HAL
open science

Activités anthropiques et qualité de l'eau dans l'oasis de Mendoza (Argentine) : diagnostic, enjeux et durabilité

Emilie Lavie

To cite this version:

Emilie Lavie. Activités anthropiques et qualité de l'eau dans l'oasis de Mendoza (Argentine) : diagnostic, enjeux et durabilité. Sciences de l'Homme et Société. Université Michel de Montaigne Bordeaux 3, 2009. Français. NNT : . tel-00416438

HAL Id: tel-00416438

https://theses.hal.science/tel-00416438

Submitted on 14 Sep 2009

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITE MICHEL DE MONTAIGNE - BORDEAUX 3
Laboratoire ADES-CNRS UMR 5185 (Bordeaux)
Laboratoire de Géographie Physique Appliquée (Bordeaux)
Instituto Nacional del Agua - Centro Regional Andino (Mendoza)
Ecole Doctorale Montaigne-Humanités ED480 (Bordeaux)

Thèse pour obtenir le grade de
Docteur en Géographie
Présentée et soutenue publiquement à Bordeaux le 12 juin 2009
par

Emilie LAVIE

Activités anthropiques et qualité de l'eau dans l'oasis de Mendoza (Argentine) : diagnostic, enjeux et durabilité

Directeur de thèse :
M. Jean-Noël SALOMON, Professeur, Université Bordeaux 3.

Membres du Jury :
M. Jean-Paul BRAVARD, Professeur, Université de Lyon 2 (*Président*).
M. Michel POUYLLAU, Professeur, Université de La Rochelle (*Rapporteur*).
M. Laurent TOUCHART, Professeur, Université d'Orléans (*Rapporteur*).
M. Simon POMEL, Directeur de Recherche CNRS, Laboratoire ADES.
M. Frédéric HOFFMANN, Maître de Conférences, Université de Bordeaux 3.

UNIVERSITE MICHEL DE MONTAIGNE – BORDEAUX 3
Laboratoire ADES-CNRS UMR 5185 (Bordeaux)
Laboratoire de Géographie Physique Appliquée (Bordeaux)
Instituto Nacional del Agua (Mendoza)
Ecole Doctorale Montaigne-Humanités ED 480 (Bordeaux)

Thèse pour obtenir le grade de
Docteur en Géographie
Présentée et soutenue publiquement à Bordeaux, le 12 juin 2009
Par

Emilie Lavie

Activités anthropiques et qualité de l'eau dans l'oasis de Mendoza (Argentine) : diagnostic, enjeux et durabilité

Directeur de thèse :
M. Jean-Noël SALOMON, Professeur, Université Bordeaux 3.

Membres du Jury :
M. Jean-Paul BRAVARD, Professeur, Université de Lyon 2 (*Président*).
M. Michel POUYLLAU, Professeur, Université de La Rochelle (*Rapporteur*).
M. Laurent TOUCHARD, Professeur, Université d'Orléans (*Rapporteur*).
M. Simon POMEL, Directeur de Recherches CNRS, UMR ADES, Bordeaux.
M. Frédéric HOFFMANN, Maître de Conférences, Université de Bordeaux 3.

Résumés

Résumé de thèse :
Activités anthropiques et qualité de l'eau dans l'oasis de Mendoza (Argentine) : diagnostic, enjeux et durabilité.

