



Sociétés andines et changements environnementaux depuis 4 000 ans dans la région du Nevado Coropuna (sud du Pérou)

*Adèle Kuentz**

*Jean-Claude Thouret***

*Marie-Pierre Ledru****

*Marie-Émilie Forget*****

Résumé

Le contexte biogéographique, archéologique et paléo-environnemental de la région habitée depuis 4 000 ans, qui entoure le volcan du Nevado Coropuna, est analysé grâce à la confrontation d'un inventaire des sites archéologiques avec les données biogéographiques. Le tout est exprimé dans un Système d'Information Géographique. L'analyse palynologique d'une carotte sédimentaire permet l'identification des modifications du couvert végétal. Entre 2 000 et 300 avant J.-C. des chasseurs-cueilleurs occupent la région et ont peu d'impact sur la végétation. La construction de terrasses agricoles est mise en évidence à partir de 265 avant J.-C. Vers 950 A.D., une forte sécheresse a induit des changements de comportement chez les populations. Le recul du glacier du Coropuna est notamment

* Docteur en Géographie, Clermont Université, Université Blaise Pascal, EA 997, CERAMAC, BP 10448, F-63000 Clermont-Ferrand. Ancienne boursière de l'Institut Français d'Études Andines (IFEA), UMIFRE 17 CNRS-MAEE. E-mail : kuentzadele@hotmail.com

** Professeur, Clermont Université, Université Blaise Pascal, Laboratoire Magmas et Volcans LMV, UMR 6524 CNRS, IRD R163, 5 rue Kessler, 63038 Clermont-Ferrand cedex. E-mail : J.C.Thouret@opgc.univ-bpclermont.fr

*** Directrice de Recherche, IRD UMR 226 Institut des Sciences de l'Évolution ISEM, Place Eugène Bataillon cc061, 34095 Montpellier cedex. E-mail : marie-pierre.ledru@ird.fr

**** Professeure agrégée et doctorante, Département de Géographie, université Lumière Lyon 2, 5 avenue P. Mendès-France, 69500 Bron. E-mail : forget7982@hotmail.com

marqué par l'édification à très haute altitude de sites cérémoniels ainsi que par la construction d'un important réseau d'irrigation capable de drainer l'eau des glaciers durant la colonisation inca, ce qui a favorisé l'expansion des cultures.

Mot clés : *Pérou, Andes, changements climatiques, activités anthropiques, palynologie, SIG*

Poblaciones, actividades y cambios climáticos en el sur del Perú durante los últimos 4 000 años (región del Nevado Coropuna)

Resumen

La región del Nevado Coropuna, en el sur del Perú, está descrita según el escalonamiento de las actividades antrópicas. El contexto arqueológico de la región, poblada desde aproximadamente 4 000 años, está analizado gracias a la confrontación de un inventario de los sitios arqueológicos con los datos biogeográficos en el marco de un SIG. El análisis palinológico de un corazón sedimentario permite conocer los cambios de la vegetación desde el principio de la ocupación humana. Entre 2 000 y 300 años antes de J.-C., cazadores y recolectores ocupaban la región provocando poco impacto sobre la vegetación. La construcción de andenerías para la agricultura está evidenciada a partir de 265 años antes J.-C. Alrededor de 950 A.D., se deduce un fuerte periodo de sequía en la modificación de los espectros polínicos. La construcción de canales de irrigación permitió la expansión de los cultivos en esa misma época. La edificación de lugares ceremoniales a gran altitud y la construcción de un importante sistema de canales, con el objetivo de recoger el agua de los glaciares durante la época inca, atestiguan el retroceso de los glaciares antes de este periodo.

Palabras clave: *Perú, Andes, cambios climáticos, actividades antrópicas, palinología, SIG*

Human settlements and climatic changes in arid southern Peru over the last 4 000 years around the Nevado Coropuna volcano

Abstract

Combined archaeological and environmental analyses carried out in the Nevado Coropuna area (Western Cordillera in southern Peru) have enabled to reconstruct paleoenvironmental changes and human activities along altitudinal belts in a high and arid environment during the past 4 000 years. Pluridisciplinary studies (pollen, GIS, biogeography) attest to the beginning of human settlement in the area by approximately 2 000 B.C. The use of terraces for agriculture is documented archaeologically by 265 B.C. At approximately 950 A.D., a drier phase induced changes in the behavior of the population. The regression of the glacier at Coropuna is attested to by the presence of high elevation ceremonial sites and the development of irrigation canals that enabled the capture of water from the glacier in order to expand cultivated fields sufficiently to feed the people.

Key words: *Peru, Andes, climatic change, human activities, palynology, GIS*

INTRODUCTION

Le volcan du Nevado Coropuna (6 300 mètres) est situé dans la cordillère occidentale au sud du Pérou (15°30'S, 72°40'O) au contact du flanc occidental sec des Andes et de la marge sud-ouest subhumide de l'Altiplano (fig. 1). La région est occupée depuis au moins 4 000 ans malgré l'altitude et les conditions climatiques

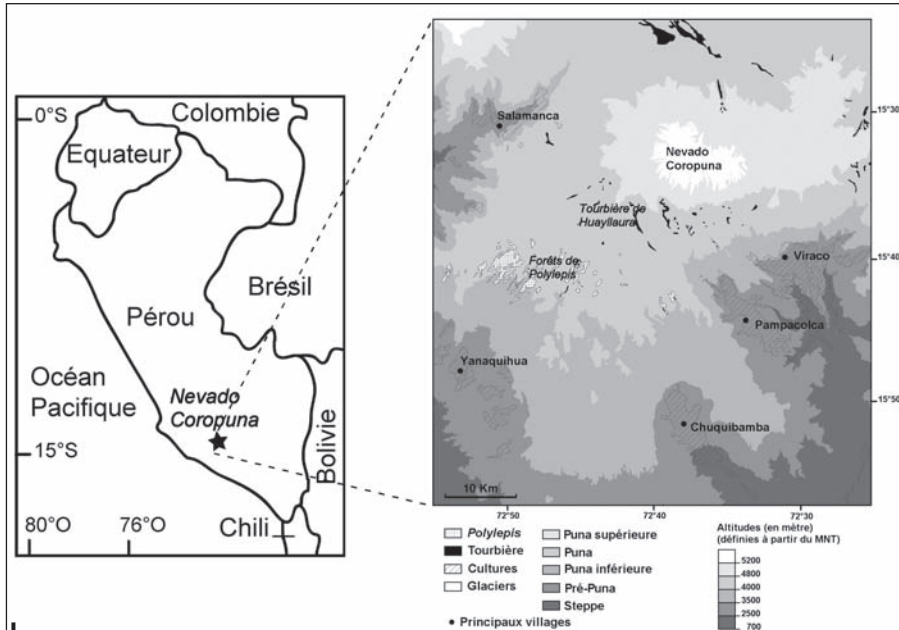


Figure 1 – Localisation et délimitation du site d'étude

Les emplacements des forêts de *Polylepis*, des villages actuels et de la tourbière de Huayllaura sont également indiqués

froides et sèches (la température annuelle moyenne est de 7°C et les précipitations moyennes annuelles sont de 600 mm à 4 000 mètres d'altitude). Dans un cadre pluridisciplinaire incluant des archéologues, des géographes, des palynologues et des géologues, l'histoire de l'occupation humaine depuis 4 000 ans autour de ce volcan a été reconstruite en partie. L'analyse palynologique d'une carotte sédimentaire, dont le cadre chronologique a été déterminé grâce à huit datations radiocarbone, a permis d'identifier les changements du couvert végétal depuis 10 000 ans. Dans cet article, les résultats des analyses paléo-environnementales sont confrontés aux connaissances existantes sur 4 000 ans d'occupation humaine dans cette région (c'est-à-dire depuis 2 000 avant J.-C.). On a cherché à identifier les modes de vie des sociétés passées : quels étages écologiques étaient occupés à quelle période ? Quels étaient les impacts possibles des hommes sur la végétation : déforestation, cultures, plantations, pâturages ?

Une première section présentera les méthodes utilisées pour répondre à ces questions. Les étages de végétation actuels autour du Nevado Coropuna ainsi que les activités humaines qui s'y déroulent seront ensuite décrits. Une troisième section exposera les résultats des recherches archéologiques dans un cadre biogéographique. La localisation géographique des sites archéologiques est mise en valeur, elle permet de visualiser les périodes d'occupation des différents étages biogéographiques. Enfin, une quatrième et dernière partie décrit les variations

du couvert végétal depuis l'an 2 000 avant J.-C. en distinguant la part des impacts anthropiques dans ces modifications.

1. MÉTHODES

Cette recherche a été effectuée dans un cadre pluridisciplinaire aboutissant à l'obtention de différents types de données (archéologiques, botaniques, cartographiques, palynologiques, etc.) rassemblées dans un Système d'Information Géographique (SIG). Les types d'activités humaines (cultures et élevage) sur le versant occidental des Andes au sud du Pérou ont été décrites d'après des relevés de terrain et à partir de la bibliographie (Dollfus, 1965 ; Bertrand *et al.*, 1980 ; Pulgar Vidal, 1996 ; Brack Egg & Mendolia, 2000). Les étages et sous-étages de végétation ont été décrits et délimités à partir de relevés de terrain, de la télédétection sur des images satellites Landsat et SPOT et en utilisant un Modèle Numérique de Terrain.

