas remboursé à la récolte (voir page 219 et suivantes).

2.1. **Aménagements du milieu**

Nous englobons sous ce terme les modifications permanentes et indépendantes des espèces cultivées, touchant en général la géométrie de la surface du terrain, qui permettent d'influencer les flux d'énergie et d'eau ou les déplacements d'animaux afin de limiter les dégâts sur les cultures. Nous ne les

présenterons pas ici par type de risque, car chaque aménagement a des effets multiples et doit être décrit en tant que tel.

Le lecteur intéressé trouvera des illustrations et des explications plus détaillées concernant ces aménagements, dans les publications de DONKIN (1979) ; MORLON (1979, 1981 a et b, 1986) ; MORLON *et al.* (1982) ; SMITH *et al.* (1968 et 1981) ; VERGARAY LARA (1949).

2.1.1. LES INFRASTRUCTURES D'IRRIGATION, SYSTÉMATIQUEMENT DÉVELOPPÉES PAR LES CIVILISATIONS PRÉCOLOMBIENNES SONT PRESQUE TOUJOURS ASSOCIÉES AUX AUTRES AMÉNAGEMENTS DÉCRITS CI—DESSOUS

L'irrigation elle-même entre plutôt dans la catégorie des méthodes « actives » (voir ci-dessous). Nous rappellerons seulement que, si la théorie exposée page 201 est exacte, l'irrigation permet aussi de réduire les dégâts du gel en rendant possible, à partir de l'humidité de couches profondes du sol, la « récupération » des plantes après la déshydratation au lever du soleil. Et un de ses rôles les plus importants peut être, autant que l'apport d'eau aux cultures en place, la possibilité de labourer et semer en temps voulu (cf. BOURLIAUD *et al.*, 1986).

2.1.2. ARBRES ET MURS : LE BOCAGE OU « CAMPIÑA »

« *Ainsi on a pu obtenir (sur l'Altiplano de Puno) de bonnes récoltes de navets fourragers « Aberdeen », choux de Bruxelles, choux-fleurs de belles dimensions, laitues, oignons et maïs de bonne qualité, tout cela sur des terrains abrités, entourés de murs et si possible d'arbres, par exemple les « qollis »* (Buddleia *spp.*) *qui font de l'abri aux champs* » (ROMERO, 1928 : 417).

Des bocages, combinant en général arbres et murs, ont été constitués jusqu'à nos jours sur toute l'étendue altitudinale des cultures, du niveau de la mer à plus de 4 000 mètres d'altitude. Moins spectaculaires à première vue, et donc moins souvent décrits, que les ensembles de terrasses (auxquels ils peuvent être associés), ils modifient très profondément le microclimat au moins en ce qui concerne les risques de sécheresse et de gelée, en réduisant :

— de nuit, les pertes radiatives d'énergie (fig. 4), et ce d'autant plus qu'est petit l'angle sous lequel on voit le ciel : la disposition idéale des arbres est donc une répartition régulière sur tout le terrain, et pas seulement en haies autour des parcelles. Il s'agit bien à nos yeux d'un effet d'abri, plus que de l'emmagasinement diurne de chaleur par les pierres des murs qui la restitueraient la nuit : nous savons en effet (CHOISNEL, 1986), que les obstacles vus sous un angle inférieur à 15° au-dessus de l'horizontale ne modifient pas les pertes de rayonnement, et les murs n'ont donc un effet que très localisé.

— de jour, l'excès de rayonnement solaire et ses conséquences : déficit hydrique, durée pendant laquelle la photosynthèse est réduite par la fermeture des stomates (BROCHET et GERBIER, 1975), et risques de destruction des plantes par déshydratation à la suite ou non d'une gelée nocturne. Nous parlons d'excès, car sur l'Altiplano le rayonnement solaire, qui est presque tous les jours de l'année supérieur à 20 MJ/m^2/jour, n'est probablement presque jamais limitant par défaut : contrairement à nos régions, et sauf cas extrêmes (peuplement dense de cyprès), nous n'avons jamais observé d'effet dépressif de l'ombrage lui-même (il peut y avoir par contre, et selon les conditions, concurrence, au niveau des racines, pour l'alimentation hydrique et minérale).

Nous ne disposons pas actuellement de mesures climatiques permettant de comparer par exemple l'intensité des gelées sous et hors bocage, mais seulement d'observations qualitatives, très convaincantes, sur la végétation (photos 1 et 2).

Le bocage protège également contre les arrivées latérales d'air sec, et les murs contre les dégâts d'animaux domestiques ou sauvages. Ces murs, que l'on peut trouver seuls ou associés aux arbres, sont toujours ajourés (construits par le simple empilement de pierres posées en équilibre les unes sur les autres — voir photos 3 et 4), au-dessus d'une limite altitudinale qui correspond très bien à celle des gelées en saison des cultures : ces murs ajourés, donc perméables, laissent s'écouler vers le bas l'air froid au lieu de le retenir en « lacs » comme le feraient les murs pleins que l'on trouve aux altitudes plus basses.

2.1.3. TERRASSES (photos 5 et 6)

Les aménagements des versants en terrasses, réalisés dans les Andes Centrales (Pérou, Bolivie) par différentes civilisations précolombiennes, sont considérés comme les plus élaborés de tout le continent américain. Le profil de sol, lorsqu'il est totalement artificiel (cf. RAMOS, 1984 ; MORLON, 1984), permet à la fois :

— d'évacuer, avec le moins d'érosion possible, toute l'eau en excès, par drainage au travers des pierres, graviers et sables disposés au fond (photo 7) ;

— d'avoir une réserve utile élevée, grâce à la profondeur du sol et au choix des textures des différentes couches et de leur succession.

De plus l'enterrassement est une condition pratiquement indispensable pour irriguer des pentes sans érosion.

Plusieurs hypothèses ont été envisagées en ce qui concerne le rôle éventuel des terrasses dans la réduction des gelées ou de leurs effets, par rapport à une pente sans terrasse :

— modification des écoulements nocturnes d'air froid, avec mélange entre couches de différentes températures ;

— réduction des pertes radiatives grâce aux murs de soutènement, ainsi qu'aux lignes d'arbustes dont la plantation était probablement générale au bord de la terrasse ;

— grâce à la réserve utile plus élevée, meilleure récupération des plantes de la déshydratation causée par le gel.

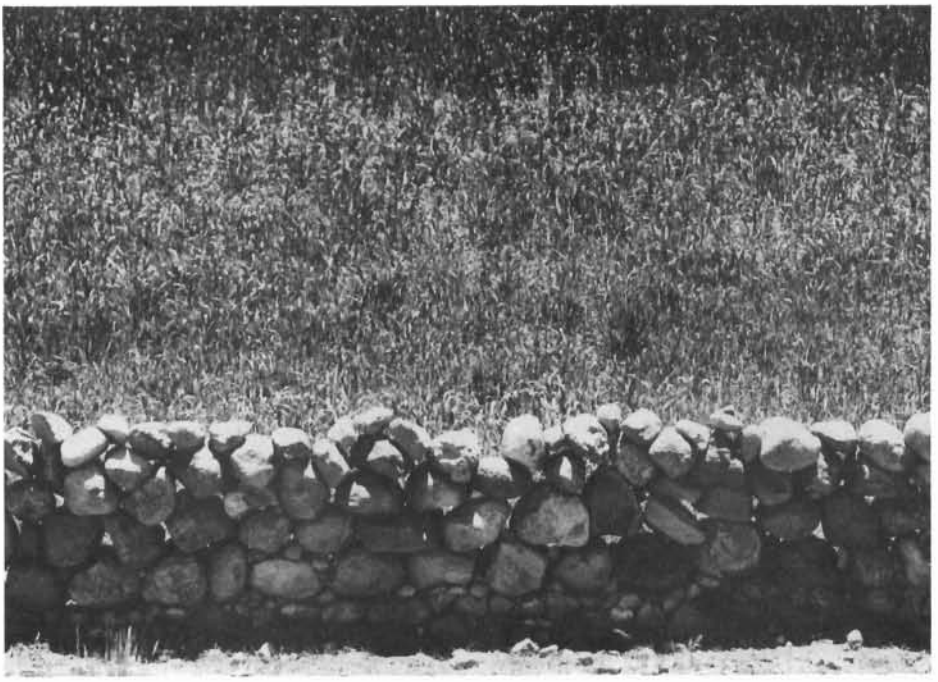
Ici encore, nous ne disposons que d'observations qualitatives : « *Ainsi on peut admirer sur tout l'Altiplano l'existence des terrasses, taillées dans les montagnes, où les cultures fructifient à l'abri des rochers ou de l'inclinaison des versants* » (ROMERO, 1928 : 405). Les seules observations météorologiques réalisées à notre connaissance (GRACE, 1985), ne comparent pas des versants avec et sans terrasses, mais différentes positions et orientations sur deux versants en terrasses.