L'oasis de Mendoza est née de la dérivation des eaux du río Mendoza, rivière andine, à des fins anthropiques. Les indiens Huarpes, puis Incas, ont créé dans le désert du Cuyo un espace irrigué, développé par la suite par des générations de colons et d'immigrants.
Cette oasis de 1156 km², au départ construite par et pour les agriculteurs, a vu ses usagers se multiplier et les prélèvements sur sa ressource en eau augmenter, parallèlement à la croissance de l'agglomération du *Gran Mendoza*, qui approche en ce début de XXIème siècle, le million d'habitants. Or, dans un contexte de réchauffement climatique et donc de recul des glaciers andins, la ressource à long terme paraît condamnée. Mais si l'impact quantitatif est avéré, qu'en est-il de l'impact qualitatif ?
Cette thèse s'attache à dresser un état des lieux de la qualité de la ressource en eau superficielle et souterraine de l'oasis, en prenant en compte la responsabilité des multiples acteurs. Ainsi, si la salinisation des sols est favorisée par une irrigation mal maîtrisée, les impacts de l'agglomération (effluents domestiques et ordures ménagères) doivent également être pris en compte, tout comme le rôle des nombreuses industries de mise en conserve des fruits et légumes, de vinification ou de transformation des hydrocarbures.
Par ailleurs, l'auteur cherche à proposer des solutions en adéquation avec les enjeux d'une oasis qui cherche à se moderniser, dans un contexte national argentin où les crises économiques sont récurrentes. C'est en ces termes que se pose la question de la durabilité de ce milieu artificiel.

Mot-clés :
Qualité de l'eau, impact anthropiques, agriculture irriguée, effluents domestiques, effluents industriels, analyses hydro-qualitatives, oasis de Mendoza, Argentine.

***

Thesis summary:
Anthropic activities and water quality in the oasis of Mendoza (Argentina): diagnostic, stakes and sustainability

The oasis of Mendoza is the product of the diversion for anthropic purpose of the río Mendoza, an Andean river. The Huarpes Indians, then Incas, created an irrigated area in the desert of Cuyo, further developed by generations of colons and immigrants. This oasis (1156 km²), built at the beginning by and for the farmers, get today multiple users, while the taking on its waters keeps increasing, in parallel to the growth of the *Gran Mendoza* city,

which approaches the million inhabitants, at the beginning of our 21st century. However, in a context of climatic changes, and thus the retreat of the Andean glaciers, the long-term water resource appears condemned. If the impact in quantitative terms is proven, what could be seen about the impact in qualitative terms?
This thesis attempts to draw up a balance sheet of the qualitative state of the surface and groundwater resources of the oasis, by taking into account the multiple actors' responsibility. So, if the grounds salinization is increased by a worst controlled irrigation, the impacts of the city (domestic effluents and domestic waste) should be also taken into account, just like the role of many industries: fruit and vegetables' conditioners, wine making or hydrocarbons processing.
Furthermore, the author proposes solutions in adequacies with the stakes of an oasis looking for being modernized, in an Argentinean national context where the economic crises keeps coming over. In fact, it is the question of the sustainability of this artificial area which should be posed

Keywords:
Water quality, anthropic activities, irrigated agriculture, domestic effluents, industrial effluents, hydro-qualitative analyses, Mendoza's oasis, Argentina.

***

Resumen de tesis:
Actividades antrópicas y calidad del agua en el oasis de Mendoza (Argentina): diagnóstico, desafíos y sustentabilidad

El oasis de Mendoza nació de la derivación de las aguas del río Mendoza, río andino, con fines antrópicos. Los indios Huarpes, luego Incas, crearon en el desierto del Cuyo un espacio irrigado, desarrollado más tarde por generaciones de colonos e inmigrantes. En este oasis de 1156 km², construido al principio por y para los agricultores, se han ido multiplicando sus usuarios y aumentando la extracción del recurso hídrico, al mismo tiempo que fue creciendo la aglomeración del Gran Mendoza que alcanza ahora, a principios del siglo XXI, un millón de habitantes. Ahora bien, en un contexto de calentamiento climático y, por consiguiente, de retroceso de los glaciares andinos, el recurso a largo plazo parece condenado. Pero, si el impacto cuantitativo está probado, ¿qué ocurre con el impacto cualitativo? Esta tesis se dedica a elaborar un panorama de la calidad del recurso hídrico superficial y subterráneo del oasis, teniendo en cuenta la responsabilidad de los múltiples protagonistas. Así pues, si la salinización de los suelos es favorecida por un riego mal manejado, los impactos de la aglomeración (efluentes domésticos y residuos urbanos) deben tenerse en cuenta, al igual que el papel de las numerosas industrias de conservas de frutas y hortalizas, de vinificación o transformación de los hidrocarburos. Por otra parte, el autor pretende proponer soluciones adecuadas a los desafíos de un oasis que intenta modernizarse, en un contexto nacional argentino en el que las crisis económicas son recurrentes. De hecho, se plantea el problema de la sustentabilidad de este medio artificial.

