

P-137

NOTE SUR LES ACCUMULATIONS QUATERNAIRES DES VALLÉES DU CHILLON, DU LURIN ET DE CHILCA

(désert côtier péruvien)



par

C. LECARPENTIER et E. MOTTI

Centre de Géographie Appliquée
Université de Strasbourg



RÉSUMÉ

Aux environs de Lima, les vallées descendant des Andes, fournissent, sous un climat désertique, les seules quantités d'eau disponibles.

Les accumulations alluviales affluentes (en forme de cônes et à dynamique de glaciais), si elles offrent l'avantage de présenter des formes originales, sont totalement démunies de ressources hydriques.

Les terrasses ont pu être datées, en accord avec la chronologie de O. Dollfus ; vers l'amont, elles sont emboîtées tandis qu'en aval, la dernière nappe alluviale recouvre les dépôts antérieurs. Cette disposition se reflète, en fonction des caractéristiques granulométriques, sur celle des aquifères.

Les problèmes de l'eau — au sens large — sont nombreux et divers dans ces vallées.

Pour le Chillon il s'agit, à tout le moins, de maintenir le débit entre ses extrêmes actuels et si possible de le régulariser : les hautes eaux entraînent l'exhaussement et l'élargissement d'un lit à chenaux anastomosés, tandis que les basses eaux suffisent à peine aux besoins de l'irrigation ; toute ponction supplémentaire se répercuterait inévitablement sur la nappe, utilisée à des fins multiples.

La nappe de Chilca, en équilibre précaire avec l'Océan Pacifique, est menacée de salure : recharge d'une part et pompages de l'autre doivent être surveillés et connus quantitativement.

desert climate, the only quantity of water available.

The tributary alluvial accumulations (in the forms of cones and with a glaciais type dynamics), if on one hand have the advantage of presenting the original forms, are on the other hand, totally devoid of water resources.

The terraces can be dated in conformity with the chronology of O. Dollfus ; upstream they are inset whereas downstream the last alluvial sheet has covered up the earlier deposits. This arrangement is reflected, according to the variations in granulometric characteristics, in the disposition of water containing strata.

The problems of water, in a wider sense, are many diverse in these valleys.

For Chillon, the problem is about, at least, maintaining the discharge between its present extremes and to regularise it if possible : high waters bring about a raising and widening of the bed with braided channels whereas low-waters are hardly sufficient for irrigation needs. All supplementary off-take will have its inevitable repercussion on the water body already being used for multiple purposes.

The water sheet of Chilca, in a precarious equilibrium with the Pacific, is threatened by salinity : the reloading on one hand and pumping on the other, should be looked after and be known quantitatively.

RESUMEN

ABSTRACT

In the environs of Lima, the valleys descending from the Andes, provide under a

En los alrededores de Lima, los valles descendian de Los Andes, suministrando, bajo un climat desértico, las solas cantidades de agua disponible.

Las acumulaciones aluviales afluentes (en forma de abánicos a dinamica de « glacia »), si ellas ofrecen la ventaja de presentar formas originales, estan totalmente desprovistas de recursos hídricos.

Las terrazas han podido ser datadas, de acuerdo con la cronología de O. Dollfus ; en la parte superior estan encajonadas mientras que, aguas abajo, la última capa aluvial recubre los depósitos anteriores. Esta disposición se refleja en función de las características granulométricas, sobre aquella de los acuíferos.

Los problemas del agua — en sentido amplio — son numerosos y diversos en estos valles.

Por el Chillon se trata, por lo menos, de mantener el gasto entre sus extremos actuales y si posible de regularizarlo : las aguas altas conducen a la elevación y el ensanchamiento de un lecho con canales anastomosados, mientras que las aguas bajas son a penas suficientes a las necesidades de irrigación ; toda punción suplementaria se repercutirá sobre la capa, utilizada a multiples fines.

La capa freatica de Chilca, en equilibrio precario con el Océano Pacífico esta amenazada de saladura : recarga de una parte y bombeos de la otra deben ser vigilados y conocidos cuantitativamente.

Le Chillon, le Lurin et la quebrada Chilca sont trois des cours d'eau qui drainent le piémont andin occidental aux environs de Lima. Ils se présentent dans cet ordre du Nord au Sud, et par ailleurs selon leur importance décroissante. La banlieue de Lima atteint au Nord la plaine du Chillon (Comas), tandis que les vallées du Lurin et de Chilca se trouvent en ligne droite respectivement à 26 et 60 km au Sud de la capitale.

L'ensemble de la région a été remarquablement étudié par O. DOLLFUS, dans sa thèse (1) sur « Les Andes centrales du Pérou et leurs piémonts » (dont la parution a eu lieu après qu'aient été remis successivement, aux organismes péruviens, les divers rapports dont la présente note est extraite). Aussi nous limiterons-nous à quelques observations sur les dépôts alluviaux récents : cônes, glacia et terrasses, qui tapissent le fond de ces vallées, et seulement à leur partie inférieure.

Les données qui suivent ont été rassemblées courant juillet 1965, puis août 1966, au cours de tournées effectuées, dans un but pratique, pour la Commission des Eaux Souterraines (2) ; ceci explique la relative dispersion

spatiale de nos observations : entre le Chillon et le Lurin, notamment, s'interpose le cours d'eau le plus important de la région, le Rimac, sur le cône duquel s'est établie l'agglomération liménienne.