Le groupe de recherches archéologiques de l'Université de Varsovie (*Centro de Estudios Precolombianos*) travaille depuis 1996 dans la région du Nevado Coropuna (projet « *Condesuyos* »). Cette équipe a effectué un premier recensement des sites archéologiques de la région (Ziolkowski & Belán Franco, 2001). Ce recensement a été complété en 2005 par M. E. Forget (Master 2 géographie, Lyon2 et Clermont2) et J. A. Chávez y Chávez (archéologue, Université Catholique, Arequipa). Une couche d'informations destinée à localiser les sites archéologiques a été introduite dans le SIG (Forget, 2005 ; Forget *et al.*, 2008). Le nom, le type et la période d'occupation (lorsque cela est possible) de ces sites ont été consignés dans une banque de données attributaires. Nous avons complété ces informations à partir de la dernière publication de l'équipe du projet « *Condesuyos* » qui présente un nouvel inventaire des sites archéologiques (Ziolkowski, 2005).

Enfin, une carotte sédimentaire longue de 13 mètres, prélevée dans la vallée de la Quebrada Huayllaura sur le flanc sud-ouest du Nevado Coropuna a été analysée. La tourbière de Huayllaura, localisée à 4 400 m d'altitude (15°36'S, 72°41'O), est large d'environ 350 m et s'étire sur près de 1 600 m dans l'ombilic d'une vallée glaciaire située entre deux verrous (fig. 2). Un premier sondage, COR300, a été réalisé en 1998 par J.-C. Thouret et son équipe. En 2000, un deuxième sondage COR300bis a été effectué dans la même tourbière dans le but de compléter le premier (fig. 3). Seuls les résultats des comptages palynologiques de la carotte COR300 sont présentés ici. D'autres comptages palynologiques ont été effectués sur la partie supérieure de la carotte COR300bis, mais le cadre chronologique de celle-ci reste imprécis. La description du faciès sédimentaire de la carotte COR300 est faite à partir des notes de terrain de J.-C. Thouret. Cette carotte est principalement composée de tourbe dont les teintes varient du marron clair au marron foncé. Quatre lits non organiques (limons et/ou argile) sont identifiés le long de la carotte (fig. 3). Huit échantillons de tourbe ont été prélevés pour datation radiocarbone et permettent de définir le cadre chronologique de l'étude.



Figure 2 – Vue d'ensemble de la tourbière de Huayllaura localisée à 4 400 m d'altitude sur le flanc sud-ouest du Nevado Coropuna

Cliché : V. Clavierie

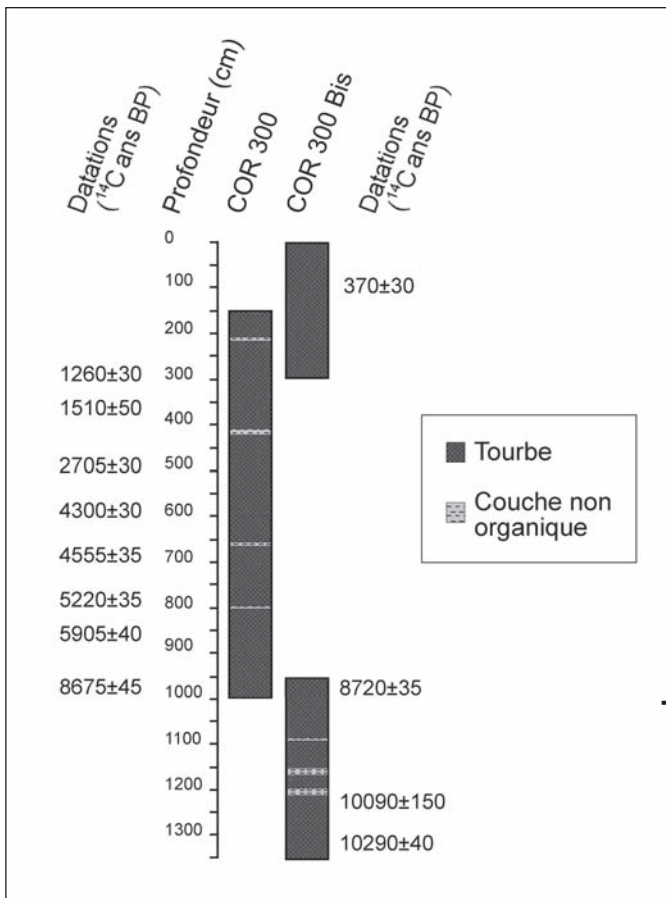


Figure 3 – Position chronostratigraphique comparée des séquences sédimentaires de la tourbière de Huayllaura localisée à 4 400 m d'altitude sur le flanc sud-ouest du Nevado Coropuna

Les datations ^{14}C ont été calibrées avec le logiciel Calib 5.01 (Stuiver et al., 2005) et la courbe de calibration spécifique à l'hémisphère sud a été utilisée (McCormac et al., 2004). Des comptages palynologiques ont été effectués tous les six centimètres selon la méthode de Faegri & Iversen (1989). L'influx en particules de charbons de bois (par an) a été estimé selon la méthode de Clark (1982). Aujourd'hui, la tourbière est colonisée par des Gentianaceae, des Cyperaceae et des Juncaceae, plantes typiques des tourbières d'altitude du sud du Pérou. Les abords immédiats de la tourbière sont colonisés par des Poaceae. Sur les versants des moraines de la vallée glaciaire, la végétation ouverte présente un taux de recouvrement inférieur à 50 %, avec *Azorella compacta*, *Pychnophyllum molle* et *Senecio sp.*

2. ÉTAGEMENT BIOGÉOGRAPHIQUE ET ACTIVITÉS HUMAINES ACTUELLES AUTOUR DU NEVADO COROPUNA

L'occupation humaine actuelle autour du Nevado Coropuna peut être définie par les relations unissant les six étages biogéographiques et climatiques avec les types d'activités agro-pastorales (fig. 4). Chacun des étages comprend des milieux que nous avons définis comme des géofaciès sur la base des éléments biotiques, abiotiques et anthropiques les composant (Beroutchachvili & Bertrand, 1978).

2. 1. L'étage inférieur (0-800 mètres d'altitude)

Il est surnommé *Chala* (Pulgar Vidal, 1996). Selon les conditions édaphiques et microclimatiques, quatre géofaciès de végétation sont observés dans cet étage (Galán de Mera et al., 1997) : a) désert sans végétation, b) vallées ou oasis avec des forêts galeries, c) pentes côtières ou oasis appelées *lomas* (liées au phénomène d'inversion climatique sur le littoral froid) avec un climat spécifique et une végétation qui fleurit annuellement grâce au brouillard, d) un faciès aquatique avec des Cyperaceae et des Typhaceae. Les hommes vivent grâce à la pêche et à l'agriculture irriguée. Dans les vallées profondes, l'usage de différentes techniques d'irrigation (aspersion, inondation...) permet la culture du riz, de légumineuses, de fruits, de la canne à sucre et du coton.

2. 2. L'étage de la steppe

Il recouvre largement le flanc de la cordillère occidentale entre 800 et 2 500 mètres d'altitude environ. Cet étage est caractérisé par des versants de pente moyenne (20-30°) sur lesquels se développe une steppe à *Ambrosia sp* formant de petits arbustes. La végétation est éparse avec un taux de recouvrement de 25 à 50 %. Quelques cactus (*Corryocactus*, *Haageocereus*, *Oreocereus*, *Weberbauerocereus*) sont également présents. Grâce à l'irrigation, les activités agricoles sont bien