Palabras claves:
Calidad del agua, impactos antrópicos, agricultura regadía, efluentes domésticos, efluentes industriales, análisis hídro-cualitativas, oasis de Mendoza, Argentina.

Remerciements

En terminant ma thèse, et en faisant un peu le point sur les quatre années où elle m'avait « accompagnée », je me suis rendue compte que finalement, tout s'était passé très vite et qu'en si peu de temps, j'avais rencontré tant de personnes qu'il m'allait être difficile de citer tous ceux qui m'avaient aidée, sans en oublier un seul. Il se trouve que j'ai d'abord eu la chance d'appartenir à plusieurs centres de recherche en France et de faire deux stages en Argentine à l'occasion de mes deux séjours-terrain. J'ai ainsi réalisé cette thèse en étroite collaboration entre les différentes Institutions qui m'ont accueillie, et surtout entre les deux pays, ce qui a multiplié mes contacts et facilité les aides dont j'ai pu disposer.

De ce fait, je tenais à remercier en premier lieu mon Directeur de Recherche, Jean-Noël SALOMON, pour la confiance qu'il m'a accordée en me proposant de faire cette thèse à « l'autre bout du monde », pour sa disponibilité dans la mise en place du projet, pour avoir fait en sorte que je sois accueillie en Argentine dans les meilleures conditions possibles, pour son aide, ses corrections et ses encouragements.

Pour avoir accepté de juger ce travail, je tiens également à remercier particulièrement Messieurs Jean-Paul BRAVARD, Frédéric HOFFMANN, Simon POMEL, Michel POUYLLAU, Jean-Noël SALOMON et Laurent TOUCHARD.

Je voudrais évidemment remercier le *Laboratoire de Géographie Physique Appliquée* de Bordeaux (LGPA), pour le financement du matériel d'hydrochimie (appareils et réactifs) et pour la formation à laquelle j'ai eu droit sur le plan hydrochimique et cartographique. Dans ce sens, mes premiers remerciements vont à son Directeur Frédéric HOFFMANN, pour le temps passé à m'expliquer l'hydrochimie et son intérêt en géographie de l'eau, et ce depuis mes première armes en Maîtrise. Au cœur de cette structure qu'est le LGPA, mes remerciements vont également à Jean-Christophe PELLEGRIN pour le temps qu'il a passé lui-aussi à m'aider dans l'évaluation de mes résultats en matière d'hydrochimie ; Agathe MAUPIN, Elodie ROBERT et Julien GARDAIX, trois autres doctorants du Laboratoire, pour les discussions et échanges à propos des pollutions et de la gestion de la ressource en eau sur leurs terrains de thèse respectifs si distincts les uns des autres ; Teddy AULY pour son aide en cartographie ; et Philippe LAYMOND pour la bibliographie et pour ses quelques contacts à Mendoza.

Par ailleurs, les doctorants du LGPA étant associés à la composante *DyMSET - ADES du CNRS,* UMR 5185, j'ai eu la chance de pouvoir disposer de deux aides me permettant de financer en partie mes deux billets d'avions ; en cela, je tiens à remercier particulièrement François BART, Directeur de DyMSET au moment où m'ont été attribués ces financements. Les conditions d'accueil de l'UMR ADES (salle de rédaction pour les doctorants, matériel informatique, accès à la bibliothèque et à de nombreuses bases de données) m'ont également été d'une grande aide en fin de thèse et c'est l'ensemble des membres du Laboratoire que je tiens à remercier ici. J'associe à ces remerciements les doctorants ADES (ils se reconnaîtront), pour les bons moments passés ensemble et qui ont accompagné la rédaction de cette thèse.