Le Chillon est de loin la plus importante de nos trois rivières (cf. tableau de données hydrographiques). Surtout, il est beaucoup mieux alimenté. C'est le seul qui soit normalement pérenne et l'évaluation de son module annuel (9,11 m³/s) est très probablement entachée d'une erreur importante par défaut. Aussi les séries alluviales y sont-elles plus complètes et mieux développées qu'ailleurs ; c'est à lui que nous nous référerons principalement, surtout en ce qui concerne les dépôts fluviaux proprement dits.

I. — LES APPORTS LATÉRAUX : CONES ET GLACIS

Sous le climat désertique qui caractérise la « costa » péruvienne, les constructions alluviales revêtent des formes particulières, bien différentes, certes, de celles de nos climats, mais différentes aussi — pour des raisons topographiques et d'alimentation lors des périodes plus humides — de celles qui s'observent plus au Sud, dans le Sud du pays et le désert nord-chilien.

La basse vallée du Chillon — sur environ les 40 derniers kilomètres — est bordée sur les deux rives, de cônes topographiquement très nets, mais qui ne fonctionnent nullement selon la dynamique habituelle des cônes de déjection.

Leur surface est le plus souvent sableuse, portant, épars, de gros blocs légèrement émoussés et très fortement patinés. Ainsi en est-il à Caudivilla, Olivar, etc.

La dynamique des périodes récentes est celle de glacia d'accumulation. Actuellement, elle est à peu près nulle, en dehors de la déflation éolienne. Le fait que des banlieues, d'ailleurs « illégales », de Lima, telle Comas, aient colonisé certains d'entre eux, montre bien qu'il s'agit de paléformes stabilisées (encore qu'un événement météorologique exceptionnel pourrait en rendre le site très inconfortable...)

(1) 404 p., 1965, IFEA (Lima), éditeur.

(2) División de Irrigacion. Ministerio del Fomento y Obras Publicas (Lima).

Qu'il nous soit permis de remercier ici son chef Sr Hugo Ismodes S., ainsi que Sr Guillermo Castro D., ingénieur, qui, l'un et l'autre, ont dans une ambiance sympathique, grandement facilité nos recherches.

Les formations analogues de la vallée du Lurin présentent, en coupe, des alternances de laves torrentielles et de matériaux apportés par ruissellement superficiel intense, avec seulement quelques lentilles sableuses témoignant de rares phases plus fluviales.

L'épaisseur totale varie considérablement ; ainsi le long de la quebrada Chilca, atteinte par endroits plus de 30 m localement, (un sondage profond de 37 m — lotissement Leon XIII — n'a pas atteint le substratum) alors que tout à côté des mamelons de roche en place pointent en surface.

Le terme de « cône-glacis » est celui qui semble le mieux convenir pour désigner ce type de formation, à topographie de cône et dynamique de glacis d'accumulation. Ceci d'autant plus que ces unités se prolongent vers l'amont, sans rupture de pente, par de curieuses vallées en pente forte et à fond plat qui, elles aussi, au cours de leurs dernières périodes d'activité, ont fonctionné en glacis, véritables « glacis de fond de vallée ».

De part et d'autre de la quebrada Chilca on distingue ainsi des glacis pierreux, aux éléments anguleux, localisés dans les vallons les plus étroits, et des glacis sableux, plus largement ouverts sur la vallée. Dans cette région littorale les phénomènes de déflation et d'aspersion éoliennes jouent d'ailleurs un rôle particulièrement actif.

Certains de ces « glacis de fond de vallée » présentent des niveaux emboîtés : on en observe dans la vallée du Chillon ; tel est aussi le cas, dans celle du Lurin, de la pampa El Carmen : on y remarque deux niveaux distincts, séparés par un talus raide et continu, d'une trentaine de mètres de dénivellation. Le niveau supérieur entaillé par des vallons sub-parallèles, enserme divers reliefs résiduels ; les diffusions de glacis sont en effet fréquentes. Le niveau inférieur, parfaitement plan, plus frais, se raccorde à la terrasse récente (et, en cet endroit, unique) du Lurin.

Ce niveau inférieur des glacis, postérieur à une phase plus humide, est au total assez rare. Dans la majorité des cas, les « cônes-glacis » restent comme suspendus au-dessus du fond de vallée de la rivière principale, comme à Caballero ou Huatocay, sur le Chillon. Se terminant par un escarpement net, leur partie inférieure devient alors un véritable « cône-terrasse ». Cette position surélevée constitue, avec le degré d'altération, une autre preuve de leur caractère inactuel, non fonctionnel.

On peut à ce propos remarquer que les dénivellations sont plus importantes dans la vallée du Lurin, l'incision verticale de ce

dernier ayant été plus forte, probablement pour des raisons essentiellement tectoniques.

La variété de ces formations d'épandage est au total assez grande : sur le Chillon, en aval de Trapiche, où leur nombre est particulièrement élevé, on peut observer une dissymétrie notable, d'une rive à l'autre :

— en rive droite, le faciès glacis prédomine : à Huarangal par exemple, la surface est parfaitement plane, inclinée, jonchée d'un très grand nombre de blocs sub-anguleux, patinés, sans traces d'écoulement concentré. Or, de ce côté, le tracé des vallées ne reflète aucun réseau hydrographique organisé ;

— rive gauche au contraire, où apparaît une disposition hiérarchisée des thalwegs, les accumulations présentent quelques caractères plus fluviaux ; ainsi, à Punchauca, la surface est plus irrégulière ; on devine des bourrelets ; quelques chenaux l'entaillent : lits d'oueds peu encaissés (moins de 1 m 50), sans pavage, à fond généralement sableux, et qui se perdent plus ou moins rapidement.