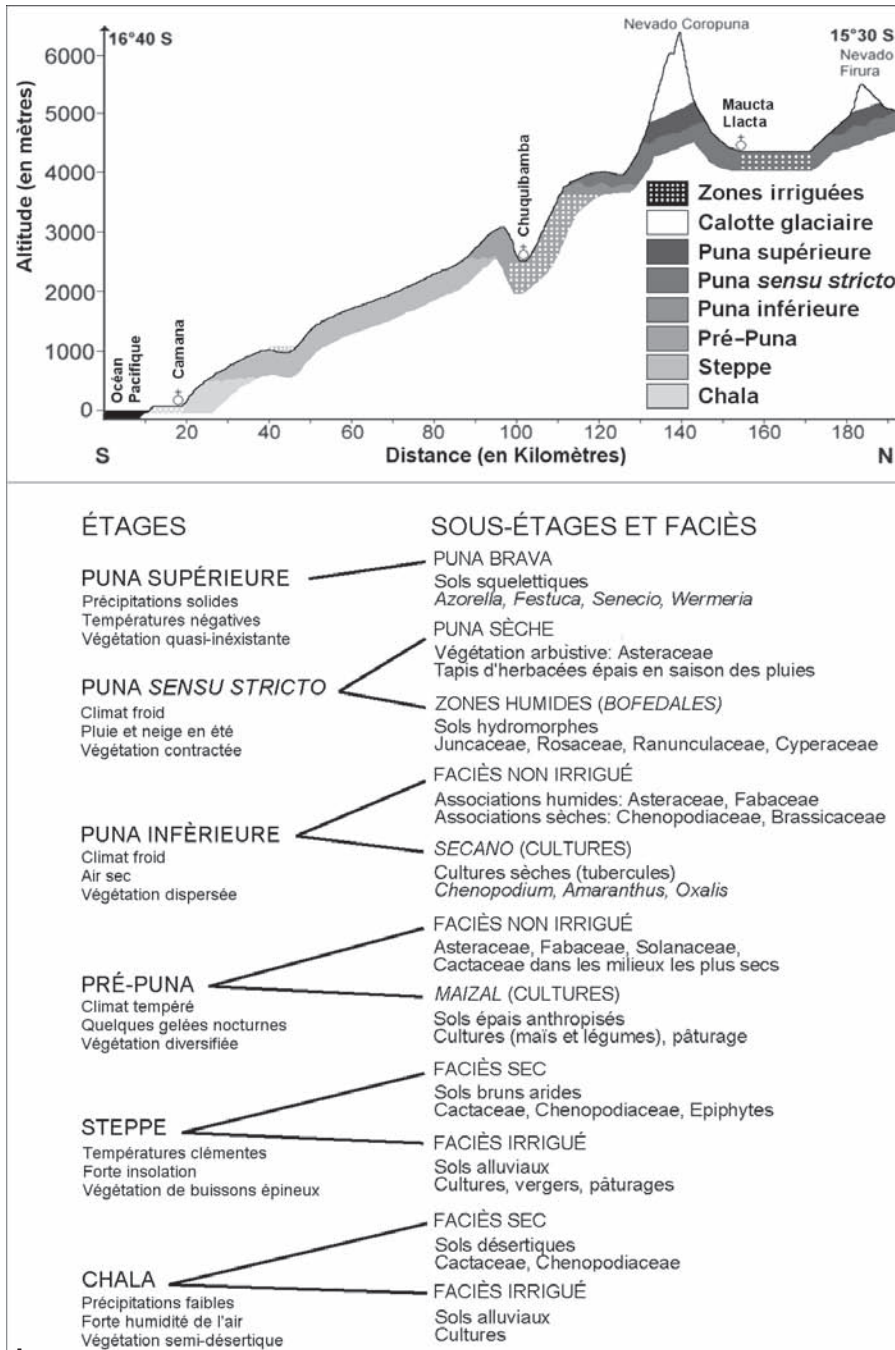


Figure 4 – Coupe des Andes occidentales à la latitude du Nevado Coropuna (Kuentz, 2009)

développées dans cet étage, notamment en fond de vallée. Les productions les plus importantes sont l'ail, l'oignon et les olives, puis les cultures de canne à sucre, de riz, de blé et de pomme de terre. Les pâturages (principalement bovins) permettent la production de lait et de cuir.

2. 3. La pré-Puna (2 500-3 500 m)

Elle est fortement anthropisée. Le géosystème irrigué de cette région rassemble des cultures comme celle du maïs, de nombreux légumes et des plantes fourragères telles que la luzerne. Les pâturages bovins sont également présents : on peut citer comme exemple l'industrie laitière à Chuquibamba. Pour se chauffer et cuisiner, les habitants ont planté des eucalyptus et des pins à proximité des villages. Les sols non irrigués sont colonisés par la steppe décrite ci-dessus mais avec une végétation plus dense et plus diversifiée, ainsi que la présence d'arbustes tels que *Adesmia sp*, *Diplostephium sp* ou *Tarasa sp*.

2. 4. La Puna inférieure

Elle recouvre une tranche altitudinale entre 3 500 et 4 000 m d'altitude environ. Sa flore inclut différentes plantes endémiques telles que *Chersodoma arequipensis*, *Diplostephium tacorense* (Asteraceae) et *Opuntia corotilla* (Cactaceae). L'homme tire de cet étage des ressources grâce aux cultures en terrasse de *secano* : il s'agit de cultures sèches à jachère longue. Ici sont cultivés les tubercules (*Oxalis*, *Solanum*), le quinoa (*Chenopodium*) et la kiwicha (*Amaranthus*).

2. 5. La Puna sensu stricto

Elle s'étend entre 4 000 et 4 800 m. La Puna aussi appelée *Tola* présente une végétation arbustive et herbacée. La végétation arbustive est principalement composée d'Asteraceae (*Baccharis*, *Chuquiraga*, *Parastrephia*, *Senecio*), parfois accompagnées de quelques Cactaceae. Lors de la saison des pluies, un tapis d'herbacées colonise 50 à 75 % du sol (*Astragalus*, *Calamagrostis*, *Festuca*, *Lupinus*, *Stipa*). Des bosquets de *Polylepis besseri* sont dispersés au sud-est du volcan. Il s'agit de forêts naines et ouvertes, dont le taux de recouvrement maximum est de 75 %. Les tourbières (*Bofedales*) sont localisées sur des espaces peu drainés et donc inondés en permanence. Les familles de plantes typiques de ces milieux sont Cyperaceae, Gentianaceae et Juncaceae. Les hommes occupent cet étage dans de petits hameaux, en général situés près d'une tourbière (drainée par les eaux de fonte des glaciers) qui permet le pâturage des camélidés (lamas, alpagas). Ils vivent de cet élevage et de la pêche (truites). La viande et la laine d'alpaga ainsi que les truites séchées sont ensuite transportées grâce à des caravanes de lamas dans des villages plus bas (à 3 500 mètres environ) pour être échangées contre des vivres.

Quelques plantes sont ramassées et utilisées à des fins médicinales ou culinaires (*Baccharis*, *Chuquiraga*, *Senecio*). Le bois de *Polylepis* est régulièrement ramassé et sert à chauffer les maisons et à cuisiner.

2. 6. La Puna supérieure

Elle domine à plus de 4 800 mètres d'altitude. *Azorella compacta* (la « Yareta ») est la plante principale de cette formation. Une autre plante en coussin, *Pycnophyllum molle*, est fréquemment associée à la « Yareta ». Le reste de la végétation est éparé et composé d'herbacées et de petites hémicryptophytes avec des racines profondes (Weberbauer, 1945). La présence humaine est limitée à quelques passages, l'habitat permanent étant absent. *Azorella compacta* est utilisée depuis plusieurs siècles comme source de combustible (Hodge, 1960).

Ayant décrit les six étages biogéographiques échelonnés sur le versant occidental du sud du Pérou, cet article concerne une région d'environ 50 kilomètres carrés autour du volcan qui englobe cinq principales zones d'habitat situées au sud et à l'ouest du volcan de la pré-Puna. Aux abords des villages, les populations cultivent des légumes et des céréales (maïs, luzerne, fèves...) en terrasses irriguées (fig. 5). L'élevage de bovins est également pratiqué. En amont, quelques habitations sont dispersées dans l'étage de la Puna inférieure où des tubercules sont cultivés. Dans l'étage de la Puna *sensu stricto*, l'habitat se réduit à des maisons isolées près des tourbières (élevage de camélidés) ou à proximité des forêts de *Polylepis*. L'habitat actuel se situe soit près de zones naturellement humides soit près de canaux d'irrigation permettant l'agriculture en terrasses (fig. 5).

3. ANALYSE BIOGÉOGRAPHIQUE DU CONTEXTE ARCHÉOLOGIQUE DE LA RÉGION DU NEVADO COROPUNA

Afin d'estimer les pressions anthropiques qui ont pu s'exercer au cours de l'Holocène moyen et supérieur (depuis 4 000 ans environ) sur le couvert végétal entourant le Nevado Coropuna, nous retraçons ci-dessous l'occupation humaine de la région sur la base d'un inventaire des sites archéologiques (fig. 6). Les périodes archéologiques sont définies d'après Ziolkowski & Belán Franco (2001).

3. 1. La période archaïque (précédant 2 000 avant J.-C.)

De nombreux sites archéologiques de la côte sud du Pérou montrent une première phase d'occupation entre 11 000 et 9 000 avant J.-C. (Sandweiss *et al.*, 1998 ; Sandweiss, 2003). Les régions d'altitude auraient été colonisées après 9 000 avant J.-C. comme l'indiquent les anciens chemins repérés sur les sols (Baied & Wheeler, 1993 ; Aldenderfer, 1999) : il s'agissait de populations de chasseurs-cueilleurs