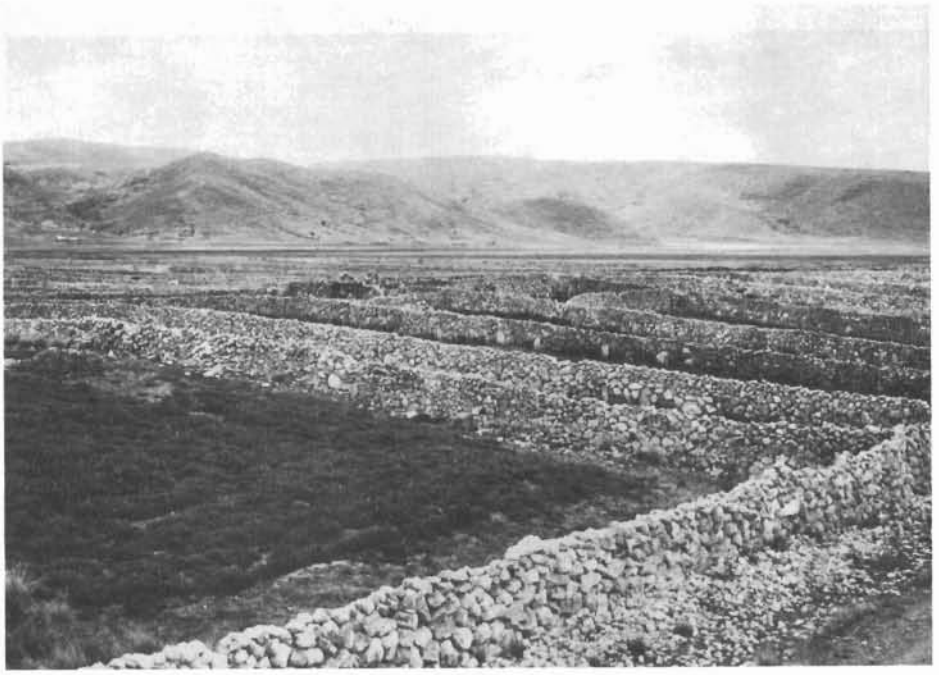
2.1.4. PLANCHES ET ADOS (photos 8 et 9)

Des restes d'ados précolombiens, dont les plus anciens datent d'il y a trois mille ans (ERICKSON, 1985) couvrent 80 000 ha sur l'Altiplano du lac Titicaca. Seuls quelques uns d'entre eux étaient encore cultivés, jusqu'aux travaux de

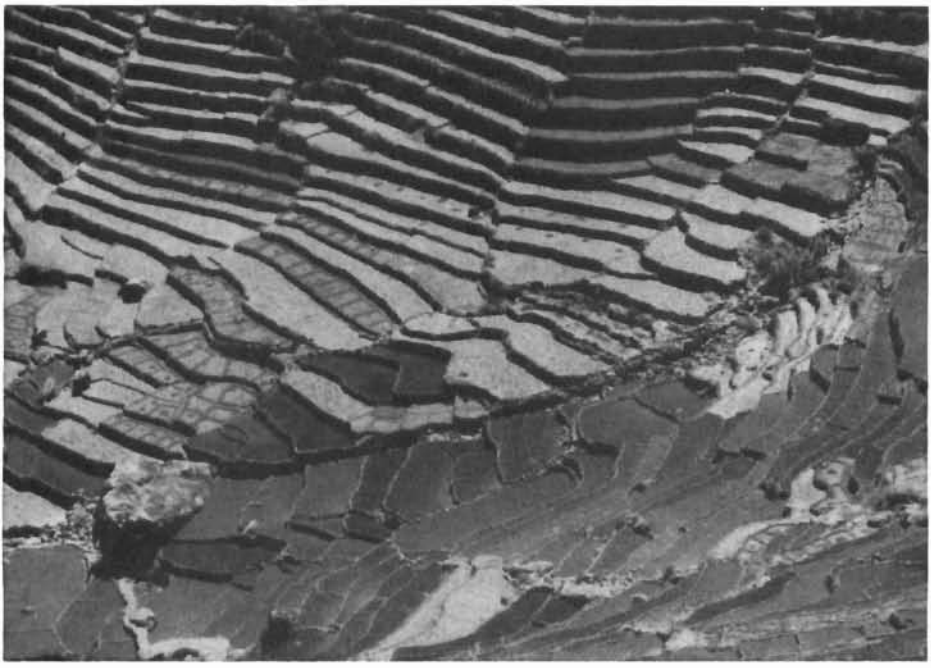
PHOTOS 1 et 2. — Microclimat créé par un « bocage » dense avec arbres et murs (Cala-Cala, 4 100 m. d'altitude)

Toutes les photographies sont de l'auteur





PHOTOS 3 et 4. — Murs perméables laissant s'écouler l'air froid lors des gelées nocturnes (altitude 3 830 m., région du lac Titicaca)



PHOTOS 5 et 6. — Versant aménagé en terrasses (Laraos, vallée du Cañete, altitudes 3 200 à 3 500 m.)

PHOTOS 7. — Érosion en l'absence de terrasse. (Champ de maïs dans la région d'Andahuaylas, alt. 3 400 m.)

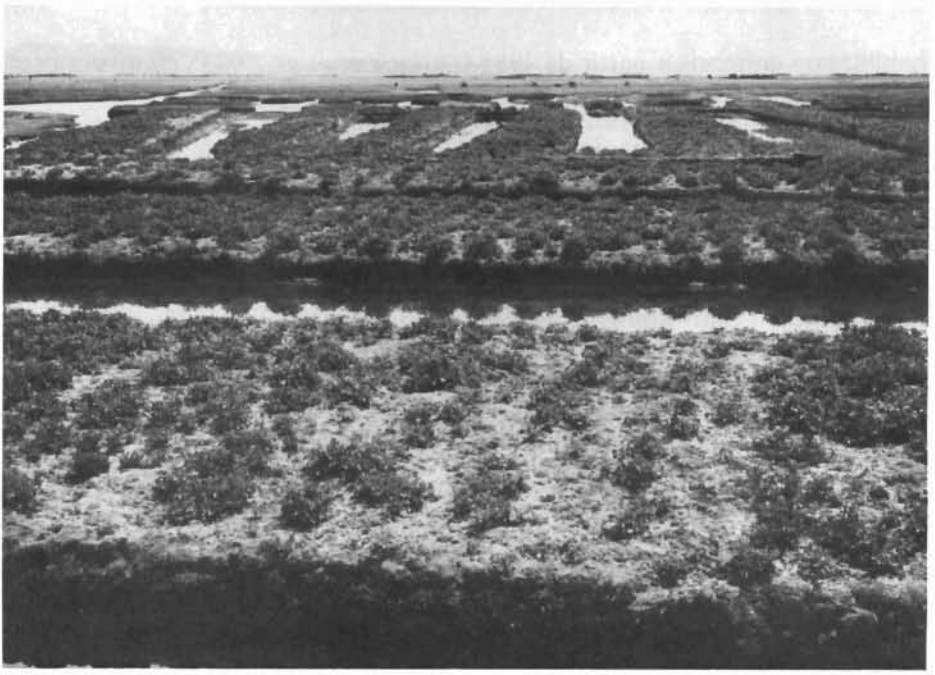
réhabilitation entrepris à partir de 1981 (ERICKSON *et al.*, 1985 ; GARAYCOCHEA, 1985).

Dans un article magistral, SMITH *et al.*, (1968) ont, il y a presque vingt ans, à la fois révélé l'existence de ces restes, passés jusque là inaperçus, et posé l'essentiel des questions quant au rôle et à l'utilisation de ces ados, ainsi qu'à leur époque de construction et d'abandon : situés autour du lac Titicaca ou de quelques autres plus petits, dans un plaine alluviale où en raison des pluies le niveau de la nappe phréatique remonte, suivant les lieux et les années, très près, voire au-dessus de la surface du sol, leur rôle premier était sans doute de pouvoir cultiver suffisamment au-dessus du niveau pouvant être atteint par l'eau : avant l'introduction par les Espagnols de l'orge et de l'avoine, les espèces cultivées à cette altitude sont toutes (sauf une, moyennement tolérante, la « cañihua » — *Chenopodium pallidicaule*) extrêmement sensibles à l'excès d'eau : tubercules dont la pomme de terre, *quinoa (Chenopodium quinoa)* et, dans les lieux les moins gélifs, lupin changeant.

Différentes dispositions des groupes d'ados permettent également de penser à d'autres rôles : évacuation de l'eau dans certains cas, mais beaucoup plus souvent rétention dans les canaux d'eau qui permettait, entre autres :

— l'alimentation hydrique des cultures lors d'épisodes secs, et la réduction de l'évapotranspiration potentielle (ETP) au niveau des plantes cultivées grâce à l'évaporation de l'eau des canaux ;

— un effet thermorégulateur (à notre avis très discutable à cause de l'intense *évaporation*) : l'eau absorbant la chaleur le jour et la restituant la nuit entraînerait une réduction du risque des gelées.



PHOTOS 8 et 9. — Planches précolombiennes, récemment réhabilitées sur l'Altiplano (Huatta, altitude 3 812 m.)

Cette réduction, dont des mesures micrométéorologiques et des comparaisons entre parcelles cultivées semblent confirmer l'existence(RAMOS, 1986 ; GRACE, 1985), peut être expliquée par d'autre mécanismes :

— drainage de l'air froid, ou plus exactement localisation des plantes cultivées à une hauteur où l'air est moins froid ;

— peut-être mélange des couches d'air de différentes températures lorsqu'il y a du vent ;

— moindre perte de rayonnement dans les canaux (le ciel étant vu sous un angle moindre), mais cela n'est le cas que lorsque ces canaux sont suffisamment étroits par rapport à leur profondeur qui, dans les ados reconstruits récemment, est de 80 cm.