Pour terminer la partie française, je n'aurais pu avancer ma thèse dans ces conditions si l'*UFR de Géographie de l'Université Bordeaux 3* ne m'avait pas aidée en m'accordant des postes successifs de Tutrice universitaire, Chargée de TD puis ATER. En ce sens, je tiens à remercier son Directeur José-Manuel LAZCANO, ainsi que l'ensemble des enseignants, pour m'avoir accordé leur confiance et pour avoir adapté mon emploi du temps à mes impératifs-terrain.

De la même manière, je tiens à remercier le *Département des Sciences Humaines et Sociales* de *l'Université de La Rochelle*, pour m'avoir confié un second poste d'ATER, et en priorité les Directeurs des Etudes du parcours Géographie, Didier VYE, Caroline BLONDY et Isabelle SACAREAU, me permettant de terminer l'écriture de cette thèse dans des conditions financières satisfaisantes et avec des horaires adaptées à mes déplacements. J'associe à ces remerciements l'ensemble des enseignants et personnels du Département pour l'accueil qui m'a été fait à La Rochelle.

* * *

A Mendoza, mes tous premiers remerciements vont aux Ingénieurs agronomes du *Centro Regional Andino* de l'*Instituto Nacional del Agua* (INA-CRA - Institut National de l'Eau, Centre Régional des Andes), José Antonio MORÁBITO, dit Pépé, et Santa Esmeralda SALATINO, dite Titi. J'ai effectivement eu la chance de pouvoir faire deux stages d'environ trois mois dans leur locaux, de disposer de tout l'infrastructure (voiture, internet, laboratoire, bibliothèque, bibliographie inédite…) mais surtout de travailler avec des personnes très averties sur la situation environnementale de Mendoza, sur le fonctionnement du système d'irrigation et au contact de qui j'ai énormément appris. Le réseau dont dispose l'INA m'a également permis de présenter mes travaux dans différents séminaires et colloques et de rencontrer des professionnels de l'environnement et de l'agriculture, ce qui m'a beaucoup facilité le travail et fait gagner un temps précieux. Je tiens également à les remercier à titre strictement personnel pour l'énergie dégagée pour régler la situation au moment où les réactifs étaient bloqués par la douane à l'aéroport de Mendoza. Ce sont des heures de démarches auprès de la douane, du transporteur, des services étatiques de Certification pour, grâce à leurs efforts, faire entrer ces produits sur le territoire argentin sans trop de frais. A titre plus professionnel, je tiens à les remercier des efforts financiers consentis, en m'emmenant toutes les semaines parcourir 300 km d'oasis pour effectuer les prélèvements, et en ne me facturant que l'essence alors que ce sont des dizaines d'heures de travail perdues pour eux (quelquefois des heures supplémentaires gratuites pour Santa) ; pour avoir appuyé auprès d'autres organismes universitaires afin de trouver les prix les plus abordables pour moi dans l'analyse des métaux lourds que je souhaitais ; enfin pour m'avoir financé 50 % des taxes de stockage à l'aéroports où les réactifs sont restés plusieurs semaines. Au sein du même *INA*, je tiens également à remercier l'Ing. Jorge CHAMBOULEYRON, ancien SuperIntendant du *Département Général d'Irrigation* (DGI) et chercheur honoraire à l'INA, pour l'aide qu'il m'a apportée au cours de nombreuses discussions, en particulier lors de mon premier séjour où j'ai eu la chance de partager son bureau. En outre, pour l'accueil plus que chaleureux dont j'ai pu bénéficier, l'aide permanente à laquelle j'ai eu droit, je tiens à remercier du fond du cœur tous les chercheurs, techniciens et stagiaires de l'INA, en particulier Carlos MIRABILE, Rocío HERNANDEZ, Patricia LOPEZ, Marta NUÑEZ, Victor BURGOS, Javier ZARATEGUI, Adrian VARGAS, Veronica ABAURRE… mais je ne saurais citer tout le monde. Enfin, je tiens à remercier l'ensemble du personnel du CRA de l'INA pour m'avoir chacun porté un échantillon d'eau du robinet de leur maison afin de réaliser un échantillonnage le plus représentatif possible.