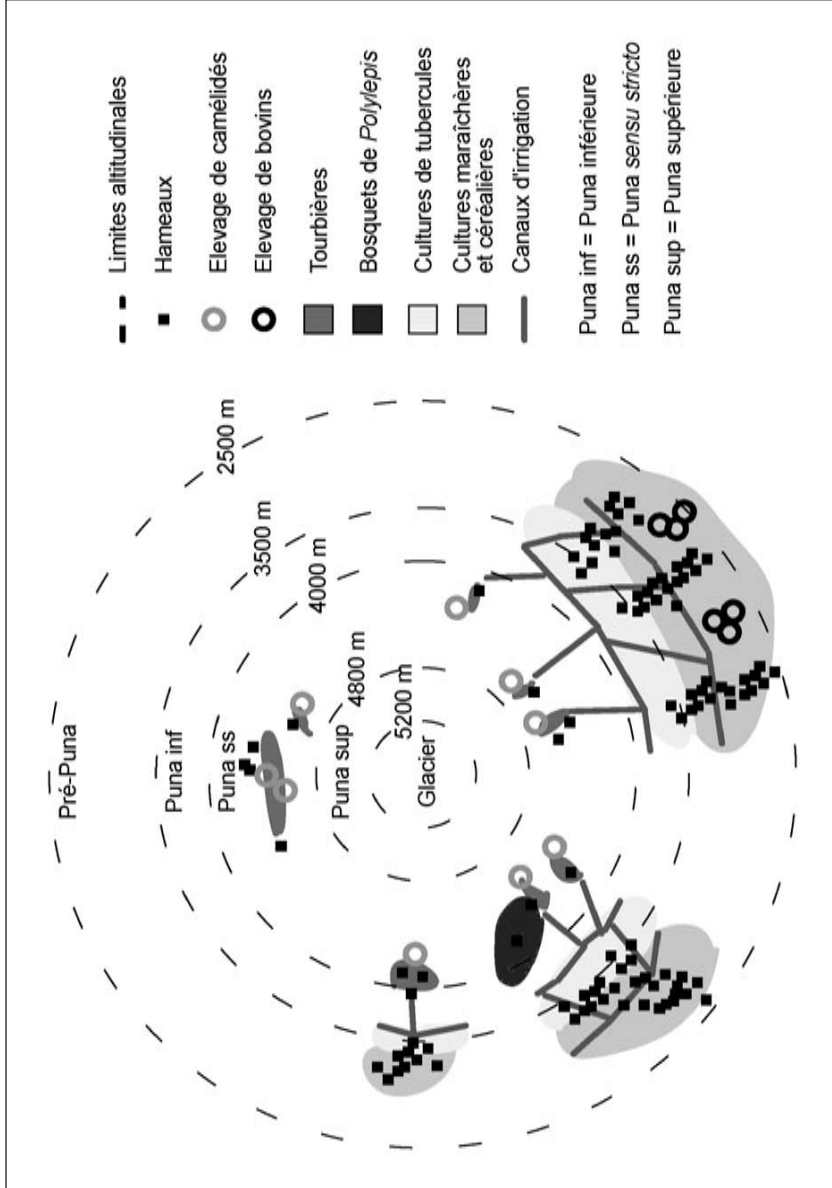
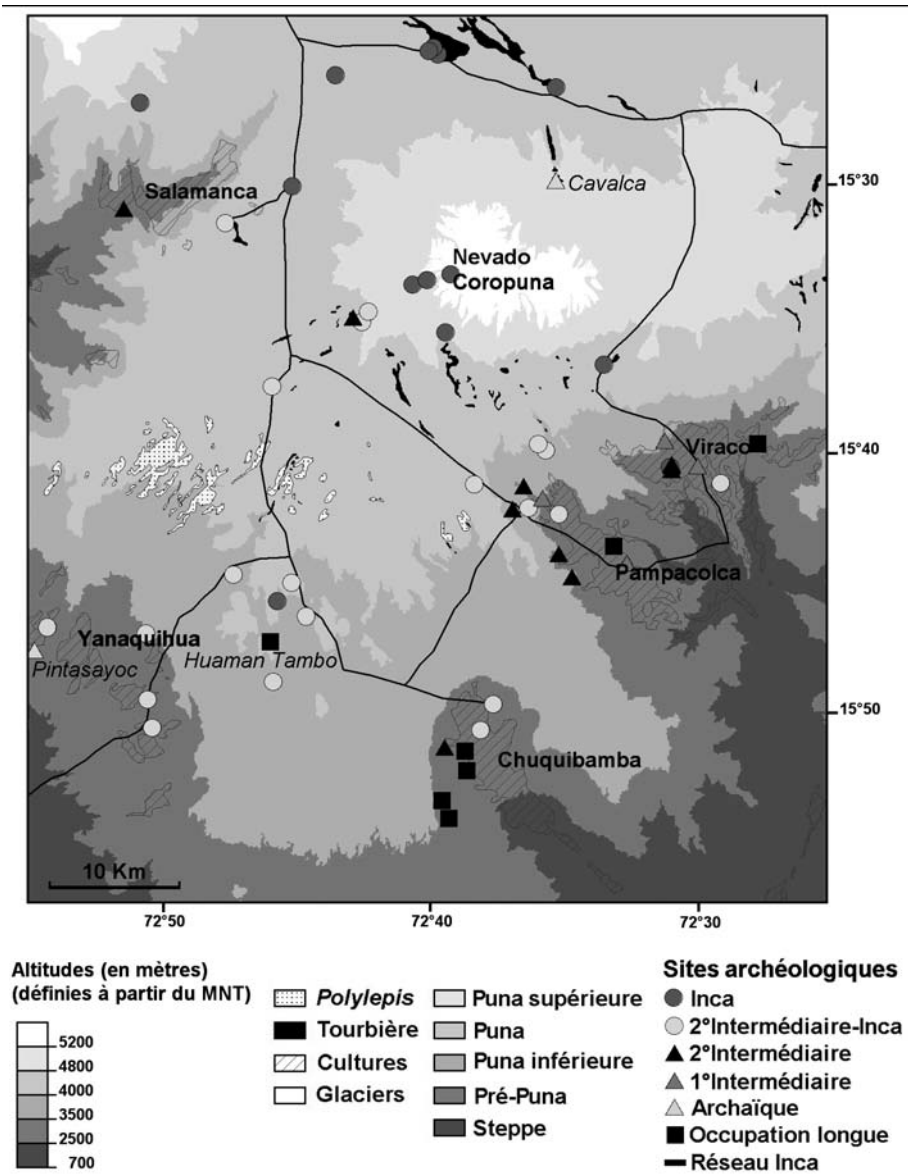


Figure 5 – Schéma de l'organisation du terroir et des activités agro-pastorales actuelles autour du Nevado Coropuna
D'après Forget, 2005



D'après Ziolkowski & Belán Franco (2001), Forget (2005), Ziolkowski (2005) et à partir du Modèle Numérique de Terrain

et/ou pêcheurs, vivant dans des grottes. Deux grottes attestent de cette période dans la région étudiée (triangles gris clair sur la carte de la figure 6). La grotte de Cavalca est située sur le flanc nord-est du volcan, celle de Pintasayoc à l'ouest du village actuel de Yanaquihua, dans laquelle des peintures rupestres ont été découvertes (fig. 7 et tableau 1). Les peintures de la représentation principale sont rattachées à la période archaïque entre 7 000 et 3 000 avant J.-C. environ (Cardona Rosas, 2002). La période archaïque dans ces régions était composée de sociétés de chasseurs-cueilleurs qui chassaient cervidés, guanacos et vigognes. Une des scènes des peintures de cette grotte est interprétée comme une chasse avec un lasso, pouvant représenter la capture d'animaux vivants. La domestication des camélidés dans les Andes date de 4 000-3 800 avant J.-C. (Guffroy, 1999 ; Jakubicka & Woloszyn, 2005).

3. 2. La période initiale ou « Formatif final » (2 000-1 000 avant J.-C.)

Cette période se caractérise par la richesse de ses céramiques. En revanche, son organisation économique et sociale reste inconnue. Les recherches archéologiques mettent en évidence l'existence de différents groupes sociaux qui s'établissent d'abord sur le littoral, puis dans la cordillère (étage de la Puna). L'occupation des différents territoires permet une complémentarité des activités socio-économiques. Cette période est caractéristique de la région de Chuquibamba (objets céramiques), dont le site de référence est *Huaman Tambo* situé à l'est de Yanaquihua (fig. 6). L'occupation de ce site est continue jusqu'à la fin de la

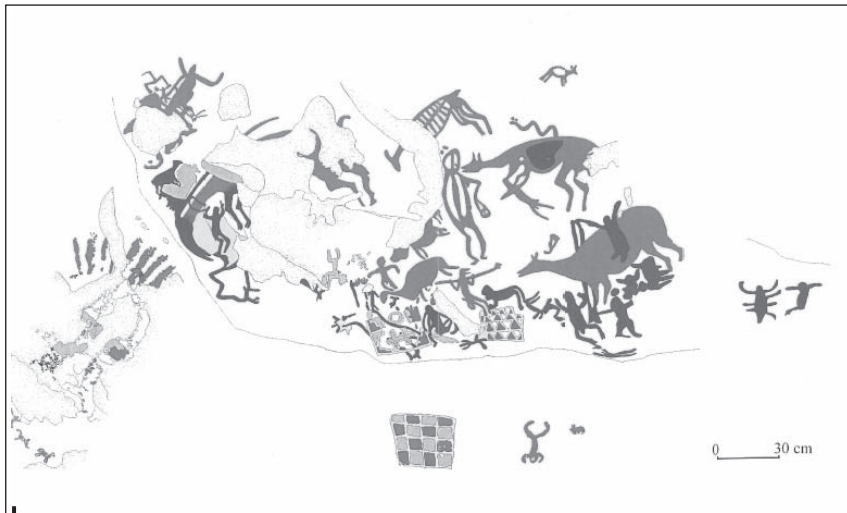


Figure 7 – Reproduction des peintures rupestres de la grotte de Pintasayoc située au sud-ouest du Nevado Coropuna à 15°4' S, 72°6' O, 2 500 m

Archives du Centro de Estudios Precolombinos de la Universidad de Varsovia (In : Ziolkowski, 2005)