— et, également meilleure récupération des cultures après une déshydratation par le gel, en contraste avec la « pampa » non aménagée, où celles des plantes qui ont souffert d'excès d'eau sont les premières à mourir aux premières gelées.

2.2. Caractéristiques morphologiques ou spatiales des plantes ou de l'ensemble de la végétation

La sélection de certains types morphologiques, et leur position relative dans les cultures associées, permettent de réduire les risques de destruction de ceux des organes végétaux consommés par l'homme.

2.2.1. RISQUES CLIMATIQUES

Les différences de températures minimales, parfois importantes (fig. 5 et 6, tabl.. V), entre sol nu et gazon ou mulch, amènent à se demander s'il ne faut pas changer la proposition classique « c'est à cause des gelées qu'on ne peut faire que de l'élevage (sous entendu : extensif comme le fait le latifundio) » en : « c'est parce que le terrain est couvert de prairies que les gelées sont (plus) fortes ».

Lors des gelées radiatives très brèves, les températures négatives ne pénètrent pas dans le sol : c'est sans doute une des raisons de l'importance des tubercules dans l'agriculture de haute altitude : en effet, à partir du début de la tubérisation, on est toujours assuré de récolter quelque chose, en cas de gelée comme de grêle.

En début de végétation, les plants de pomme de terre issus de semences de grandes dimensions résistent mieux aux gelées (réserve d'eau dans le tubercule ? Système racinaire développé plus vite ?).

Nous avons rencontré des paysans qui préféraient continuer à cultiver en terrain limoneux compactable et battant, des parcelles épuisées et au taux de matière organique très faible, plutôt que de retourner des prairies permanentes voisines, au sol beaucoup plus riche, à cause de risques de gel beaucoup plus important (dans une situation topographique identique). En effet, le retournement de ces prairies envahies de grosses touffes de graminées siliceuses (des genres Stipa et Festuca), donne un sol « creux » et isolant qui empêche les flux de chaleur depuis la profondeur.

C'est pour éviter cela que d'autres paysans, plus nombreux, brûlent la prairie avant de la retourner.

Une adaptation du type de labour à l'incertitude du climat est décrite par LESCANO (1979) : « ... *les plus vieux et experts se réunissent* (...) *pour décider de quelle façon réaliser le travail pour une bonne production, en fonction des*

pronostics du climat pour la campagne : pour les années pluvieuses la « chaapa », billons élevés et alignés dans le sens de la plus grande pente (fig. 7) ; *pour une année sèche la « lluja » sans billons comme avec un tracteur, dans ce cas la femme retourne les mottes d'un seul côté*». (Il s'agit du labour à la « chaquitaclla », voir BOURLIAUD *et al.*, 1986). « *De même sur une pente : pour une année sèche des sillons obliques « secquen » pour retenir l'eau ; pour une année pluvieuse, des sillons « checcan » dans le sens de la pente. Quand le pronostic est incertain, des sillons « kinray » obliques dans les deux sens, avec au centre dans le sens de la pente un canal que l'on peut fermer ou ouvrir. Dans la « pampa », pour une année sèche existe la modalité appelée « simppa » en forme de damier, pour mieux profiter de l'eau de pluie* ».

Dans le cas de toutes petites parcelles, de couverts végétaux peu denses (fréquents à cause des facteurs limitants nutritionnels) ou de cultures associées, l'existence d'un très fort gradient de température depuis la surface du sol a une conséquence immédiate : un organe végétal a, toutes choses égales par ailleurs, d'autant moins de risques d'être détruit par le gel qu'il est situé plus haut dans ce gradient. Cette relation, que nous avons vérifiée statistiquement sur plusieurs expérimentations d'orge (MORLON, 1979), montre tout l'intérêt des variétés hautes (au contraire de ce qui est actuellement recherché dans nos

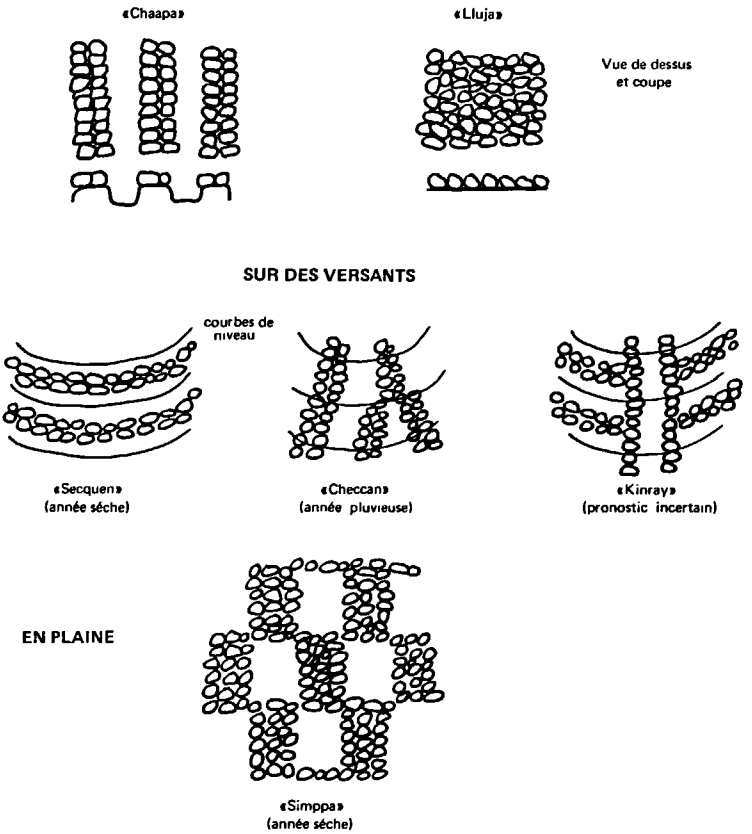


FIG. 7. — Types de labours (billons) suivant la topographie et le pronostic climatique (LESCANO, 1978)

régions), pour toutes les espèces dont on consomme les graines : céréales et légumineuses, et ce d'autant plus que lorsque, malgré tout, les épis ou inflorescences sont détruits par le gel, une variété haute laisse beaucoup plus de fourrage pour les animaux. Par contre, dans le cas d'un couvert végétal homogène et dense, le niveau le plus froid est le haut de ce couvert... ce qui peut accroître le risque de dégâts du gel, par rapport à d'autres types de couverts.

Les cultures associées ont, entre autres, pour effet de multiplier les surfaces d'échanges donc de réduire la demande évaporatrice de l'air au niveau de chaque espèce (BROCHET et GERBIER, 1975). Ainsi les paysans laissent parfois se développer les « mauvaises » herbes en début de saison, pour les récolter comme fourrage lorsque la compétition avec les espèces cultivées se fait sentir (MORLON, 1981 b). Par ailleurs, les espèces hautes abritent les espèces basses, réduisant les pertes radiatives pour ces dernières : « *dans le Nord du Pérou et d'autres lieux, il est habituel de planter de la quinua comme bordure autour du blé, des pommes de terre et autres cultures que, selon les indigènes, la quinua « protège » contre l'action des gelées* » (LÉON, 1964 : 78).
« *La majorité des agriculteurs associent le maïs avec jusqu'à 3 autres cultures. Lorsqu'on leur demande l'explication de telle ou telle association, ils donnent des raisons qui vont de la persistance de la tradition à la protection contre le vent et les gelées* » (FRANCO et BENJAMIN, 1978). Mais, là encore, nous manquons de mesures micrométéorologiques dans les conditions de haute altitude.

La résistance à la grêle est très liée à des caractéristiques morphologiques :

— épis de céréales abondamment pourvus de barbes, ou recourbés vers le bas : dans le premier cas le choc des grêlons est amorti, dans le second il ne peut arracher les grains ;

— angle aigu d'insertion des feuilles sur la tige de quinua *(Chenopodium quinoa)* (M. TAPIA, *com. pers.*).

2.2.2. RISQUES PHYTOSANITAIRES ET DIVAGATIONS D'ANIMAUX

Les paysans utilisent différentes associations avec des espèces toxiques ou inappétentes, parmi lesquelles deux fournissent des aliments : la capucine tubéreuse *(Tropaelum tuberosum)* et le lupin changeant *(Lupinus mutabilis)* (CAMINO, 1978 ; ZANABRIA et CACEDA, 1986).

Quelques lignes de lupin, non consommé par les mammifères, sont souvent plantées tout autour des parcelles, servant ainsi de protection contre les divagations d'animaux.

Enfin, si les paysans cultivent des variétés « amères » de quinua *(Chenopodium quinoa)*, ce n'est peut être pas faute d'avoir été capables de sélectionner des variétés « douces » exemptes de saponines, comme celles que produit la recherche agronomique moderne. En effet, les ravages d'oiseaux sont considérables sur les variétés douces... conduisant certains techniciens à prôner la suppression des arbres où nichent ces oiseaux ! « *On peut donc estimer que le problème a été pris à l'envers, en considérant l'amertume seulement comme un inconvénient (pourtant éliminable par d'autres moyens, lavage ou polissage avant consommation), sans tenir compte de l'intéret qu'elle représente pour assurer la récolte : on comprendrait alors que les paysans andins n'aient pas sélectionné de variété douce (accessoirement, on pourrait aussi vérifier si les saponines ne sont pas liées à des résistances au gel ou à la sécheresse). Il reste maintenant à trouver* :

— *d'une part, des techniques peu coûteuses pour le polissage des grains* ;

— *d'autre part, la solution, génétique celle-là, d'un handicap beaucoup plus grave : l'absence de dormance du grain mûr, qui entraîne la germination sur pied à la moindre pluie* » (MORLON, 1983).