J'ai eu la chance, lors de mon second stage dans cet Institut, de travailler en commun avec Marisa FEIJÓO, Maître de Conférence en Economie de l'Environnement de l'Université de Saragosse (Espagne). Son projet de recherche sur l'évaluation du coût des macro-déchets présents dans les canaux de Mendoza, pour l'environnement et l'agriculture, nous a permis de rencontrer des personnes en commun, de partager la bibliographie, de présenter des travaux dans les mêmes séminaires. Marisa m'a beaucoup apporté sur le plan professionnel comme sur le plan personnel, et je tiens à vraiment la remercier pour cela, en espérant garder de nombreux contacts.

Je souhaiterais également remercier le *Département de Géographie* et l'*Institut de Géographie* de l'Université Nationale de Cuyo, et leurs Directrices, Griselda GARCIA de MARTÍN et Gloria ZAMORANO de MONTIEL, pour m'avoir accueillie au sein de la Faculté et m'avoir intégrée au

projet sur les macro-déchets de la ville de Mendoza. Je tiens aussi à remercier les étudiants et autres professionnels qui ont travaillé sur ce projet et avec qui j'ai aimé travailler, parce que ce projet a quelquefois été caduc et que malgré tout, ils n'ont jamais perdu leur motivation : Gustavo, Araceli, Maria Belen, Federico, Matias…

Je voulais aussi remercier l'ensemble des professionnels que j'ai rencontrés et « interrogés » pendant ces mois de terrain, pour l'accueil auquel j'ai eu droit, au temps passé à m'écouter et me répondre, malgré les intérêts de chacun et parfois le mauvais œil de leur hiérarchie. Un grand merci donc à Eduardo SOSA, Directeur de l'association *OIKOS Red Ambiental*, Hugo ALBRIEU, Directeur de la quatrième zone agricole de l'oasis de Mendoza (*DGI*), Mario LURASCHI, Directeur de la Police de l'Eau au sein du *DGI*, Gabriela VICENCIO, responsable du service « environnement » de la *Municipalité de Las Heras*, Maria Esther VILLALBA, coordinatrice environnementale et Francisco PEREZ, superviseur du centre du « Borbollón », Claudio JARA, chef d'opérations de l'usine de AEP de Luján I, *Obras Sanitarias de Mendoza SA* (OSM.SA.), Gerardo GUEVARA, sociologue et ancien technicien-superviseur hydraulique d'*Obras Sanitarias de Mendoza SA*, Felipe ANDREU, des *entreprises de transport Andreu*, Leandro MASTRANTONIO, de la *Facultad de Ciencias Agrarias* de la *Universidad Nacional de Cuyo*, et Fernando MESTRE, Ingénieur agronome et professeur des *Universités de la Rioja et de Saragosse* (Espagne), militant actif de la protection de la Cordillère, en particulier contre les projets miniers qui se développent de plus en plus dans le Cuyo (San Juan et Mendoza). Fernando, qu'il soit en Argentine ou en Espagne, en tant que militant et webmaster du site *movxlacordillera* m'a toujours tenue informée des manifestations actives ou passives, des articles de presse, via une liste de diffusion très large. De fait, même depuis Bordeaux, j'ai toujours été tenue au courant des projets de loi, des accidents ou des manifestations plus informelles que les journaux généralistes en ligne sur internet ne diffusaient pas.