Tableau 1 – Informations archéologiques, historiques et palynologiques, permettant d'évaluer les impacts anthropiques sur la végétation selon les périodes archéologiques

| Période (dates) | Nombre de sites archéologiques identifiés | Étages occupés | Estimation de la population | Méthodes d'identification des impacts anthropiques | | Types d'activités supposées |
|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| | | | | Archéologie Histoire | Palynologie | |
| Période archaïque (2000 av. J.-C.) | 2 | Pré-Puna Puna sup. | Très faible | Peintures rupestres | Pas de traces spécifiques | Chasse (cervidés, guanacos, vigognes) et cueillette |
| Période initiale (2000-1000 av. J.-C.) | 3 | | Très faible | Irrigation | Pas de traces spécifiques | Chasse (cervidés, guanacos, vigognes) et cueillette Pêche, horticulture |
| Horizon ancien (1000-350 av. J.-C.) | 0 | | Très faible ou inexistante | | Diminution des <i>Polylepis</i> | |
| 1 ^o période intermédiaire (350 av. J.-C.-950 A.D.) | 4 | Pré-Puna | Faible | Cultures en terrasses | Augmentation des <i>Ambrosia</i> , <i>Solanaceae</i> | Cultures Chasse Cueillette |
| 2 ^o période intermédiaire (950-1350 AD) | 30 | Pré-Puna Puna inf. Puna ss | Importante | Canaux d'irrigation | Taxons de plantes cultivées | Cultures Élevage Cueillette |
| Empire Inca (1350-1550 AD) | 41 | Pré-Puna Puna inf. Puna ss Puna sup. | Très importante | Canaux d'irrigation Cultures en terrasses | Pas de données | Cultures Élevage Cueillette Cérémonies |
| Actuel | | Pré-Puna Puna inf. Puna ss | Importante | Canaux d'irrigation Cultures en terrasses | Taxons de plantes cultivées | Cultures Élevage Cueillette |

Puna inf. = Puna inférieure ; Puna ss = Puna *sensu stricto* ; Puna sup. = Puna supérieure

période inca (carré noir sur la figure 6). La mise en place d'un système d'irrigation permet le développement du tissage, de la pêche et de l'horticulture. D'après les archéologues, l'apparition des cultures en terrasse dans les hautes terres est attribuée à la fin de cette période, vers 1 000 avant J.-C. (Ziolkowski & Belán Franco, 2001).

Il n'y a pas de trace connue de la période nommée « horizon ancien » (1 000-350 avant J.-C.) autour du Nevado Coropuna.

3. 3. La première période intermédiaire (350 avant J.-C.-950 A.D.)

Seuls quatre sites couvrent cette période (triangles gris foncés sur la figure 6) autour du Nevado Coropuna. Ils se localisent à l'étage de la pré-Puna (à 3 000 mètres d'altitude environ) près des villages actuels de Pampacolca et Viraco.

3. 4. La seconde période intermédiaire (950-1350 A.D.)

Cette période est très riche sur le plan archéologique : pas moins de 30 sites (triangles noirs et ronds gris clairs sur la figure 6) sont recensés dont 20 ont été réutilisés par les Incas (ronds gris clairs). Ils sont dispersés au sud et à l'ouest du volcan dans les sous-étages écologiques suivants : pré-Puna, Puna inférieure et Puna *sensu stricto*. Plusieurs étages étant colonisés, on peut supposer une diversification des activités anthropiques (chasse, cueillette, cultures, pâturage). Les nombreuses et impressionnantes *chullpas*, des tours funéraires rondes, qui émaillent le paysage dénudé de l'Altiplano, témoignent de cette époque.

3. 5. L'Empire Inca (1350-1550 A.D.)

Malgré sa renommée, cet empire a à peine duré un siècle. Avant 1430 A.D., les Incas régnaient sur la vallée de Cuzco puis le *Tahuantinsuyo*, ou royaume des quatre directions, intégra les cultures précédentes, ainsi que la plupart des civilisations s'étendant du sud de la Colombie jusqu'au centre du Chili. Ils imposèrent leur mode de vie aux populations conquises comme en témoigne l'inventaire des sites archéologiques autour du Nevado Coropuna (Ziolkowski & Belán Franco, 2001), qui fait apparaître la succession des différentes civilisations sur certains sites (carrés noirs et ronds gris clairs sur la figure 6). Aussi, à l'arrivée des Espagnols au sud du Pérou vers 1550 A.D., toute la région andine était-elle politiquement unifiée sous la domination inca. Autour du Nevado Coropuna, cela s'est traduit par la réutilisation des constructions existantes (habitations et terrasses en culture), mais également par le mode d'attribution de l'eau d'irrigation. Les Incas améliorèrent en partie des ouvrages hydrauliques construits par les civilisations précédentes. Certains de ces canaux sont aujourd'hui réutilisés, mais beaucoup sont à l'état de ruine. Les Incas confèrent aux terrasses un aspect monumental par l'apport d'escaliers, de canaux et de gouttières d'irrigation. La finalité de ce système de terrassement est triple : il freine l'érosion, agrandit le domaine agricole et retient l'humidité. Ces travaux de génie agricole illustrent certainement le domaine le plus élaboré de l'architecture inca.

Autour du Nevado Coropuna, quatorze sites incas ont été référencés (ronds gris foncés), auxquels s'ajoutent 20 sites qui datent de la seconde période intermédiaire et qui ont également été réutilisés par les Incas (ronds gris clairs) et sept sites occupés par plusieurs civilisations dont celle des Incas (carrés noirs). Ces derniers sont localisés au fond des vallées et près des zones cultivées (à 3 000 mètres

d'altitude environ). Les sites construits par les Incas sont localisés à plus haute altitude (Puna *sensu stricto* et même Puna supérieure) que ceux des civilisations plus anciennes : les plus élevés sont édifiés à 5 700 mètres d'altitude sur le flanc sud-ouest du volcan (fig. 6). Ce sont des lieux de cérémonie qui témoignent de sacrifices effectués à cette époque. Par exemple, la célèbre momie *la dama de Ampato* a été retrouvée (par J. Reihnard en 1996) sur le Nevado Ampato, un strato-volcan localisé à 100 km au sud-est du Nevado Coropuna. Deux hypothèses ont été avancées à propos de la cause de ce sacrifice : une éruption volcanique et/ou une sécheresse prolongée (Thouret *et al.*, 2001). Il semble en effet que les glaciers étaient plus réduits à cette période et que les limites écologiques des étages aient pu migrer de quelques centaines de mètres vers l'amont (Forget, 2005 ; Kuentz *et al.*, 2006). L'hypothèse d'une période prolongée de sécheresse expliquerait également l'ampleur des travaux réalisés par les Incas afin de drainer l'eau des glaciers jusqu'aux zones de cultures. Une partie des sites incas est bâtie le long du réseau routier mis en place par ce peuple (lieux de campements). La présence de ces camps et de ce réseau témoigne d'échanges importants entre les différentes régions écologiques du Pérou (zones côtières, hautes terres et forêt andine) et, sur de plus courtes distances, d'échanges entre les différents étages écologiques. Enfin, une partie des sites incas est établie près de tourbières : c'est le cas par exemple de ceux localisés au nord du volcan près du village de Maucta Llacta. Nous supposons donc que l'élevage des camélidés était pratiqué autour du Nevado Coropuna à cette époque.

Les sites archéologiques les plus proches des forêts, naines et disséminées, de *Polylepis* en sont séparés de 3 km au moins (fig. 6). Ils sont datés de la seconde période intermédiaire ou de la période inca (Ziolkowski & Belán Franco, 2001 ; Ziolkowski, 2005). Il est donc envisageable que les forêts du Nevado Coropuna aient été plus étendues dans le passé et qu'une pression humaine ait été exercée à leurs dépens. Les habitants des grottes datant de la période archaïque, peu nombreux et vivant de chasse et de cueillette, n'ont pas eu une grande influence sur le couvert végétal. En suivant un ordre chronologique, un seul site est occupé près de Chuquibamba à partir de 2 000 avant J.-C. (période initiale) puis quatre sites datent de la première période intermédiaire (350 avant J.-C. - 950 A.D.), près de Viraco et de Pampacolca. Notre hypothèse au sujet de l'occupation des hommes durant cette période consiste à penser qu'ils pouvaient pratiquer une petite agriculture, car les habitations étaient localisées dans les étages agricoles, vers 3 000 m d'altitude. L'impact de l'homme sur le couvert végétal aurait augmenté à partir de 950 A.D., lors de la seconde période intermédiaire. Beaucoup de sites entourant le Nevado Coropuna datent en effet de cette époque et sont localisés dans divers étages écologiques. À partir de la civilisation inca, l'étage de la Puna supérieure a également été exploité. Le grand nombre de sites nous permet de supposer une augmentation démographique (tableau 1).

4. ANALYSE DES ARCHIVES SÉDIMENTAIRES À LA RECHERCHE DES LIENS ENTRE LES SOCIÉTÉS ET LES ENVIRONNEMENTS

4. 1. Un faible impact anthropique sur le couvert végétal (précédant 250 avant J.-C) ?

Avant 250 avant J.-C. l'impact anthropique sur la végétation est encore faible. Les forêts de *Polylepis* régressent entre 1 000 et 400 avant J.-C. (fig 8). Cependant, aucun site archéologique correspondant à cette période (horizon ancien) n'a été identifié autour du volcan. La forte diminution de l'influx et de la concentration polliniques avant cette période nous permet de déduire une période de forte sécheresse qui pourrait être à l'origine de la diminution des forêts de *Polylepis*.

4. 2. Le début de l'agriculture (250 avant J.-C. à 1030 A.D.)