2.3. **Méthodes actives de lutte**

Des paysans utilisent ici ou là dans les Andes du Pérou des méthodes de lutte contre les gelées telles que :

— irrigation par aspersion d'eau additionnée d'urée (région de Cajamarca) ;

— au moment le plus froid, avant le lever du soleil, danser dans les champs en agitant « ponchos » et « mantas » (E. AQUIZE, *com. pers.*) : l'effet serait de mélanger les couches d'air de différentes températures et ainsi de réduire le niveau des gelées à proximité du sol.

— fumée, le problème étant actuellement la disponibilité de combustible. GARCILASO DE LA VEGA, fils d'un conquérant espagnol et d'une princesse inca, décrit ainsi son utilisation au Cuzco au milieu du XVIe siècle : « *Parce que dans cette vallée du Cuzco et celle de Sacsahuana et d'autres proches, et dans toutes celles qui aient le même climat, le gel est très rigoureux* (...), *et il faut savoir que dans ces vallées il gèle toute l'année, qu'on soit en hiver ou en été, quand le ciel est dégagé à la nuit tombante* (...). *Les indiens, voyant aux premières heures de la nuit le ciel dégagé, sans nuages, craignaient le gel ; ils mettaient le feu au fumier (aux déchets ?), et chacun personnellement s'efforçait de faire du feu dans son enclos ; parce qu'ils disaient qu'avec la fumée on évitait le gel, parce qu'elle servait de couverture, comme les nuages, pour qu'il ne gèle pas. Moi j'ai vu cela au Cuzco ; je ne sais s'ils le font encore aujourd'hui, je n'ai pas su si c'était vrai ou non que la fumée évitait le gel parce que, étant gamin, je ne me préoccupais alors pas tant de connaître en détail les choses que je voyais les indiens faire* » (GARCILASO, 1976/1609, VII, 5, T. II, p. 95).

On notera la dérive consécutive à quatre siècles de colonisation, en comparant avec ce qui est rapporté par MISHKIN (1946), sur la base d'observations faites dans la même région de Cuzco :

« *Les rituels chrétiens (sic !) jouent un rôle important dans la protection des récoltes contre les maladies et les rigueurs du climat. On repousse la grêle en brûlant de l'encens et aspergeant de l'eau bénite. Contre « le gel », des feux sont allumés dans les champs. Mais il faut noter que beaucoup d'Indiens considèrent ces feux comme un moyen d'engager un corps-à-corps contre « le gel » personnifié, et non de protéger les plantes en augmentant la température à leur proximité. Pour cette raison, les feux aggravent fréquemment « le gel » (...) : « le gel », enragé par la résistance délibérée des Indiens, s'acharne à tout détruire dans les champs* ».

2.4. **Conclusion**

Cette revue rapide a permis de mettre en évidence que, même s'ils ne conceptualisent pas les mécanismes physiques de la même façon que nous (dans le langage courant, les gelées « tombent du ciel »), les paysans andins en ont trouvé à peu près toutes les conséquences en matière de lutte contre les risques climatiques.

Mais ces techniques ne sont pas actuellement toutes utilisées de façon systématique : soit à cause des difficultés d'approvisionnement en eau d'irrigation (ou en combustible pour la fumée), soit surtout dans le cas des aménagements, à cause de deux types d'insécurité, ou de risques, qui ceux-là n'ont plus rien de naturel :

— insécurité foncière : risques de spoliation ou d'accaparement des terrains une fois aménagés ;

— insécurité concernant la commercialisation des produits : des investissements en travail aussi importants ne se justifiant, dans la société actuelle, que si l'on en tire de façon sûre un supplément de revenu, et pas seulement une plus grande sécurité dans l'autoconsommation.

Deux exemples sont tout à fait significatifs : dans la province de Chumbivilcas, les paysans ont planté de nombreux arbres autour des parcelles après la réforme agraire et la remise de titres de propriété dans les années 70, et ce autant pour marquer un territoire que pour les autres effets de l'arborisation ; sur l'Altiplano de Puno les réhabilitations ou reconstructions de terrasses et planches connaissent un essor considérable depuis les changements d'ambiance et de perspective consécutifs au changement de gouvernement en 1985.

Nous y reviendrons dans la troisième partie de cette étude.

3. SURVIVRE AUX RISQUES [2]

Survivre aux risques, c'est avant tout les disperser, de toutes les façons et à toutes les échelles possibles, de la parcelle à l'ensemble des activités économiques d'une famille. Mais c'est aussi limiter la perte nette, c'est-à-dire, lorsqu'il n'a pas été possible de lutter efficacement contre les causes (cf. page 195), réduire l'investissement pouvant être perdu, ce qui se traduit dans les systèmes de production par l'équilibre entre productions autoconsommées et vendues ; et ici les risques naturels ne sont pas seuls en cause.

Le report des récoltes des bonnes années sur les mauvaises est tout à fait banal. Mais dans une région où les tubercules constituent la plus grande partie des productions, ce report a demandé la création de techniques particulières de conservation par déshydratation, qui utilisent précisément l'alternance gel nocturne — intense rayonnement solaire diurne, c'est-à-dire les mêmes conditions qui sont destructrices pour les cultures en place. Sont ainsi fabriqués :

— avec des pommes de terre, le « chuño » (déshydratation simple) et la « moraya » ou « tunta » (déshydradation plus lavage à l'eau courante, éliminant les produits solubles fermentescibles) ;

— avec l'oca *(Oxalis tuberosa)*, la « qaya ».

Mais les produits obtenus ne peuvent évidemment plus servir comme semences : ainsi, une mauvaise récolte de pommes de terre se traduit l'année suivant par une moindre surface ensemencée (et inversement) ; les arrière-effets sur les assolements peuvent se propager sur plusieurs années en s'amortissant comme des ondes.

3.1. La dispersion des risques dans l'espace : les parcelles de culture

3.1.1.DANS CHAQUE PARCELLE SONT ASSOCIÉES PLUSIEURS ESPÈCES, et pour chaque espèce sont mélangés des types génétiques différents tant par les utilisations culinaires que par les résistances aux facteurs de risque (photo 10) : en cas de destruction d'une espèce ou d'un type génétique, d'autres survivent et, surtout si les dégâts sont précoces, compensent en partie la perte de récolte par suite de la réduction de compétition.

Mais le souci de dispersion des risques guide les modalités de travaux comme le semis, la suite des opérations que nous avons observée près du lac Titicaca étant :

— l'ouverture d'un sillon à l'araire (5 cm pour les Chénopodiacées et 10 cm pour les céréales)

— l'éparpillement des grains tant au fond des sillons que sur les flancs.

— le recouvrement lorsque l'araire ouvre le sillon voisin.

Ainsi les graines placées sur les flancs du sillon assureront la production en cas de pluies abondantes ou précoces, et dans le cas contraire, celles enfouies plus profondément au fond du sillon (notons qu'il n'y a ni semelles de labour, ni risques de déchaussement par le gel qui, comme nous l'avons dit, ne pénètre pas dans le sol. En expérimentation des semis de blé jusqu'à 20 cm de profondeur ont levé).

3.1.2. ENTRE PARCELLES DIFFÉRENTES, les risques sont dispersés par des dates de semis échelonnées, le problème étant d'obtenir le déroulement complet du cycle végétatif entre deux évènements létaux (sécheresse-gelée), tout en plaçant les stades les plus sensibles de chaque espèce dans les périodes de moindres risques : « (...) *car le maïs dans ce royaume doit commencer à être semé depuis le mois de juillet fête de Saint Jacques (25 juillet) le premier maïs et on doit terminer de semer jusqu'à Noël (...)* » (GUAMAN POMA, 1613-1620 : 1152). Ou encore cette règle recueillie par FONSECA (1972 : 56) à Chaupiwaranga dans le département de Pasco : « *Mas altukaptin despacio pokon, kepata murushka kajpa ushan, punta murushaka tinkun, altunachu mas sakilami, punta tammiawan tinkun* ». Ce que l'on peut expliciter ainsi : « *Plus c'est haut, plus cela mûrit lentement. Ce qui y est semé tard peut geler ; ce qui y est semé plus tôt mûrit. En haut les terres sont plus sèches (non irriguées) et en semant tôt on profite de toutes les pluies* ».

Mais le problème n'est pas toujours facile, en particulier en ce qui concerne les risques phytosanitaires, comme le remarquent FRANCO et BENJAMIN (1978) à propos « *de la grande dispersion des dates de semis de maïs dans le Callejón de Huaylas. Dans le « domaine de recommandation » (zone homogène) N° 1, on commence à semer en juin ; ce sont principalement des producteurs de « choclo » (maïs doux consommé frais) qui avancent leurs dates de semis, attirés par les prix de vente plus élevés en décembre-janvier et à cause des maladies (du maïs, plus tard en saison des pluies). Mais en général, tous les agriculteurs qui disposent de l'irrigation tendent à avancer les dates de semis pour essayer d'échapper aux attaques des maladies, mais il semblerait que cette pratique produit des effets contradictoires, étant donné que les premiers semis se réalisent quand les récoltes ne sont pas encore terminées (dans les parcelles voisines), constituant ainsi un des facteurs qui aggravent les problèmes phytosanitaires de cette région (à cause de la transmission des maladies d'une parcelle à une autre)* ».