Avant de terminer l'ensemble de ces remerciements de la partie recherche et écriture, je tenais également à remercier les petits chanceux qui ont participé à la correction de ces textes, cartographies, et traductions, notamment mes premiers lecteurs de toujours et plus grands fans, mes parents, mais aussi Agathe MAUPIN, Isabelle FAUQUET, Gaëlle STEYAERT et Elodie ROBERT. Un grand merci également à Fanny MERCIER et Jean RAYNAUD pour m'avoir aidée à « dépatouiller » les résultats en hydrochimie.

* * *

Et en conclusion, sur un plan totalement personnel, ma première reconnaissance va à mes parents, pour l'énorme soutien qu'ils ont été pour moi, pour les nombreux encouragements quand je ne savais plus dans quelle direction aller, pour l'effort financier dont ils ont fait preuve pendant mes deux première années de thèse, et pour avoir toujours cru en moi. Et puis après tout, s'ils ne m'y avaient pas poussée, l'aurais-je fait, cette thèse ?

Bien sûr, tous les membres de ma famille ont été présents et m'ont soutenue quand j'étais loin (et moins loin) ; un grand merci donc à mon frère Clément, mes grand-mères et mes nombreux oncles, tantes, cousins et cousines.

Je voulais aussi remercier les personnes avec qui j'ai vécu au cours de mes deux séjours mendocinos, à savoir Celia LESCLAUD et Sergio SANS pour le premier séjour, Mercedes CHAMBOULEYRON et Pablo ANDRES pour le second, pour le temps passé à me faire travailler l'espagnol les uns et les autres et pour m'avoir fait découvrir leur pays et ses coutumes. Je tiens évidemment à remercier mes amis en France, qui m'ont moins vue ces derniers temps (Agathe, Isa, Gaëlle, Ju, les 2 Elodie, Manue, Marie, Del, Jean…) bien sûr, mais aussi en Argentine, (Marisa, Daina, Mercedes, Pablo, Jennifer, Maria, Carina, Felipe, Edo, les deux Loren…), tous ceux qui ont fait que je garderai un souvenir de Mendoza et des Argentins très particulier, tous ceux qui m'ont fait visiter ces lieux interdits aux touristes, qui m'ont fait découvrir les paysages, les coutumes, les gens, mais aussi les *asados*, les *alfajores*, le *mate*…

Un jour, j'y retournerai… ¡Che!

Sommaire

Résumés …… *p. 3*

Remerciements …… *p. 5*

Sommaire ..…….. *p. 9*

Avant-propos …… *p. 11*

Introduction ……... *p. 19*

PREMIERE PARTIE : L'oasis du río Mendoza : une œuvre anthropique dépendante d'une ressource naturelle …… ***p. 31***

Chapitre 1 : De la mise en valeur d'une aire aride… …… *p. 35*

Chapitre 2 : … à une méga oasis… …… *p. 57*

Chapitre 3 : … où l'eau se fait rare …… *p. 89*

DEUXIEME PARTIE : Le diagnostic qualitatif biologique et physique : une pollution concentrée et contenue ? …… ***p. 119***

Chapitre 4 : Les éléments du vivant …….. *p. 137*

Chapitre 5 : La pollution physique, un problème uniquement esthétique ? …….. *p. 155*

TROISIEME PARTIE : Evaluation de l'état qualitatif physico-chimique : un diagnostic aux résultats inquiétants …….. ***p. 187***

Chapitre 6 : Une minéralisation progressive …….. *p. 195*

Chapitre 7 : Les autres paramètres chimiques …… *p. 233*

QUATRIEME PARTIE : La gestion qualitative de l'eau, un pari difficile …….. ***p. 253***

Chapitre 8 : Une origine diverse et une responsabilité partagée …… *p. 257*

Chapitre 9 : Une urgence d'action …….. *p. 277*

Chapitre 10 : Vers une prise de conscience et une meilleure gestion ? …….. *p. 297*

Chapitre 11 : Une oasis en sursis ? …… *p. 335*

Conclusion générale……...…… *p. 351*

Bibliographie …… *p. 361*

Table des matières …… *p. 375*

Index …… *p. 381*

Liste des sigles utilisés

ACRE/ACREs : *Área de Cultivos Restringidos Especiales*. Aire de Cultures Restreintes Spéciales

AEP : Alimentation en Eau Potable.