Il existe aussi une modification progressive d'aval en amont : au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la côte, zone d'aridité maximale, et que les parties hautes des bassins-versants atteignent des régions sub-andines un tant soit peu plus humides, le type glacis pur cède progressivement le pas à des épandages où l'écoulement fluvial joue, ne serait-ce que très sporadiquement, un rôle.

Ainsi, à Trapiche, débouche une vallée à fond plan, quoique transversalement incliné, constitué d'un matériel essentiellement sableux, incluant de rares blocs émoussés. Cette vallée, légèrement suspendue par rapport à celle du Chillon, tronque elle-même des cônes-glacis affluents... Il existe ainsi toute une hiérarchie de paléo-formes. L'altitude avoisinant 850 m, une végétation très maigre et clairsemée apparaît :

— sur les versants, où, tributaire de l'humidité apportée par les brouillards — la « garua » — elle ne s'accroche qu'aux faces aval des arêtes rocheuses ;

— dans le fond de vallée lui-même où des touffes d'un xérophyte non enraciné, la tilancia, se disposent en longues (jusqu'à 6 m) et étroites (30 à 50 cm) bandes légèrement sinuées, presque régulières, orientées, sans aucune exception, perpendiculairement à l'axe de la vallée ; côté amont la végétation dépérit et meurt, côté aval, elle « prospère » (très relativement d'ailleurs...) ; entre des touffes apparaît un réseau de plages nues, étroites

(1 m en moyenne) et comme anastomosées, présentant quelques fentes de dessiccation.

Encore que la dissymétrie de la végétation soit certainement, là encore, d'origine climatique, il semble bien que, de loin en loin, un écoulement de type sheet-flood puisse encore survenir.

Surtout, quelques ravineaux parcourent le fond de vallée et ont tendance à se concentrer en rive droite, en raison de la pente transversale. Aucun d'entre eux, toutefois, ne parvient à atteindre l'extrémité aval de la vallée : tous se terminent bien avant en formant une playa sableuse.

Ce type d'épandage à dynamique intermédiaire, complexe, ne se rencontre que sur une quinzaine de kilomètres : dès en amont de Yangas, dans une zone déjà montagneuse, les formes mixtes disparaissent et sont relayées par des cônes et laves torrentielles.

Ainsi la succession des formes d'accumulation au débouché des vallées affluentes reflète-t-elle bien le changement progressif des conditions morphoclimatiques.

II. — LES TERRASSES ALLUVIALES

Dans la vallée du Chillon, la seule où les terrasses soient bien développées, plusieurs niveaux d'accumulation sont visibles :

- lit majeur exceptionnel, aux matériaux très grossiers ;
- « basse terrasse », mal différenciée du précédent au point de vue altimétrique, mais essentiellement limoneuse ;
- niveau intermédiaire, sablo-graveleux, présentant de fréquentes entailles d'érosion ;
- niveau supérieur grossier, épais mais réduit à quelques lambeaux.

Ce dernier pose un problème car, en faisant correspondre à chaque niveau une accumulation d'âge différent (sauf lorsqu'il s'agit manifestement de niveaux d'érosion), on arrive fatalement à l'attribuer à t_{III} , soit à un quaternaire déjà assez ancien.

Topographiquement, la position des restes de ce niveau le justifierait, de même que la granulométrie, fondamentalement différente de celle des accumulations postérieures.

Mais l'altération est très faible ; certes le climat se prête mal à une météorisation intense des éléments... Cette explication, toutefois, n'est pas à elle seule suffisante : dans la pam-

pa del Tamarugal nord-chilienne, encore plus aride, les galets sont au moins fortement patinés.

Aussi nous rangeons-nous à l'avis de M. DOLLFUS en assignant à cette formation un âge t_{II} (correspondant au Riss d'Europe occidentale) et en subdivisant ce dernier en deux phases distinctes d'accumulation.

Dans ces conditions, on arrive à la chronologie suivante :

— t_0 , récent et sub-actuel, correspondant au champ d'inondation, de largeur très variable (cf. croquis n° 1) suivant les aléas de la dynamique fluviale, présentant même, parfois, des diffluences comme à Huatocay. Généralement inculte, il est parfois livré à un très médiocre pacage lorsqu'existe une matrice fine suffisamment abondante ; dans l'ensemble en effet, t_0 est surtout caillouteux, formé de gros galets roulés, frais, avec une matrice sableuse très réduite ;

— t_1 , formant une nappe alluviale de fond de vallée, plus qu'une véritable terrasse (la dénivellation par rapport à t_0 n'est parfois que de l'ordre de 2 m), est essentiellement limoneux, de couleur grise et constitue, avec la formation suivante, les terrains d'élection de la culture, irriguée, du cotonnier.

— $t_{II} - b$, plus jaunâtre, présente des alternances de lits sableux, de graviers, et parfois de galets, mais reste dans l'ensemble assez fin ; très fréquemment apparaissent des niveaux secondaires d'érosion, comme à Trapi- che ou El Caballero.