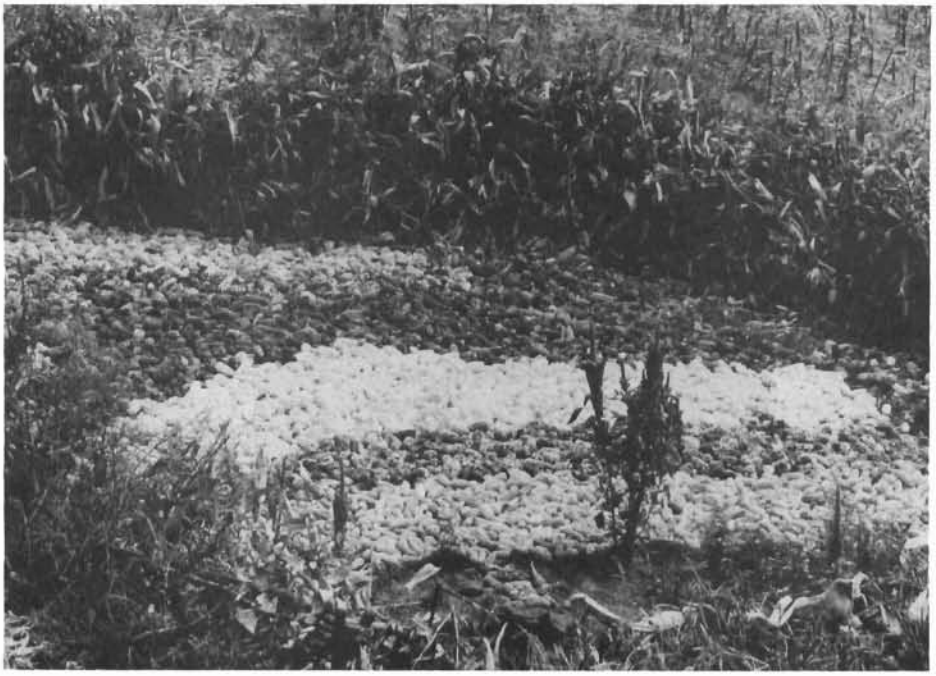


PHOTO 10. — Types génétiques différents dans une même parcelle (Andahuaylas, Pérou)

PHOTO 11. — Parcellaires en « bande verticale » ; les murs dans le sens de la pente séparent les propriétés individuelles (Qariya, Bolivie, alt. 4 100 — 4 250 m.)

Mais c'est la dispersion des risques entre parcelles situées dans des milieux pédoclimatiques différents qui a été le plus souvent décrite dans les Andes sous le nom de « verticalité » ou « d'utilisation d'un maximum d'étages écologiques » (Murra). Nous ne nous étendrons pas sur cette stratégie maintenant bien connue et soulignerons seulement quelques points qui nous semblent importants :

a) Les paysans réalisent toujours un compromis entre :

— la dispersion spatiale des risques, qui implique un maximum d'espèces et variétés ayant un comportement différent face aux risques climatiques et phytosanitaires, dans chaque parcelle :

« *À cause de la pluie et des gelées, nous semons toutes les cultures en différents endroits pour assurer quelque récolte, parce que si une gelée tombe dans la « pampa » (la plaine) où elle détruit tout, nous aurons quand même des produits dans d'autres parcelles. Pour cela aussi, dans une grande parcelle nous semons des pommes de terre, de l'oca* (Oxalis tuberosa), *de la quinua* (Chenopodium quinua) *et des fèves. Cette année il n'y a pas eu de gelées et nous avons récolté toutes les espèces ; seulement la pomme de terre a échoué à cause de l'excès de pluie* » (G. L., paysan de l'Altiplano).

« *Nous savons que dans tous les étages écologiques le maïs est une culture à risques : risques de maladies en dessous de 2 900 m, risque de gelées au-dessus de 3 000 m, risque de sécheresse. En intercalant des cultures qui n'ont pas la même susceptibilité, on réduit le risque de perte totale de la récolte : nous avons observé des parcelles dans lesquelles le maïs fut totalement détruit par une attaque de champignons, mais l'agriculteur a pu récolter un peu de haricots, quinua et courgettes* » (TARDIEU, 1979).

— L'adéquation de chaque espèce à chaque situation pédoclimatique : « pampa » à sols profonds et riches mais où peuvent s'accumuler eau et air froid, ou ceintures thermiques sur des versants aux sols plus pauvres :

« *la meilleure terre est suivant l'année ; quand, comme cela arrive, l'année est très pluvieuse, c'est la terre « ashalaca » qui est meilleure pour nous car elle a besoin de beaucoup d'eau et même s'il pleut jour et nuit cela ne fait pas de mal. Par contre dans la terre sableuse « shalla » tout s'abîme en une semaine. Le gravier « kalachi kolla » est pareil que l'« ashalaca » parce qu'il résiste quand il pleut, l'eau pénètre et va au fond. Par contre, quand il n'y a pas de pluie, la terre sableuse résiste mieux parce qu'elle n'a besoin que de peu d'eau pour donner une récolte ; c'est une terre très bonne surtout pour les pommes de terre à cause de la facilité avec laquelle elle absorbe l'humidité. C'est suivant l'année qui vient. Dans les terres pauvres, seul vient bien le seigle, l'orge reste petite...* » (G. L., paysan de l'Altiplano).

— La localisation des cultures en fonction des transports à effectuer, qui est parfois contradictoire avec la précédente. Ainsi, les petits pois sont fréquemment cultivés sur les parcelles les plus éloignées, étant le produit le plus facile et le plus rapide à transporter à la récolte : cela minimise le risque de vol des récoltes, dont l'importance surprenante par rapport à d'autres régions du monde s'explique par la destructuration de la société, consécutive à la conquête espagnole (WACHTEL, 1971).

b) Le grand nombre de parcelles exploitées par chaque famille — en moyenne 25 et parfois beaucoup plus — (VERLIAT, 1978 : 47-49 ; MORLON *et al.*, 1986 ; BRUNSCHWIG, 1986 ; TAPIA, 1986, p. 89) apparaît ici non comme une conséquence non voulue des divisions lors des héritages, mais comme une

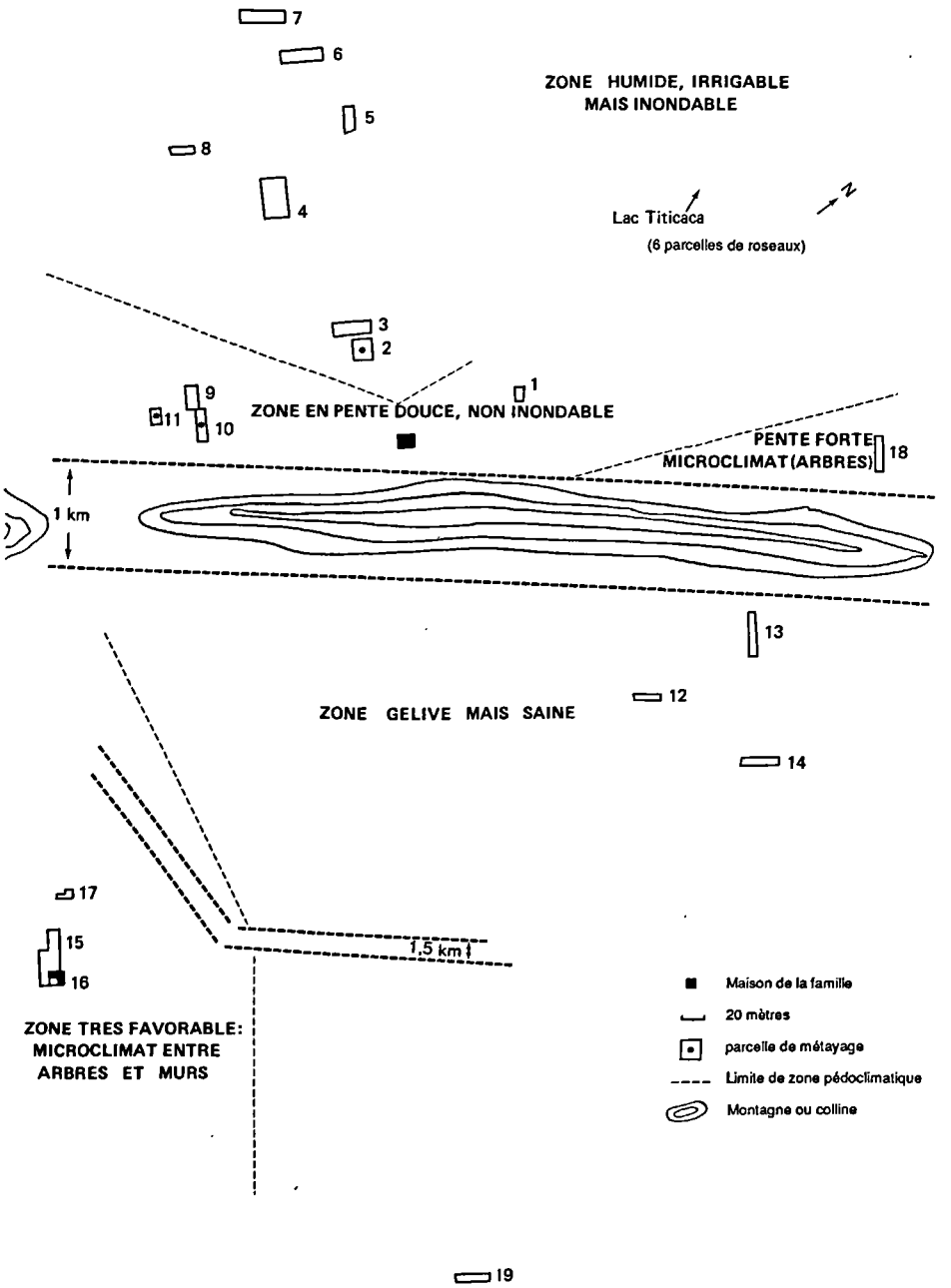


FIG. 8a. — Plan parcellaire en « Archipel »