De 250 avant J.-C. à 1030 A.D., les espèces caractéristiques de la Puna supérieure (Apiaceae et Caryophyllaceae) diminuent au profit des herbacées et des arbustes

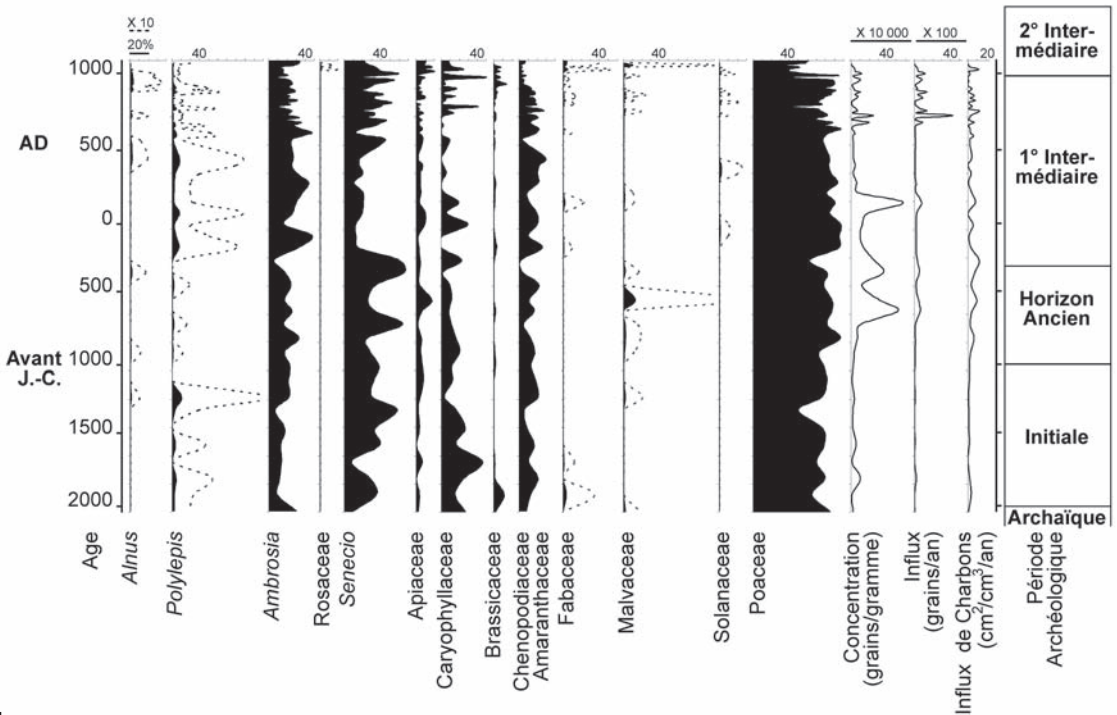


Figure 8 – Pourcentages polliniques de taxons sélectionnés, concentration pollinique, influx pollinique et influx des micro-charbons à différentes profondeurs de la carotte COR300

de la Puna inférieure autour du Nevado Coropuna (fig. 8). La surface des glaciers est réduite et les étages de végétation sont décalés vers l'amont par rapport à la période précédente. Comme la végétation est relativement dense, ces changements pourraient résulter d'un réchauffement du climat et non pas d'un assèchement. Cependant, les autres enregistrements paléoclimatiques des Andes Centrales (par exemple Abbott *et al.*, 1997 ; Weng *et al.*, 2006) n'indiquent pas de variations climatiques ou environnementales autour de 250 avant J.-C. Les changements de végétation observés autour du Nevado Coropuna peuvent donc être locaux et/ou dus à l'homme. En effet, l'augmentation des arbustes d'*Ambrosia* peut également refléter un impact anthropique sur le paysage car cette herbacée ligneuse était utilisée par les populations andines pour stabiliser les terrasses agricoles (Chepstow-Lusty *et al.*, 1998). D'après notre carte synthétique, l'occupation humaine était faible au cours de la période dénommée « horizon ancien » (1 000 - 350 avant J.-C.) (fig. 6). Par contre, quatre sites datant de la première période intermédiaire (350 avant J.-C. - 950 A.D.) repérés autour du volcan à environ 3 000 mètres d'altitude près des villages de Pampacolca et Viraco (fig. 6) pourraient caractériser les premières cultures dans la région. L'augmentation des Solanaceae (famille de la pomme de terre) et des Chenopodiaceae/Amaranthaceae (quinoa) ainsi que la diminution des *Azorella*, utilisés comme source de combustible, dans les sédiments de la carotte de Huayllaura à cette époque semblent confirmer cette hypothèse (fig. 8).

Autour de 950 avant J.-C., l'augmentation des aulnes durant une courte période (fig. 8), également observée sur d'autres sites des Andes Centrales (par exemple : Hansen *et al.*, 1984 ; Hansen & Rodbell, 1995 ; Chepstow-Lusty *et al.*, 1998 ; Weng *et al.*, 2004) a été attribuée au développement de cultures pré-incaïques d'aulnaies (Chepstow-Lusty & Winfield, 2000) et/ou à des conditions climatiques plus chaudes pendant le réchauffement médiéval (Chepstow-Lusty *et al.*, 2003). Toutefois, pour le Coropuna, le fait que cette expansion ne dure pas plus de 200 ans et qu'elle ne semble pas liée à une occupation humaine spécifique, nous font plutôt plaider en faveur de la seconde hypothèse climatique.

4. 3. Augmentation de l'impact anthropique à partir de 970 A.D. malgré l'assèchement du climat

Entre 970 et 1130 A.D., les herbacées diminuent fortement au profit des coussins d'Apiaceae et de Caryophyllaceae autour du Nevado Coropuna (fig. 8). La Puna supérieure s'étend au détriment de la Puna inférieure. La concentration et l'influx polliniques diminuent et plusieurs taxons de plantes cultivées se développent au cours de cette période: Fabaceae, Rosaceae et Malvaceae. Il semble qu'en réponse aux contraintes imposées par un climat plus sec, les populations aient aménagé des canaux d'irrigation afin de pouvoir drainer l'eau de fonte des glaciers qui étaient eux-mêmes en recul. À cette époque l'impact de l'homme sur la végétation est important : autour du volcan, pour la seconde période intermédiaire (950-1250 A.D.), pas moins de 30 sites archéologiques témoignent d'une forte occupation

humaine sur plusieurs étages de végétation, la pré-Puna, la Puna inférieure et la Puna *sensu stricto*. Durant cette période, les Chenopodiaceae/Amaranthaceae (quinoa) régressent, mais il est possible que d'autres cultures leur aient été préférées comme les Fabaceae et les Brassicaceae, qui se développent à cette époque. Aujourd'hui encore plusieurs plantes fourragères de ces familles sont cultivées sur les pentes du volcan à plus basse altitude (entre 2 500 et 3 500 m). L'augmentation des Rosaceae et des Malvaceae pourrait également être liée à l'exploitation d'arbres fruitiers et de cultures de coton vers l'aval (en dessous de 2 000 m). Nous n'avons pas noté de grains de pollen de maïs. L'augmentation de l'impact anthropique sur la végétation est enregistrée dans d'autres secteurs des Andes Centrales. Par exemple, un important contenu de poussières attribué au développement des terrasses agricoles sur l'altiplano a été identifié dans la carotte de glace du Nevado Quelccaya entre 830 et 960 A.D. (Thompson *et al.*, 1998 ; Erickson, 2000). Près de Cusco (Marcacocha), la présence de grains de pollen de Chenopodiaceae/Amaranthaceae et de maïs ainsi que l'augmentation des fréquences des parasites de camélidés caractérisent le développement d'activités agro-pastorales entre 900 et 1000 A.D. (Chepstow-Lusty *et al.*, 2009).

Les variations environnementales décelées vers 970 A.D. pourraient également et/ou conjointement refléter un changement climatique rapide avec les conditions plus sèches du réchauffement médiéval comme au lac Titicaca et au Nevado Quelccaya vers 1100 A.D. (Thompson *et al.*, 1985 ; Abbott *et al.*, 1997 ; Binford *et al.*, 1997 ; Sterken *et al.*, 2006). Au cours de l'anomalie climatique médiévale (ACM), l'augmentation de l'irradiation solaire et/ou une activité volcanique faible seraient à l'origine de l'augmentation des températures et de la diminution des précipitations (Mann *et al.*, 2005). Des conditions positives persistantes de l'Oscillation de l'Atlantique Nord (NAO *North Atlantic Oscillation*) augmenteraient la circulation atlantique méridionale et généreraient des variations de salinité et de températures de surface dans l'Atlantique tropical, avec pour conséquence une diminution des précipitations d'été sur la cordillère orientale du Pérou (Trouet *et al.*, 2009).

L'hypothèse d'un impact humain et climatique conjoint sur la végétation reste possible dans la mesure où, au cours d'une phase climatique sèche, les hommes auraient pu poursuivre des activités agricoles grâce à la construction de canaux d'irrigation. De fait, de nombreux canaux d'irrigation pourraient dater de cette période (fig. 9). D'autres exemples d'adaptation ou de non-adaptation à des changements climatiques brusques existent dans les Andes centrales. Par exemple, l'expansion de la civilisation Wari serait liée à l'introduction (avec succès) de l'irrigation dans les terrasses agricoles des hautes altitudes des Andes centrales pendant une phase aride (aux environs de 600-700 A.D.) (Moseley, 2001 ; Kemp *et al.*, 2006). Au contraire, le déclin de la culture Tiwanaku dans le bassin du lac Titicaca coïncide avec une période prolongée de sécheresse (à partir de 950 A.D.) et pourrait être lié à l'inadaptation de leur système agricole face à une période de sécheresse (Binford *et al.*, 1997 ; Abbott *et al.*, 1997).