— $t_{II} - a$, enfin, bien qu'épais à l'origine, est souvent réduit à quelques vestiges accrochés aux versants. Vers Acacoto, des placages en tapissent sur près de 10 m une paroi rocheuse sub-verticale ; $t_{II} - a$, est grossier dans l'ensemble, et très hétérométrique ; entre les lits d'origine fluviale (galets roulés ; lentilles sableuses) s'interstratifient des apports latéraux : matériaux « de solifluxion » (ou de coulées boueuses) et d'éboulis de gravité (cf. courbes granulométriques).

L'identification systématique des niveaux plans soulève quelques difficultés : en effet, à la diminution générale, vers l'aval, du calibre des éléments, se superpose la même variation, localisée à l'intérieur de chaque bassin : à la sortie des rétrécissements le matériel redevient plus grossier, de sorte que les caractéristiques granulométriques sont d'un faible secours...

Surtout, on observe rarement de niveaux d'altitude relative constante : nous avons vu

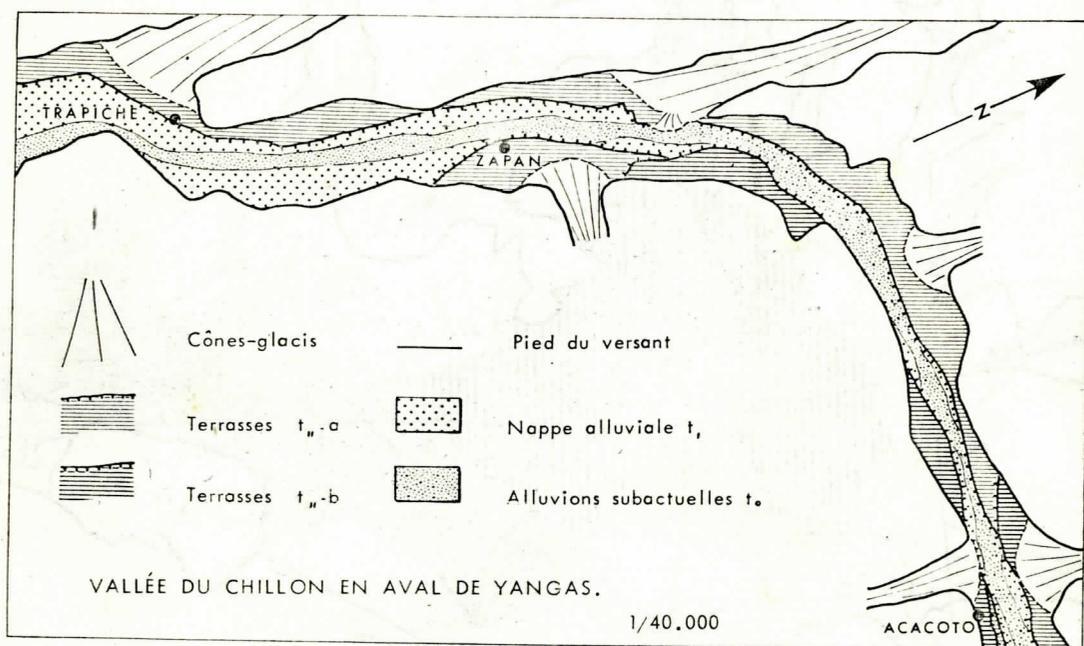
que t_{u-b} est fréquemment affecté d'entailles d'érosion qui en diminuent l'épaisseur ; à l'inverse, la même unité est parfois fortement renflée par les apports latéraux des cônes-glacis. La dénivellation peut ainsi passer de six à une quinzaine de mètres. Ainsi en est-il au débouché de la quebrada Secos, à Zapan, ou encore à El Caballero.

En ce dernier endroit, l'interstratification des deux formations est très nette : dans la partie la plus bombée, l'essentiel du matériel, argilo-limoneux, incluant quelques longues lentilles de graviers anguleux, provient de la quebrada affluente, tandis que les apports du

Aussi les niveaux les plus anciens ont-ils tendance à disparaître vers l'aval, comme cela apparaît sur le croquis n° 1 :

— t_{u-a} , qui, à Acacoto, se trouve à une vingtaine de mètres au-dessus du talweg, ne se poursuit guère au-delà de Zapan ; il en existe seulement un petit lambeau à Tambo, à quelques kilomètres en aval de Trapiche, juste au-dessus du niveau du Chillon et qui, vraisemblablement, aurait disparu lui aussi s'il n'avait été fossilisé sous des éboulis de pied de versant et, ainsi, protégé de l'érosion.

— t_{u-b} se développe surtout en aval d'Acacoto, atteint son ampleur maximale vers Cho-