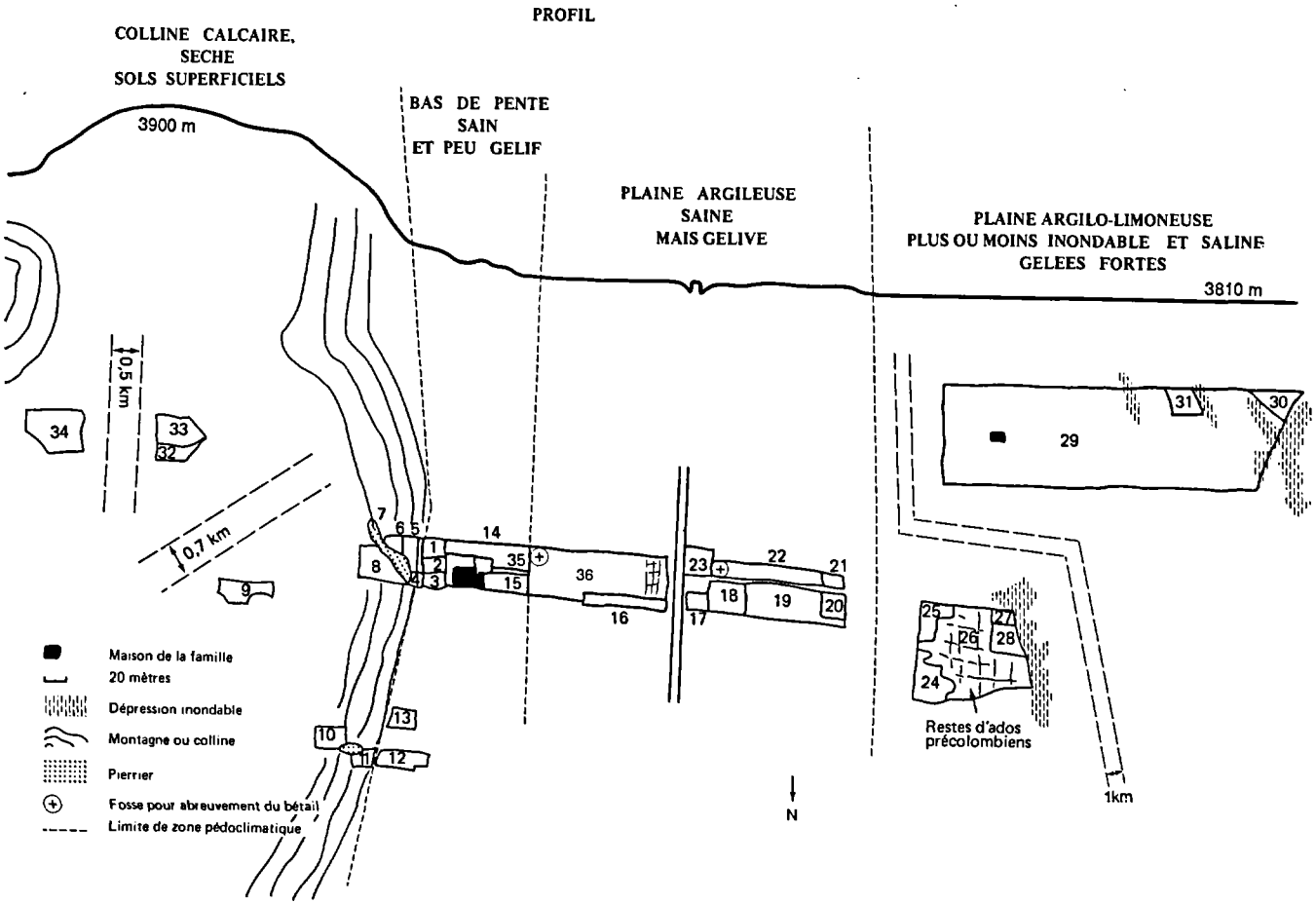


FIG. 8b. — Plan parcellaire en « Bande transversale »

condition de cette dispersion : lorsque le parcellaire est en « archipel » (fig. 8 a), chaque parcelle est divisée entre tous les héritiers ; par contre, lorsqu'il est en bande verticale le long d'un versant (photo 11, et fig. 8 b) on divise l'ensemble de la bande en bandes plus étroites mais qui toutes vont également du sommet jusqu'aux zones basses, recoupant ainsi les différentes zones pédoclimatiques.

c) Ce qui apparaît négatif dans ce processus en est la combinaison avec la réduction de la surface totale dont dispose chaque famille ; deux des effets de la dispersion de parcelles minuscules étant la moindre surveillance de chacune et la part très importante du temps de travail prise en déplacements et transports.

d) Cette dispersion des risques est une stratégie de survie et non de développement, et elle peut être abandonnée volontairement par des producteurs qui obtiennent des revenus suffisamment importants à partir d'un seul étage écologique. Ainsi, dans la vallée du Rio Cañete où chaque communauté avait traditionnellement un territoire recoupant le maximum d'étages écologiques : « punas » de haute altitude, domaine des moutons et alpagas ; village à altitude moyenne dans la zone où sont produits pommes de terre, céréales, maïs et aussi luzerne pour l'élevage laitier ; fond de vallée avec fruits tempérés ou tropicaux. Dans les dernières décennies, l'orientation de certaines parties du territoire vers des productions commerciales exportées hors de la vallée a conduit les habitants de ces zones à se séparer du reste de la communauté, détruisant ainsi l'ancienne verticalité andine ; il s'agit :

— des zones chaudes dans la vallée (« yungas ») bénéficiant de la proximité de l'énorme agglomération de Lima pour y vendre fruits et légumes (manioc) ;

— d'une partie de la zone d'élevage d'altitude au-dessus de 4 000 m., productrice de viande et de laine vendues sur l'important marché régional de Huancayo (ARANA, 1986).

Cet exemple illustre bien l'interaction, dans les stratégies paysannes, entre risques climatiques et incertitudes de commercialisation.

3.2. **Autoconsommation et vente**

Plusieurs études menées dans des communautés paysannes autour du lac Titicaca (MORLON *et al.*, 1986 ; TAPIA, 1986 ; VELASCO, 1986) ont mis en évidence ce que VELASCO appelle la « double rationalité paysanne » et que nous décrivons comme une double priorité dans l'attribution des ressources productives (terre, travail, argent) de la famille paysanne :

La première priorité est donnée aux cultures vivrières pour assurer la subsistance de la famille qui leur affecte donc la surface nécessaire et la main-d'œuvre correspondante. Il s'agit bien de la seule autoconsommation, car les paysans ne cherchent pas à obtenir un supplément de production commercialisable grâce à l'achat d'intrants dont ils ne sont pas sûrs de récupérer le prix lors de la vente de la récolte, à cause :

— des difficultés de commercialisation (souvent liées à la concurrence des produits importés : la culture du blé a été abandonné sur l'Altiplano vers 1930 lorsqu'a commencé l'importation de blés étrangers). Dès qu'il y a augmentation de production, il y a surproduction par rapport aux possibilités de commercialisation dans les circuits actuels, et donc mévente ;

— des risques à la production, climatiques pour l'essentiel, qui dépendent en partie de l'état actuel des techniques (page 201 et suivantes).

Or, sauf dans le cas des tubercules, la production est malgré tout plus assurée en fourrages (plante entière, et/ou espèces plus résistantes) qu'en alimentation humaine (grains), et c'est donc en production animale qu'on obtiendra, aux moindres risques, un supplément de ressources (il faudrait ici analyser la question de la différabilité de la « récolte » et de la vente, selon l'espèce cultivée ou le produit animal). C'est ce raisonnement, poussé à l'extrême qui explique les choix de production des « moyens » ou grands propriétaires, et ce résultat global pour l'Altiplano de Puno : les minifundias, qui représentent 80 % de la population agricole, récoltent également 80 % des produits alimentaires végétaux de la région, alors qu'ils ne disposent que de 10 % des terres cultivables : au-delà de ce que VELASCO (1986) appelle l'« espace vital agricole d'autoconsommation », toute surface disponible est affectée à l'élevage, qui fournit les ressources monétaires de la famille. Cette interprétation était déjà sous-jacente dans la monographie de ROMERO en 1928 : 405-406 : « *le climat de l'Altiplano est une des causes principales du retard de l'agriculture. L'inégalité du degré de froid entre les différentes années agricoles a fait chanceler les expériences indigènes (...). Les produits de l'agriculture ainsi déterminés par le climat se réduisent aux cultures de tubercules (...) ; on cultive également l'orge, la quinua, la cañagua, le blé et en moindre proportion l'avoine, le maïs et la luzerne (...). Une autre des causes du retard de l'agriculture, a été l'orientation économique, qui a d'abord été minière (...) passant ensuite à l'élevage (...). Les capitaux se sont ainsi consacré à l'élevage parce que celui-ci était plus avantageux* (pour les propriétaires des capitaux — NdT) ».