Malgré l'augmentation démographique (caractérisée par l'accroissement de l'habitat), les particules de charbons présentes dans les sédiments de la carotte

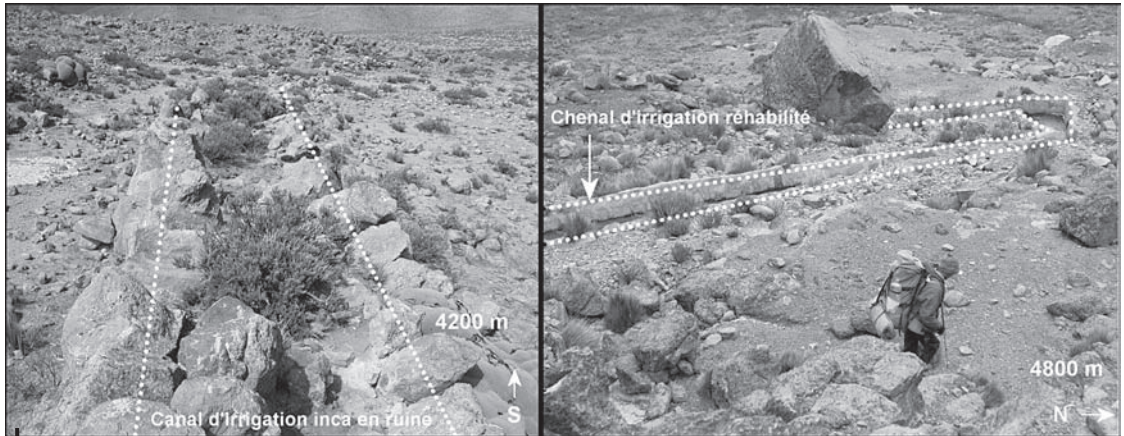


Figure 9 – Canaux d'irrigation abandonnés, sur le flanc nord du Nevado Coropuna à 4 200 m (à gauche) et au contraire réhabilités sur le flanc est de ce Nevado à 4 800 m (à droite)

Forget, 2005

de Huayllaura restent faiblement représentées depuis le milieu de l'Holocène. La raison principale serait la faible disponibilité en biomasse à brûler. Seuls *Polylepis* et *Azorella compacta* pouvaient être récoltés pour un usage domestique, sans provoquer d'incendies locaux.

4. 4. Après 1130 A.D. : des analyses en cours

Une période de sécheresse est enregistrée au Nevado Coropuna entre 970 et 1130 A.D. en accord avec les résultats récents de Chepstow-Lusty *et al.* (2009) dans la région de Cusco. Des conditions climatiques plus chaudes sont évoquées par ces mêmes auteurs pour la période suivante (environ 1100-1500 A.D.) offrant aux populations l'opportunité d'exploiter les espaces découverts de haute altitude et de construire des terrasses agricoles irriguées par la fonte des glaciers. Au Nevado Coropuna, l'édification de sites cérémoniels incas (1350-1550 A.D.) à très haute altitude (jusqu'à 5 700 m) atteste un recul des glaciers avant cette période. De nouvelles datations permettront de caractériser de façon plus précise les changements environnementaux depuis 1100 A.D. au Nevado Coropuna.

Plusieurs études montrent une extension des glaciers dans les Andes centrales à partir de 1650 A.D., associée au petit âge de glace (par exemple Thompson *et al.*, 1995 ; Rabatel, 2005). La suite des analyses nous permettra également de caractériser l'environnement du Coropuna pendant le petit âge de glace, bien marqué dans ces régions par les avancées glaciaires (Forget *et al.*, 2008).

CONCLUSIONS

Les résultats obtenus conjointement grâce aux recherches archéologiques et palynologiques dans la région du Nevado Coropuna ont permis de reconstituer les activités humaines et leur relation avec le couvert végétal. Une telle étude pluridisciplinaire, réalisée pour la première fois dans les milieux arides d'altitude des régions tropicales, permettra d'alimenter les modèles de reconstitution climatique pour ces régions. En effet, faute de données reliées aux paléo-environnements, il n'est pas encore possible de prévoir le futur des populations andines qui seront soumises à des facteurs climatiques contraignants pour le siècle à venir. Ainsi, nous observons que les premières cultures réalisées autour du volcan à partir 350 avant J.-C. sont constituées de pomme de terre et de quinoa, rendues possible grâce à la construction de terrasses et surtout grâce au développement de l'irrigation. Les coussins d'*Azorella compacta* (Yareta) ont pu être utilisés par les hommes comme source de combustible en l'absence d'arbres. Vers 950 A.D., lorsqu'une période de sécheresse est identifiée au sud du Pérou, les cultures sont en pleine expansion (plantes fourragères, arbres fruitiers) et coïncident avec la construction de canaux d'irrigation plus élaborés. Ces résultats montrent que malgré la sécheresse climatique, les hommes ont réussi à s'adapter en aménageant le paysage pour utiliser l'eau des glaciers tout proches. Cette faculté d'adaptation ou au contraire d'inadaptation aux changements climatiques est liée au déclin ou au développement de nombreuses civilisations andines, comme par exemple les Wari et les Incas. La fonte accélérée des glaciers combinée à l'augmentation des températures que nous enregistrons aujourd'hui remettra donc en question ces pratiques millénaires. De telles études menées dans d'autres régions des Andes centrales sont aujourd'hui nécessaires pour caractériser l'aspect régional de ces changements environnementaux passés et à venir.

Remerciements

Les datations radiocarbone ont été réalisées au Laboratoire de Mesure du Carbone 14 (LMC¹⁴)-UMS 2572 (CEA/DSM-CNRS-IRD-IRSN-Ministère de la culture et de la communication) à Gif-sur-Yvette (France). Ce travail a été réalisé avec le soutien de l'Institut Français d'Études Andines UMIFRE 17 CNRS-MAEE, de l'Institut de Recherche pour le Développement (programme « GREAT ICE ») et du laboratoire CERAMAC (Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand 2, France). A. Kuentz remercie R. Cheddadi et toute l'équipe Paléoenvironnements et Paléoclimats (ISEM, Montpellier) ainsi que S. Beck et l'*Herbario Nacional de Bolivia* (UMSA, La Paz) pour leur accueil au sein de leurs laboratoires. Les auteurs remercient V. Claverie pour son aide sur le terrain et pour ses clichés photographiques. Enfin, nous remercions B. Francou et J. J. Vacher pour leur relecture du manuscrit et leur contribution à son amélioration.

Références citées

- ABBOTT, M., BINFORD, M., BRENNER, M. & KELTS, K. R., 1997 – A 3500 14C yr high-resolution record of lake level changes in Lake Titicaca, Bolivia/Peru. *Quaternary Research*, **47** : 169-180.
- ALDENDERFER, M., 1999 – The Pleistocene/Holocene transition in Peru and its effects upon human use of the landscape. *Quaternary International*, **54** : 11-19.
- BAIED, C. A. & WHEELER, J. C., 1993 – Evolution of high Andean puna ecosystems: environment, climate, and culture change over the last 12,000 years in the Central Andes. *Mountain Research and Development*, **13** : 145-156.
- BEROUTCHACHVILI, N. & BERTRAND, G., 1978 – Le géosystème ou «Système territorial naturel». *Revue Géographique des Pyrénées et du Sud Ouest*, **49 (2)** : 167-180.
- BERTRAND, G., DOLLFUS, O. & HUBSCHMAN, J., 1980 – Une cartographie de reconnaissance des géosystèmes dans les Andes du Pérou. *Revue Géographique des Pyrénées et du Sud Ouest*, **51 (2)** : 169-181.
- BINFORD, M. W., KOLATA, A. L., BRENNER, M., JANUSEK, J. W., SEDDON, M. T., ABBOTT, M. & CURTIS, J. H., 1997 – Climate Variation and the Rise and Fall of an Andean Civilization. *Quaternary Research*, **47** : 235-248.
- BRACK EGG, A. & MENDOLIA, C., 2000 – *Ecología del Perú*, 495 pp.; Lima : Bruño-Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo.
- CARDONA ROSAS, A., 2002 – *Arqueología de Arequipa*, 178 pp.; Arequipa: CIARQ, Centro de Investigaciones Arqueológicas de Arequipa, Sociedad Minera Cerro Verde S. A. S.
- CHEPSTOW-LUSTY, A. & WINFIELD, M., 2000 – Inca agroforestry: lessons of the past. *Ambio*, **29 (6)** : 322-328.
- CHEPSTOW-LUSTY, A., BENNETT, K. D., FJELDSA, J., KENDALL, A., GALIANO, W. & HERRERA, A. T., 1998 – Tracing 4000 years of environmental history in the Cuzco area, Peru, from the pollen record. *Mountain Research and Development*, **18** : 159-172.
- CHEPSTOW-LUSTY, A., FROGLEY, M., BAUER, B., BUSH, M. & TUPAYACHI HERRERA, A., 2003 – A late holocene record of arid events from the Cuzco region, Peru. *Journal of Quaternary Science*, **18 (6)** : 491-502.
- CHEPSTOW-LUSTY, A., FROGLEY, M., BAUER, B., LENG, M. J., BOESSENKOOL, K. P., CARCAILLET, C., ALI, A. A. & GIODA, A., 2009 – Putting the rise of the Inca Empire within a climatic and land management context. *Climate of the past*, **5** : 375-388.
- CLARK, R. L., 1982 – Point count estimation of charcoal in pollen preparations and thin sections of sediments. *Pollen et spores*, **24 (3-4)** : 523-535.
- DOLLFUS, O., 1965 – Les Andes centrales du Pérou et leurs piémonts (entre Lima et le Péréné) ; Paris : Université de Paris, Faculté des lettres et Sciences Humaines. Tesis de doctorado.
- ERICKSON, C., 2000 – *The Lake Titicaca basin: Landscape Transformations in the Precolumbian Americas* (D. L. Lentz, ed.): 311-356; Nueva York : Colombia University Press.
- FAEGRI, K. & IVERSEN, J., 1989 – *Textbook of pollen analysis*, 326 pp. ; New York.
- FORGET, M., 2005 – Fluctuations glaciaires et ressources en eau sur le Nevado Coropuna. Un système d'informations géoarchéologiques et géomorphologiques, 110 pp. ; Lyon : Université de Lyon 2, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand. Mémoire de DEA.