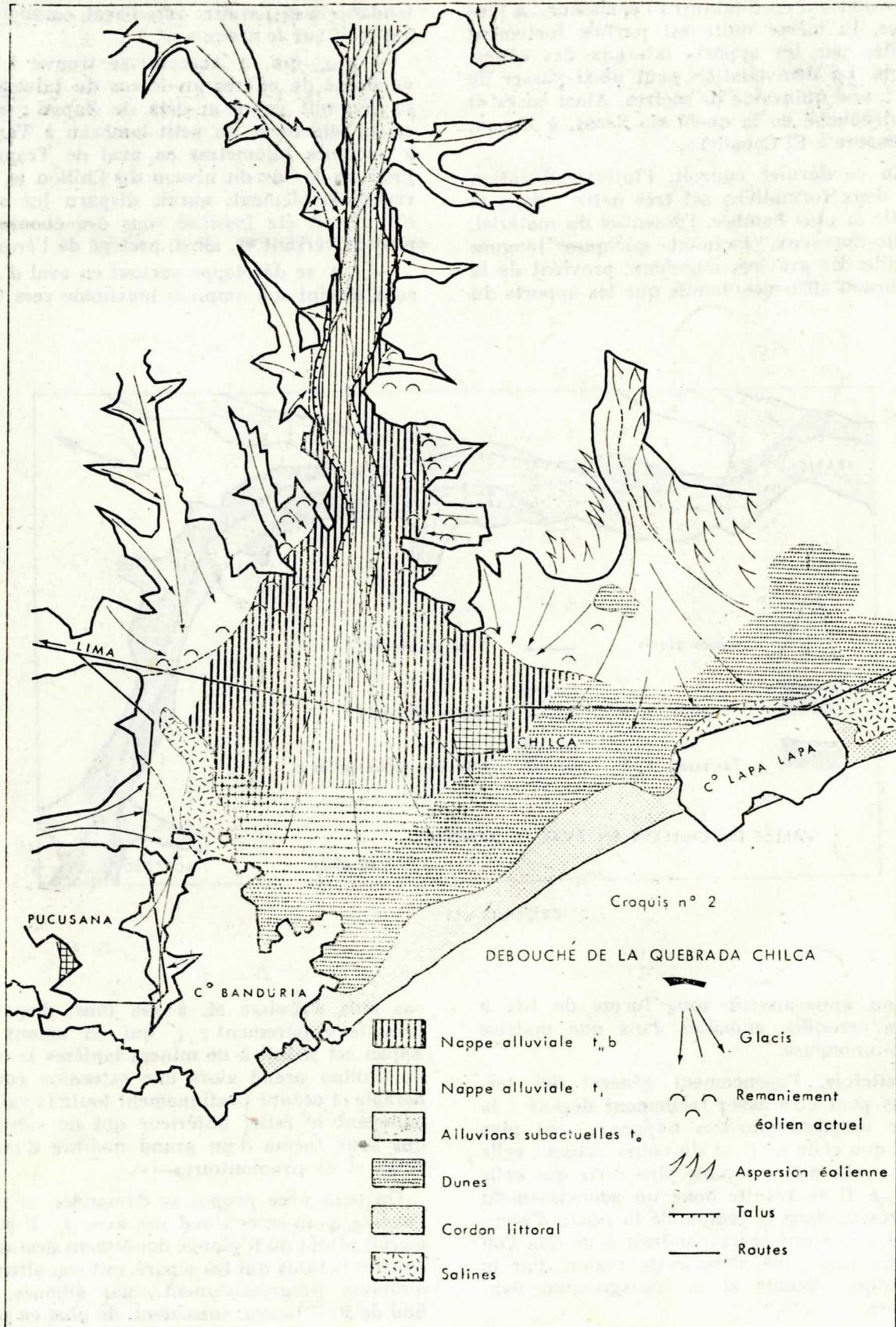
CROQUIS n°1

Chillon apparaissent sous forme de lits à galets arrondis, emballés dans une matrice sablo-limoneuse.

Toutefois, l'agencement général des terrasses peut être assez facilement dégagé : la pente longitudinale des nappes t_{u-1} est plus forte que celle de t_1 et du cours actuel : celle de t_{u-a} elle-même semble plus forte que celle de t_{u-b} . Il en résulte donc un adoucissement progressif, dans le temps, de la pente d'accumulation ce qui correspondrait à ce que l'on sait du rôle joué, dans cette région, par la tectonique récente et la transgression flandrienne.

cas puis s'abaisse et, à son tour, disparaît presque entièrement ; t_1 , qui en amont de Zapan est réduit à de minces lanières le long du Chillon prend alors une extension considérable et occupe pratiquement toute la vallée, ennoyant le relief antérieur qui ne subsiste que sous forme d'un grand nombre d'inselbergs et de promontoires.

On peut à ce propos se demander, si vers l'aval, t_{u-b} se confond pas avec t_1 . Il semblerait plutôt qu'il plonge doucement dessous ; en effet le talus qui les sépare voit son altitude diminuer progressivement ; par ailleurs, au Sud de Panchauca, subsistent, de plus en plus



exigus et surbaissés, des lambeaux de t_{u-b} protégés de l'érosion, soit par des cônes-glacis proéminents (Huacoy), soit par des éperons rocheux (La Molina).

On a donc en quelque sorte un recouplement des niveaux t_{u-b} et t_1 , celui-ci se trouvant en contre-bas vers l'amont, puis submergeant celui-là vers l'aval.

Or on retrouve à Chilca la même disposition (cf. croquis n° 2) : à la sortie de la montagne les deux niveaux sont emboîtés, séparés par un talus atteignant une vingtaine de mètres ; puis la dénivellation s'atténue et, en aval de la route panaméricaine, la nappe la plus récente vient recouvrir celle qui se trouvait en contre-haut.

Cette similitude permet de dater, par analogie, les dépôts de la quebrada Chilca des époques t_{u-b} et t_1 . Ceci avec d'autant moins de risques d'erreur que les faciès concordent parfaitement :

— dans la nappe t_1 prédominent les éléments fins, sablo-limoneux, de couleur gris-clair ;

— dans t_{u-b} on observe de haut en bas : des sables moyens ou grossiers, ocre-gris ; puis un niveau de galets roulés, peu altérés, dans une matrice sablo-graveleuse ; enfin de longues lentilles sablo-limoneuses.