Une des conséquences probables est que les nouvelles variétés (ou espèces) qui ont le plus de chances d'être adoptées par les paysans sont celles à usage mixte, vivrier et fourrager (MORLON, *et al.*, 1986), dans la mesure où :

— les variétés ne fournissant pas de fourrages (même les fanes de pommes de terre sont consommées par les animaux) renforcent le risque de ne rien avoir en cas de problème climatique ;

— les cultures uniquement fourragères, à quelques exceptions près consomment toujours un facteur limitant : les terres dans les plus petites structures, et le travail dans les autres.

3.3. La dispersion des risques : la notion de « système de production rural »

Une autre caractéristique commune des systèmes de production étudiés est la pluriactivité — ou plutôt les pluriactivités tant les formes en sont nombreuses : travaux temporaires ou saisonniers dans une ville, une mine, une autre région agricole... un peu de commerce ; ou bien artisanat à domicile :

«*Je fais des portes et des fenêtres pour moi ; si j'ai besoin d'argent, je dois en vendre. Actuellement je ne m'occupe que d'agriculture. Si celle-ci ne me donnait pas assez, je ferais de l'artisanat ; pour gagner de l'argent je pourrais faire n'importe quel travail. Quand j'en ai besoin, je dois faire de l'artisanat, tisser, faire des portes et des fenêtres, vendre le bétail à la foire* » (G. L., paysan de l'Altiplano).

Une grêle ayant détruit la quasi-totalité des récoltes de deux familles que nous étudions, l'une d'entre elles a repris une activité de forgeron qu'elle avait délaissé depuis quelques années, et l'autre a vendu du bétail. Dans un autre cas la mort (de météorisme) de l'unique vache, qui par sa production laitière assurait la seule rentrée d'argent, a obligé la famille à confectionner à domicile des tricots en laine d'alpaga (activité à la merci des intermédiaires...).

Tout ceci illustre bien comment la combinaison de la précarité des récoltes et des incertitudes liées à la commercialisation ou au travail temporaire, conduisent les familles à disperser les risques entre tout un ensemble d'activités dont aucune prise isolément ne constitue un système de production fiable, ensemble que nous appelons « système de production rural », où la distinction entre agricole et non-agricole n'est pas la plus pertinente : la vente des produits de l'élevage et celle de la force de travail dans des activités « non agricoles » jouent exactement le même rôle ; l'utilisation et la transmission des parcelles de marais salants obéissent aux même principes que celles des parcelles de culture (ORLOVE, *in* MORLON *et al.*, 1982).

De la même façon que la dispersion des risques entre plusieurs étages écologiques peut disparaître lorsque l'on dispose d'un revenu assuré à partir d'un seul étage écologique (paragraphe 3.1.2.) celle entre plusieurs activités économiques différentes peut être abandonnée lorsque la famille dispose de suffisamment de terres, comme c'est le cas dans la communauté de Catahuasi (E. ARANA, *com. pers.*).

3.4. **Quelles techniques et quel crédit pour quelles productions ?**

Il y a quelques années, la plupart des projets de développement étaient spécialisés dans *une* espèce ou *un* type de production, et chacun payait des vulgarisateurs pour essayer de convaincre les paysans que cette espèce ou ce type de production était *la* solution qui devait donc bénéficier de la priorité absolue dans l'attribution des ressources. Ils sont peu à peu remplacés par des projets prenant en considération l'ensemble du « système de production rural » : « *Dans un essai combinant une nouvelle variété de pommes de terre et des traitements phytosanitaires, installé dans des parcelles de 5 agriculteurs d'une même communauté, les rendements obtenus varièrent de 8 à 16 tonnes/ha. La raison de ces différences était que dans certains cas l'agriculteur avait réalisé deux buttages à la bonne date, et dans d'autres un seul buttage d'une façon et à une date inappropriée. Cette déficience était due à une migration du chef de famille pendant la période considérée...* » (TAPIA, 1986, p. 91).

On tend donc à s'orienter vers des propositions techniques qui tiennent compte des stratégies développées par les agriculteurs face aux risques. Un exemple en est fourni par la sélection de variétés mixtes, fournissant, si le climat est favorable, un produit consommé par l'homme, et dans tous les cas du fourrage en quantité et qualité appréciables.

À la suite de l'analyse des conséquences sociales de la « révolution verte » il est courant d'opposer des techniques permettant des rendements très élevés dans des conditions parfaitement contrôlées, à d'autres qui assureraient un rendement minimum quelles que soient les conditions ou presque. Les résultats préliminaires obtenus sur l'Altiplano nous permettent de dire que :

— d'une part une recherche agronomique menée en conditions «optimales» produit des techniques qui exigent ces conditions,

— mais par contre, une recherche visant une sécurité de production « quelles que soient les conditions » peut aboutir *aussi* à des techniques très productrices lorsque les conditions sont bonnes. *Même si cela n'était pas toujours le cas*, le paysan préfèrera récolter 25 quintaux les bonnes années et 15 les mauvaises, que 50 q les bonnes et 0 les mauvaises, car dans le premier cas il est possible de gérer même dans la pauvreté, alors que dans le second c'est l'exode rural assuré... Cela est encore plus valable pour l'élevage dont un des rôles est précisément d'amortir les variations dans les productions vivrières, et

explique de nombreux cas de non adoption par les paysans des techniques proposées par la vulgarisation.

Nous sommes convaincus par ce que nous avons pu observer qu'une proposition technique qui améliore globalement la sécurité (c'est-à-dire qui ne crée pas un risque quelque part, en voulant en supprimer un ailleurs : par exemple, déplacer le risque de la production à la commercialisation...) n'a aucun besoin d'une lourde structure d'encadrement et de vulgarisation pour diffuser et être adoptée par les paysans. A contrario, la nécessité de telles structures lourdes prouve que les techniques proposées ne remplissent pas cette condition !

Lorsque des crédits — que l'on obligera de toutes façons les paysans à rembourser — sont distribués pour des techniques agricoles dont le moins qu'on puisse dire est qu'elles ne sont pas éprouvées, comment s'étonner du détournement de ces crédits par les bénéficiaires eux-mêmes, pour l'achat de machines à coudre ou à tricoter dont la production ne dépend pas des aléas climatiques ? Nous avons vu au contraire de rares projets — dont celui de l'Agence Canadienne de Développement International à Puno — prendre à leur compte les risques des techniques qu'ils proposaient, le remboursement n'étant pas exigé en cas d'échec de ces techniques (sauf négligence de l'agriculteur) : si le crédit est lié à une technique, celle-ci doit être sûre. Si la technique proposée n'est pas sûre, ce n'est pas la faute du paysan et c'est celui qui la propose qui doit prendre le risque... Allons même au-delà : lorsque l'artisanat à domicile est plus sûr que la production agricole (compte-tenu des techniques disponibles...), pourquoi une même institution de développement rural ne proposerait-elle pas des crédits aussi bien pour l'un que pour l'autre ?

3.5. **Conclusion**

Partis de l'étude des problèmes climatiques, qui au premier abord paraissent déterminants dans ces régions, il nous est vite apparu que le degré de risque accepté par les paysans pour leurs productions dépendait tout autant des facteurs économiques et en particulier de la commercialisation, et ceci en étroite interaction : on peut aussi bien affirmer que c'est à cause des risques climatiques que les paysans n'envisagent pas de cultures commerciales, ou bien que c'est parce qu'ils n'ont pas la certitude de commercialiser dans de bonnes conditions, qu'ils réduisent au maximum les productions exposées aux risques climatiques.

Il existe de nombreuses techniques pour lutter contre les facteurs de risques, ainsi que des stratégies d'adaptation aux risques : ces possibilités ne sont pas à négliger. Mais les structures économiques ou les politiques agricoles interviennent, soit en rajoutant de nouveaux risques, soit en rendant difficile pour une partie de la population l'application des techniques et stratégies anti-risque traditionnelles.

BIBLIOGRAPHIE

ARANA (E.), 1986. — El transecto Catahuasi — Tupe : zonas de producción, sistemas agropecuarios y control comunal. *Bull, IFEA* XV n. 1-2 : 53-83.

BANEGAS (M.), MORLON (P.), 1980. — Evapotranspiracion y aridez. Estudio agroclimatológico de la cuenca del Lago Titicaca, fasc. 3. ACDI/Ministère de l'Agriculture du Pérou, Puno, *ronéo*, 49 p.

BOURLIAUD (J.), RÉAU (R.), MORLON (P.), HERVÉ (D.), 1986. — Chaquitaclla, stratégies de labour et intensification en agriculture andine. *Techniques et Culture* N° 7 : 181-225.