- FORGET, M., THOURET, J.-C., KUENTZ, A. & FONTUGNE, M., 2008 – Héritages glaciaires, périglaciaires et évolution récente : le cas du Nevado Coropuna (Andes centrales, sud du Pérou). *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, **2** : 113-132.
- GALÁN DE MERA, A., VICENTE ORELLANA, J., LUCAS GARCÍAS, J. & PROBANZA, L. A., 1997 – Phytogeographical sectoring of the peruvian coast. *Global Ecology and Biogeography Letters*, **6** : 349-367.
- GUFFROY, J., 1999 – *El arte rupestre del Antiguo Perú*, 147 pp. ; Lima : Institut Français d'Études Andines (IFEA), Institut de Recherche pour le développement (IRD).
- HANSEN, B. & RODBELL, D. T., 1995 – A late-glacial/Holocene pollen record from the Eastern Andes of northern Peru. *Quaternary Research*, **44** : 216-227.
- HANSEN, B., WRIGHT, H. E. & BRADBURY, J. P., 1984 – Pollen studies in the Junin area, central peruvian andes. *Geological Society of America Bulletin*, **95** : 1454-1465.
- HODGE, W. H., 1960 – Yareta-fuel umbellifer of the Andean Puna. *Economic Botany*, **14** : 113-118.
- JAKUBICKA, M. & WOLOSZYN, J., 2005 – Pinturas rupestres de Pintasayoc. In : *Proyecto Arqueológico Condesuyos Vol III* (M. Ziolkowski, L. A. Belán Franco & M. Sobczyk, eds.) : 109-136 ; Varsovia : Université de Varsovie.
- KEMP, R., BRANCH, N., SILVA, B., MEDDENS, F., WILLIAMS, A., KENDALL, A. & VIVANCO, C., 2006 – Pedosedimentary, cultural and environmental significance of paleosols within pre-hispanic agricultural terraces in the southern Peruvian Andes. *Quaternary International*, **158** : 13-22.
- KUENTZ, A., 2009 – *Dynamiques actuelle et holocène de la Puna (Andes sèches du Pérou) à partir des observations de terrain, de la cartographie (SIG) et de la palynologie (Région du Nevado Coropuna)*, 260 p. ; Clermont-Ferrand : Éditions Universitaires Européennes, Université Blaise Pascal. Thèse de doctorat.
- KUENTZ, A., FORGET, M. E., THOURET, J.-C. & LEDRU, M.-P., 2006 – Evidence for, and consequence of, recent climate changes on the environment of the Nevado Coropuna, western Cordillera, Southern Peru. In : *Proyecto Arqueológico Condesuyos Vol III* (M. Ziolkowski, L. A. Belán Franco & M. Sobczyk, eds.) : 437-452 ; Varsovia : Université de Varsovie.
- MANN, M. E., CANE, M. A., ZEBIAK, S. E. & CLEMENT, A., 2005 – Volcanic and Solar Forcing of the Tropical Pacific Over the Past 1000 Years. *Journal of Climate*, **18** : 447-456.
- MCCORMAC, F. G., HOGG, A. G., BLACKWELL, P. G., BUCK, C. E., HIGHAM, T. F. G. & REIMER, P. J., 2004 – SHCal04 Southern Hemisphere Calibration 0-1000 cal BP. *Radiocarbon*, **46** : 1087-1092.
- MOSELEY, M. E., 2001 – *The Incas and their Ancestors, The Archaeology of Peru*, 288 pp. ; London : Thames and Hudson.
- PULGAR VIDAL, J., 1996 – *Geografía del Perú*, 302 pp. ; Lima : PEISA.
- RABATEL, A., 2005 – *Chronologie et interprétation paléoclimatique des fluctuations des glaciers dans les Andes de Bolivie (16°S) depuis le maximum du petit âge glaciaire (17^e siècle)* ; Grenoble : Université Joseph Fourier, Éditions Universitaires Européennes. Thèse de doctorat.
- SANDWEISS, D. H., 2003 – Terminal Pleistocene through Mid-Holocene archaeological sites as paleoclimatic archives for the Peruvian coast. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **194** : 23-40.
- SANDWEISS, D. H., MCLNNIS, H., BURGER, R. L., CANO, A., OJEDA, B., PAREDES, R., SANDWEISS, M. & GLASCOCK, M. D., 1998 – Quebrada Jaguay: Early South American Maritime Adaptations. *Science*, **281** : 1830-1832.

- STERKEN, M., SABBE, K., CHEPSTOW-LUSTY, A., FROGLEY, M., VANHOUTTE, K., VERLEYEN, E., CUNDY, A. & VYVERMAN, W., 2006 – Hydrological and land-use changes in the Cuzco region (Cordillera oriental, South East Peru) during the last 1200 years: a diatom-based reconstruction. *Archiv für Hydrobiologie*, **165** (3) : 289-312.
- STUIVER, M., REIMER, P. J. & REIMER, R. W., 2005 – CALIB 5.0. [WWW program and documentation].
- THOMPSON, L. G., DAVIS, M. E., MOSLEY-THOMPSON, E., SOWERS, T. A., HENDERSON, K. A., ZAGORODNOV, V. S., LIN, P. N., MIKHALENKO, V. N., CAMPEN, R. K., BOLZAN, J. F., COLE-DAI, J. & FRANCOU, B., 1998 – A 25,000-Year Tropical Climate History from Bolivian Ice Cores. *Science*, **282** : 1858-1864.
- THOMPSON, L. G., MOSLEY-THOMPSON, E., BOLZAN, J. F. & KOČI, B. R., 1985 – A 1500 year record of tropical precipitation recorded in ice cores from the Quelccaya Ice Cap, Peru. *Science*, **229** : 971-973.
- THOMPSON, L. G., MOSLEY-THOMPSON, E., DAVIS, M. E., LIN, P. N., HENDERSON, K. A., COLE-DAI, J., BOLZAN, J. F. & LIU, K. B., 1995 – Late Glacial Stage and Holocene tropical ice core records from Huascarán, Peru. *Science*, **269** : 46-50.
- THOURET, J. C., JUVIGNÉ, E., LOUTSCH, I. & CHÁVEZ-CHÁVEZ, J., 2001 – Activité volcanique historique et sacrifices humains chez les Incas au Pérou méridional. *Tephres, les dossiers de l'Archeo-Logis*, **1** : 219-226.
- TROUET, V., ESPER, J., GRAHAM, N. E., BAKER, A., SCOURSE, J. D. & FRANK, D. C., 2009 – Persistent Positive North Atlantic Oscillation Mode Dominated the Medieval Climate Anomaly. *Science*, **324** (5923) : 78-80.
- WEBERBAUER, A., 1945 – *El mundo vegetal de los Andes Peruanos (Estudio fitogeográfico)*, 776 pp. ; Lima : Ministerio de Agricultura.
- WENG, C., BUSH, M. B. & CHEPSTOW-LUSTY, A. J., 2004 – Holocene changes of Andean alder (*Alnus acuminata*) in highland Ecuador and Peru. *Journal of Quaternary Science*, **19** (7) : 685-691.
- WENG, C., BUSH, M., CURTIS, J., KOLATA, A., DILLEHAY, T. & BINFORD, M., 2006 – Deglaciation and Holocene climate change in the western Peruvian Andes. *Quaternary Research*, **66** : 87-96.
- ZIOLKOWSKI, M., 2005 – Apuntes sobre la presencia Inca en la región de los Nevados Coropuna y Solimana. In : *Proyecto Arqueológico Condesuyos Vol III* (M. Ziolkowski, L. A. Belán Franco & M. Sobczyk, eds.) : 27-63 ; Varsovia : Université de Varsovie.
- ZIOLKOWSKI, M. & BELÁN FRANCO, L., 2001 – *El proyecto arqueológico «condesuyos»*, 302 pp. ; Varsovia : Université de Varsovie.