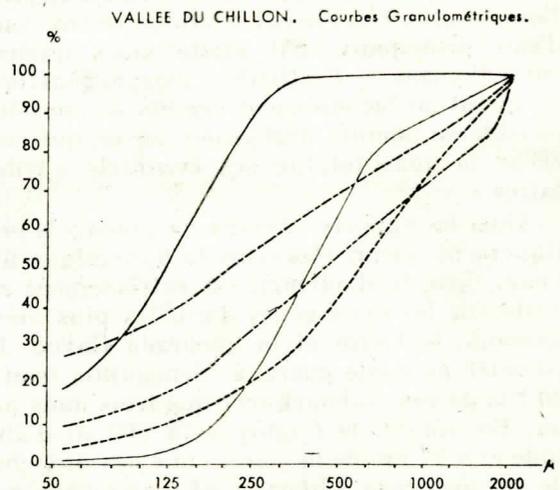
Les seules différences significatives sont dues aux conditions particulières à la quebrada Chilca : affleurements étendus de roches volcaniques d'une part, proximité immédiate de la mer d'autre part.

Elles consistent en l'intense déflation éolienne de la surface de t_{u-b} d'une part, et d'autre part en la présence, dans cette même formation, près de la surface, d'un encroûtement salin, épais de 5 à 7 cm, compact mais qui semble disparaître rapidement vers l'amont.

L'origine du t_{u-b} de la quebrada Chilca paraît être — pour une large part — le démantèlement d'une accumulation un peu plus ancienne dont subsisteraient, plus en amont, dans le fond de la quebrada, de gros blocs roulés, déchaussés, altérés en surface. De même, sur le Chillon, l'érosion quasi-totale de t_{u-a} pourrait avoir largement contribué à la formation des nappes postérieures.

Le Lurin enfin, dont le fond de vallée — à Cieneguilla — est colmaté par 60 m au moins d'alluvions, se distingue par l'absence, au moins dans son cours inférieur, de tout système de terrasses. On n'y retrouve que, pratiquement au même niveau, les nappes t_0 grossières, avec des diffluences correspondant à de

nombreux bras-morts (les puquios) et t_{u-b} plus fine, qui occupe la plus grande partie du fond de vallée, comme sur le Chillon en aval de Punchauca.



COURBES GRANULOMÉTRIQUES
VALLÉE DU CHILLON - Commentaire

- 1 — EL CABALLERO - Terrasse t_{u-b} ; lit fin
Accumulation de type fluviatile : assez bien trié ; rôle important de la compétence (absence de matériaux grossiers, granules, sables grossiers, etc...) ; formation mal lavée (20 % de fines). Vraisemblablement dépôt de débordement ou de cuvette marginale.
- 2 — PUNCHAUCA - Chenal secondaire d'un oued parcourant le cône-glacis.
Courbe parabolique reflétant un écoulement torrentiel ; peu de limons et sables fins ; abondance des éléments plus grossiers ; dynamique proche de l'accumulation forcée.
- 3 — ACACOTO - Coupe entaillant un lambeau de t_{u-a} , proche du pied du versant.
A - Matrice d'un lit de galets roulés. Courbe sigmoïde typiquement fluviatile. Matériel assez grossier, bien lavé (1 % environ de limons).
B - Matériel « de solifluxion » : matrice d'une coulée boueuse interstratifiée ; aucune sorte de triage, aucun lavage : très forte proportion de fines (28 %).
C - Formation d'épandage (glacis de pied de versant), également interstratifiée ; courbe proche de la précédente, ne s'en différenciant que par un pourcentage moins élevé (8 %) de fines.

Cette absence de terrasses plus anciennes, sur le Lurin, est évidemment à rapprocher du fait que la plupart des cônes-glacis y sont perchés à une hauteur plus élevée que sur les deux autres cours d'eau. La tendance à l'érosion plus qu'à la sédimentation, jusqu'au quaternaire récent, pourrait être due à la persistance plus longtemps, en aval, d'une zone tectoniquement déprimée.

III. — DYNAMIQUE FLUVIALE ET PROBLÈMES DE L'EAU

Dans la zone de piémont, des pluies occasionnelles (les Niños) peuvent se produire ; mais il n'en survient même pas une fois par an, en moyenne ; rares sont les chenaux fonctionnels qui réussissent à atteindre les cours d'eau principaux. S'il existe alors quelque ruissellement, l'activité morphogénétique — quant au façonnement des lits — peut être considérée comme négligeable en ce qui concerne la quasi-totalité des éventuels « tribulaires ».

Ainsi les apports latéraux ne jouent-ils pratiquement aucun rôle dans la dynamique fluviale. Celle-ci, d'ailleurs, est extrêmement réduite sur les deux cours d'eau les plus méridionaux, le Lurin et la quebrada Chilca. Le premier ne coule guère, à Cieneguilla (soit à 20 km de son embouchure) que trois mois par an. En amont de Captos — à 600 m d'altitude et à 27 km de la mer — une des branches de la quebrada Chilca n'est parcourue que par des « avenidas » (analogues aux crues des oueds) : il en survient plusieurs chaque année, entre janvier et avril. Mais elles ne parviennent à Chilca même qu'une fois tous les trois ou quatre ans en moyenne ; elles y parviendraient plus souvent, il est vrai, si elles n'étaient gênées dans leur progression par des diguettes et casiers rustiques destinés à une irrigation superficielle rudimentaire. Bien que comportant une forte part d'anthropisme, la dynamique fluviale n'est pas nulle pour autant : dans les chenaux principaux, mobiles, le matériel est fortement remanié ; souvent il se forme un pavage de graviers. Toutefois les crues n'atteignent jamais l'océan, dont la quebrada Chilca est séparée par un cordon littoral : les eaux se perdent dans les cuvettes inter-dunaires où elles laissent se décanter les matériaux transportés en suspension ; les argiles ainsi accumulées sont utilisées pour la fabrication de briques crues.