BROCHET (P.), GERBIER (N.), 1975. — L'évapotranspiration. Aspect agrométéorologique. Évaluation pratique de l'évapotranspiration potentielle. Météorologie Nationale, Paris, monographie 65, 95 p.

BRUNSCHWIG, 1986. — Sistemas de produccion de laderas de altura. Bull. IFEA, XV (1-2) : 27-52.

CAMINO (A.), 1978. — Un estudio premiminar del sistema tradicional de rotacion de cultivos en andenes : el caso de Cuyo-Cuyo. In : Instituto de Estudios Andinos (ed), Actas del 1er Seminario Nacional sobre Technologias Adecuasas, Ayacucho : 63-68.

CHOISNEL (E.), 1986. — Aspects topoclimatiques : une méthode d'étude. Séminaire «Agrométéorologie de moyenne montagne», *Les colloques de l'INRA*, 39 : 177-195.

DONKIN (R.), 1979. — Agricultural terracing in the arboriginal New World. Vicking Fund Publications in anthropology. University of Arizona press, Tucson, 196 p.

ERICKSON (C. L.), 1985. — La cronologia de los camellones de la cuenca del lago Titicaca, Perú — Exposé présenté au 45e Congrès International des Américanistes, Bogotá, juillet 1985.

ERICKSON (C. L.), GARAYCOCHEA (I.), Brinkmeier (D. A.), 1985. — Experiencias en la arqueologia aplicada : recuperación de campos elevados en la comunidad campesina de Huatta. Exposé présenté au Congrès National de Recherche en Anthropologie, Lima, novembre 1985.

FONSECA (C), 1972. — Sistemas economicos en las communidades campesinas del Perú. Tesis doctorado, UNMSM, Lima.

FRANCO (E.), BENJAMIN (A.), 1978. — Estudio agroeconomico del maiz en el callejón de Huaylas. UNA La Molina, Lima.

FRANQUIN (P.), 1973. — Analyse agroclimatique en régions tropicales. Méthode des intersections et période fréquentielle de végétation. Paris. *Agron. Trop.* 28, Nos 6-7.

FRERE (M.), RIJKS (J. Q.), REA (J.), 1975. — Estudio agroclimatologico de la zona andina. Proyecto inter-institucional FAO/UNESCO/OMM en agroclimatologia, FAO, Rome, 375 p. + annexes.

GARAYCOCHEA (I.), 1985. — Experimentos agricolas en campos elevados en la cuenca del lago Titicaca. Exposé présenté au 45e Congrès International des Américanistes, Bogotá, juillet 1985.

GARCILASO DE LA VEGA INCA, 1609. — Comentarios reales de los Incas. Édition consultée : Biblioteca Ayacucho, Caracas, Venezuela, 1976.

GRACE (B.), 1985. — El clima del Altiplano. Departamento de Puno, Perú, INIPA, Puno, 183 p.

GUAMAN POMA DE AYALA (F.), 1613-1620. — Nueva corónica y buen Gobierno. Ed. Facsmil, Paris, Institut d'Ethonologie, XXVIII + 1179 p.

LÉON (J.), 1964. — Plantas alimenticias andinas. Boletin técnico N° 6, IICA, Lima, 112 p.

LESCANO (J. L.), 1979. — Tecnologia agricola tradicional en el Altiplano peruano. In : Instituto de Estudios Andinos (ed.), Actas del Ier Seminario Nacional sobre Tecnologias Adecuadas, Ayacucho : 40-45.

MISHKIN (B.), 1946. — The contemporary Quechua. *In* : J. H. Stewart (ed.) — Handbook of South American Indians, vol. 2, Smithsonian Institution, *Bull* 143 : 411-470.

MORLON (P.), 1976. — Algunos apuntes provisionales para un estudio agroclimatológico de la mitad noroeste del Departemento de Puno. Institut d'Education Rural d'Ayaviri, *ronéo*, 48 p.

MORLON (P.), 1978. — Elementos de descripcion frecuencial de las heladas. Estudio agroclimatológico de la cuenca del Lago Titicaca, fasc. 1, ACDI/Ministère de l'Agriculture du Pérou, Puno, *ronéo*, 41 p.

MORLON (P.), 1979. — Apuntes sobre el problema agronómico de las heladas : el aspecto meteorológico. Estudio agroclimatológico de la cuenca del Lago Titicaca, fasc. 2, ACDI/Ministère de l'Agriculture du Pérou, Puno, *ronéo*, 54 p.

MORLON (P.), 1981 a. — Adaptation des systèmes agraires andins traditionnels au milieu. INRA-SAD, Versailles, *ronéo*, 78 p.

MORLON, 1981 b. — Questions sur l'agriculture de l'Altiplano Péruvien. *In* : L'homme et son environnement à haute altitude, Éditions du CNRS : 107-114.

MORLON (P.), 1983. — À propos des variétés miracles... *In* : Réseaux, la lettre du GRET, N° 18, p. 11.

MORLON (P.), 1984. — Rapport de mission au Pérou : projet de recherches IFEA sur la vallée du Canete. INRA-IFEA, 26 p.

MORLON (P.), 1986. — Mecanismos y evaluaciones climáticos en el Altiplano — Conférence présentée au 5e Congrès International sur l'Agriculture Andine, Puno.

MORLON (P.), MONTOYA (B.), CHANNER (S.), 1986. — L'élevage dans les systèmes de production ruraux des Hautes Andes péruviennes : étude comparative de cinq familles sur l'Altiplano. *Cahiers de la Recherche-Développement* n° 9-10 : 133-144.

MORLON (P.), ORLOVE (B.), HIBON (A.), 1982. — Tecnologias agricolas tradicionales en los Andes Centrales : perspectivas para el desarrollo. UNESCO/PNUD/COFIDE, Lima, 104 p.

MUNOZ (C.), SANCHEZ (W.), 1974. — Estudio de la distribucion espacial y temporal de las heladas meteorológicas en la hoya del lago Titicaca. 1er Seminario de Sistemas Ecológicos, Recursos Naturales y Medio Ambiente, Lima.

ONERN-CORPUNO, 1965. — Programa de inventario y evaluacion de los recursos naturales del Departamento de Puno — Vol. 1, cap. 2 : climatologia ONERN, Lima : 151-203.

RAMOS (C.), 1984. — Tecnologia de la reconstruccion, refaccion y manejo de andenes y terrazas en el Distrito de Asillo — Centro artesanal « José Maruri », Asillo, *ronéo*, 33 p. + fig.

RAMOS (C.), 1986. — Evaluación y rehabilitación de camellones o « kurus » en Asillo. Centro artesanal « José Maruri », Asillo, *ronéo*, 45 p.

ROMERO (E.), 1928. — El departamento de Puno — Lima, Impr. Torres Aguirre, 550 p.

SMITH (C. T.), DENEVAN (W. M.), HAMILTON (P.), 1968. — Ancient Ridged Fields in the Region of Lake Titicaca. *The Geographical Journal*, 134 : 353-367.

SMITH (C. T.), DENEVAN (W. M.), HAMILTON (P.), 1981. — Antiguos campos de camellones en la región del Lago Titicaca *In* : H. Lechtman y A. M. Soldi (eds.) : La tecnologia en el mundo andino. Universidad Nacional Autónoma de México : 23-53.

TAPIA (M.), 1986. — Guia metodológica para la caracterización de la agricultura andina (la experiencia del Proyecto PISCA). IICA/CIID/Universidades de Ayacucho, Arequipa, Cusco y Puno, *ronéo*, 115 p.

TARDIEU (F.), 1979. — Sistemas de cultivo en la zona maicera del Callejón de Huaylas. *Ronéo*, UNA La Molina, Lima.

VELASCO (O.), 1986. — Implicancias de la doble racionalidad campesina en los programas de extensión agricola. 5e Congrès International sur l'Agriculture Andine, Puno, Pérou : 490-491.

VERGARAY LARA (E.), 1949. — Estudio geográfico de la campiña de Yungay. Travaux de l'IFEA I : 59-104.

VERLIAT (S.), 1978. — Etude d'une communauté rurale andine : Chujucuyo-Marcayoca, Puno, Pérou. Thèse Université de Limoges, 101 p.

WACHTEL (N.), 1971. — La vision des vaincus. Les Indiens du Pérou devant la conquête espagnole. Gallimard, Paris, 395 p.

WINTERHALDER (B. P.), THOMAS (R. B.), 1978. — Geoecology of Southern Highland Peru. A Human Adaptation Perspective. MAB/Institute of Arctic and Alpine Research, University of Colorado, occasional Paper N° 27, 91 p.

ZANABRIA (E.), CACEDA (F.), 1986. — Métodos tradicionales y el control integrado de plagas en cultivos andinos en Puno. 5e Congrès International sur l'Agriculture Andine, Puno, Pérou : 255.

NOTES

1. Les invasions d'air polaire, rares, ne se produisent qu'en saison sèche où il n'y a pas de cultures en place (exemples : Août 1974, juillet 1986, etc.). Elles amènent de la neige et, si les températures maximales sont alors plus basses que d'habitude, les minimales ne le sont pas à cause de la nébulosité importante.

2. De nombreuses observations rapportées dans ce chapitre proviennent d'un suivi effectué depuis 1978 chez cinq familles de l'Altiplano (cf. MORLON *et al.*, 1986).