Seul de nos trois cours d'eau, le Chillon présente, jusque dans la zone de piémont, une activité morphogénétique non négligeable. En effet, en aval de chaque rétrécissement, l'élargissement du lit majeur et la diminution de pente l'obligent à déposer, faute d'une compétence suffisante, les matériaux les plus grossiers. Il en résulte un exhaussement de la partie axiale et, corrélativement, apparition de chenaux anastomosés, divagations et sapelements latéraux. Ce cycle, courant, entraîne ainsi l'élargissement du lit aux dépens, non seulement de t_0 , mais aussi des terres cultivables de t , comme au droit de Chocas-Huato-

cay ; fort heureusement les fortes crues ne sont pas très nombreuses et pourraient peut-être être réduites, voire éliminées, dans le cadre de l'aménagement hydraulique, projeté, de toute la partie amont du bassin-versant.

Considéré dans sa totalité, le Chillon présente d'ailleurs des caractéristiques morphodynamiques intéressantes :

— en amont de Canta, soit au-dessus d'une altitude d'approximativement 2 700 m, le Chillon paraît à la fois stable et relativement pondéré : une multitude de très petits champs juste au-dessus de la rivière, ne sont séparés d'elle que par des murettes de pierres sèches ; la route, non protégée, est parfois elle aussi au ras du cours d'eau et ne porte pas de traces d'endommagement ; enfin les alluvions grossières sont souvent végétalisées. Ces conditions favorables semblent dues essentiellement à une assez bonne végétalisation, en dépit de l'altitude, des parties hautes du bassin-versant, Or, pour l'alimentation en eau du « Grand Lima », une fraction des eaux du versant atlantique doit être dérivée vers la côte, dont une partie via la vallée du Chillon. Il serait dangereux de compromettre la stabilité du cours supérieur en augmentant artificiellement le débit en période de hautes eaux ; il serait tout aussi néfaste de le diminuer, non seulement en saison sèche (car de nombreuses irrigations fonctionnent par prélèvement direct), mais aussi quant à l'abondance moyenne : en effet une telle diminution ne manquerait pas de se répercuter sur la recharge des nappes, elles aussi intensément exploitées pour l'irrigation ;

— en aval de Canta, progressivement, en raison de l'aridité croissante, la végétation se dégrade, devient maigre et discontinue. Corrélativement, faute d'une protection suffisante, les versants, raides et décharnés, sont soumis à une érosion discontinue, mais violente : de nombreuses laves torrentielles et coulées boueuses, actuelles ou récentes, apparaissent ; le Chillon lui-même devient plus torrentiel, avec sapements de berge et apparition de chenaux anastomosés. Puis, la sécheresse s'aggravant jusqu'à disparition quasi-complète des pluies, les versants redeviennent stables. Il existe donc, en ce qui concerne les versants, à proprement parler, une zone d'activité morphogénétique maximale, comprise entre la limite supérieure de la zone sub-désertique et la limite inférieure de la zone à couverture végétale relativement dense et continue. Bien entendu, le Chillon, quant à lui, conserve loin vers l'aval le caractère torrentiel précédemment acquis...

Dans la zone sus-mentionnée, les phénomènes de type « catastrophique » sont nombreux : une lave torrentielle a été décrite sur un affluent du Rimac (1) ; à Pucara — à une altitude pourtant déjà basse (1 000 m) — la route longeant le Chillón a été plusieurs fois (dont une récemment) coupée par d'énormes coulées boueuses incluant des blocs gigantesques ; d'autres ont été repérées sur la quebrada Chilca.

A Tambo Inga, la vallée du Lurin présente un point singulier : y débouche un vaste cône, extrêmement torrentiel, qui barre complètement la vallée et oblige le Lurin à s'encaisser en gorge. Ce cône, actuellement non fonctionnel, peut gêner l'écoulement souterrain dans les alluvions du Lurin ; en amont de l'obstacle, une localité porte le nom de Cienguilla (« endroit marécageux »)...

Endroit, en réalité, anciennement marécageux. De nombreux indices semblent d'ailleurs indiquer une baisse générale des nappes phréatiques à l'échelle historique, tandis que de nombreux renseignements oraux font état d'une baisse sensible à une échelle variant du siècle à quelques décennies.

Quoiqu'il en soit, beaucoup plus que la protection contre les crues, la précarité des ressources en eau constitue un des problèmes primordiaux de l'agriculture de la Costa péruvienne et les cours d'eau descendant des Andes sont largement mis à contribution. La nappe du Chillón est intensément exploitée ; à Trapiche, par exemple, la partie inférieure d'un cône-glacis est cultivée grâce à un pompage dans la nappe du Chillón dont le toit à cet endroit se trouve pourtant à une quarantaine de mètres de profondeur.

Dans la quebrada Chilca, les rares avenidas sont soigneusement réparties, par un archaïque système de cloisonnement, entre les pieds de cactus, pour la production des figues de barbarie (les « tunas »). Pourtant une grande partie des eaux s'infiltré dans les formations grossières et poreuses de la « tête » des accumulations de fond de vallée.

Entre Coculi et Captos (altitude approximative : 500 m), trois puits à niveau constant (2), échelonnés sur quelques km, montrent que d'amont en aval la nappe phréatique se trouve à une profondeur de 8, 12 et 14 mètres. Plus bas, un quatrième puits, profond de vingt mètres, est normalement à sec ; suit un long secteur où le niveau piézométrique est trop bas pour que la nappe ait jamais pu être exploitée.

L'eau chemine ainsi — à l'abri de l'évaporation — à une profondeur croissante ; elle

se rapproche ensuite de la surface lorsque la pente de l'accumulation diminue et tend à recouper la surface topographique, et que, d'autre part, prédominent les formations argileuses. L'épaisseur de t_{a-b} seul aquifère reconnu, peut être importante si se poursuit vers l'aval le plongement du t_{a-b} sous-jacent, (plongement dû sans doute à une déformation tectonique).

Dans les cuvettes interdunaires, en amont du cordon littoral lui-même, l'eau se trouve à une profondeur moyenne de 1 à 6 mètres. La nappe atteint ainsi un niveau inférieur à celui de l'océan, avec lequel, faute d'écran imperméable, elle est en équilibre. Équilibre peut-être relatif, d'ailleurs, puisque tout récemment, a été constaté que le taux de sel avait augmenté dans les deux puits les plus proches du rivage... (3).

Or, les cuvettes interdunaires (4), approfondies et aménagées, sont intensément irriguées par pompage, canaux puis irrigation de surface. L'irrigation se poursuit d'ailleurs en amont, au-delà de la route panaméricaine. Au total, plus de 200 puits ont été forés pour une superficie cultivable de 1 733 ha. Ce sont donc des quantités importantes qui sont prélevées aux dépens de la nappe : un total de 14 738 m³/an a été avancé, dont 12 960 pour l'agriculture...

Ainsi se pose le problème de la recharge de celle-ci : les avenidas sont-elles suffisantes, en quantité et surtout en fréquence, compte-tenu du volume vraisemblablement assez faible des réserves ? On peut certes avancer que, en dehors du débouché de la quebrada Chilca, de l'autre côté du Cerro Lapa-Lapa par exemple, affleure en arrière du cordon littoral, non plus de l'eau douce mais de l'eau fortement saumâtre. Mais, par ailleurs, des venues d'eaux thermales ne sont pas impossibles. Selon des renseignements oraux, non vérifiés, l'eau des puits atteindrait par endroits 26°, température bien plus élevée que celle de l'eau de la

(1) DOLLFUS O. et PENAHERRERA C. : « La lave torrentielle du 10 janvier 1962 dans la Cordillère Blanche ». *Revue de Géomorphologie dynamique*, XIII, janvier-mars 1963, p. 10-17.

(2) En cas d'assèchement intensif, le niveau se rétablit en 30 à 50 minutes.

(3) Encore que la validité de cette information puisse être contestée ; la plus forte salinisation pourrait être d'autre origine, puisque des alluvions salifères existent en plusieurs endroits et qu'il serait normal, dans ce cas, qu'elle commence par la partie aval, où l'eau a cheminé plus longtemps à travers les formations alluviales...

(4) Les dunes elles-mêmes, stabilisées et même légèrement indurées en surface, sont assez modestes : leur altitude ne dépasse guère 6 à 8 mètres. Conjointement avec le cordon littoral, elles forment une bande de 2 km de large.

quebrada Chilca... La tectonique violente de cette portion du littoral péruvien n'exclut pas l'hypothèse de remontées d'eaux profondes.

Il est donc infiniment probable que se combinent les deux modes d'alimentation ; le cas échéant, des études hydrogéologiques permettraient de préciser leur importance relative. Pour le moment toutefois, seul le rôle des avenidas de la quebrada Chilca est, qualitativement, établi.

En tout état de cause, l'état actuel d'équilibre entre eau salée et eau douce semble précaire. Il est probable que les prélèvements ne pourront plus être augmentés, ni en aval de Chilca, ni dans la quebrada elle-même, sans

risquer la ruine de l'agriculture littorale, relativement prospère (coton, cultures vivrières, maraîchage et prairies artificielles).

Or ce cas ne semble pas isolé... le versant occidental des Andes est dans son ensemble trop peu arrosé pour que les cours d'eau fournissent des quantités abondantes. L'eau se révèle ainsi le facteur limitant numéro un de la production agricole et à son économie est un des aspects essentiels du développement de la côte péruvienne. D'où l'intérêt porté, de la part des organismes responsables, aux formations alluviales, dans le but d'en exploiter intégralement et rationnellement les ressources.

Données hydrographiques et hydrologiques

	CHILLON	RIMAC (1)	LURIN	CHILCA
Superficie du bassin-versant (km ²)	2 100	2 900	1 400	800
Longueur du cours (km)	120	150	90	# 65
Altitude des sources (m)	4 500/5 000	4 500/5 000	# 4 500	3 500/3 800
Module (m ³ /sec)	9,47 (2)	29,23	4,97	?
Débit d'étiage (m ³ /sec)	0,6	?	0	0
Extrémité amont { distance du littoral (km).	55	—	25	30
de la partie étudiée { altitude (m)	1 000	—	350	600

(1) A titre de comparaison.

(2) Avec les réserves les plus expresses.