BV : Bassin versant.

CONICET : Centre de recherche national, équivalent du CNRS.

CTM : *Central Térmica de Mendoza*. Centrale thermique de Mendoza.

DBO_5 : Demande Biologique en Oxygène à 5 jours.

DCO : Demande Chimique en Oxygène.

DETI : Laboratoire de la Faculté d'Ingénierie, dépendante de l'UNC.

DGI : *Departamento General de Irrigación.* Département général d'irrigation. C'est l'organe gestionnaire de la ressource en eau.

FCA : *Facultad de Ciencias Agrarias*. Faculté d'Agronomie, dépendante de l'UNC.

IC : *Inspección de cauce*.

INA-CRA : *Instituto Nacional del Agua, Centro Regional Andino*. Centre Régional des études andines pour l'Institut national de l'eau.

INA-CELA : *Instituto Nacional del Agua*, *Centro de Economía, Legislación y Administración del Agua y el Ambiente.* Centre d'études économiques, législatives et administratives de l'eau et de l'environnement, pour l'Institut national de l'eau.

MAyOP : *Ministerio de Ambiente y de Obras Públicas*. Ministère de l'environnement et des travaux publics.

MES : Matières en suspension.

OSN, OSM.SE. et OSM.SA. : *Obras Sanitarias de la Nación*, monopole d'état de l'eau domestique en Argentine ; est devenu dans les années 1990 *Obras Sanitarias de Mendoza,*

Sociedad del Estado, une société d'Etat, puis *Obras Sanitarias de Mendoza, Sociedad anónima,* une société anonyme.

OGC : *Operador de Gestión Comunitaria*. Opérateur de gestion communautaire. Il s'agit d'associations de quartiers ou de coopératives qui gèrent l'eau domestique dans certains quartiers urbains, et en général dans les zones rurales.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

PGB : *Producto Geográfico Bruto*, équivalent du Produit Intérieur Brut pour l'échelle provinciale.

PIP : *Parque Industrial Provincial*. Parc industriel provinciale de Luján, plus communément appelé « de la raffinerie ».

PNUE : Programme des Nations Unies pour l'Environnement.

RUE : *Registro Único de Establecimiento*. Registre des établissements à risque de pollution.

UE : Union Européenne.

UICN : Union Internationale pour la Conservation de la Nature.

UNC : *Universidad Nacional de Cuyo*. Université Nationale du Cuyo, seule université publique parmi les quatre que compte Mendoza.

WWF : *World Wildlife Fund*.

YPF : *Yacimientos Petroleros Fiscales* : Entreprise argentine d'exploitation et de transformation du pétrole. Filiale de Repsol (Espagne).

Lexique des termes castillans

Acequia : Canal urbain d'irrigation. Ces petits canaux alimentent en eau les arbres qui ombragent les rues.

Algarrobal : Type d'arbre autochtone.

Arroyo : Ruisseau.

Barrio : Quartier.

Bodega : Industrie de vinification. Deux types de *bodega* existent, les *bodegas* familiales sont situées le long des axes de communication nord-sud et est-ouest, tandis que les *bodegas* de type coopérative sont implantées dans les parcs industriels de l'agglomération.

Finca : Domaine agricole.

Gran Mendoza : Nom donné à l'agglomération de Mendoza. Il comprend la ville-centre, Capital, et les municipalités de Las Heras, Maipú, Guaymallén, Godoy Cruz et Luján.

Inspección de Cauce : littéralement, inspection de cours d'eau. Il s'agit de l'organe gestionnaire de la gestion de l'eau, à l'échelle la plus locale, celle d'une branche (*rama*) de canaux d'irrigation.

Jarilla : Arbuste assez bas, autochtone du Cuyo.

Matriz, *Rama*, *Hijuela*, *Ramo* : Les canaux principaux sont appelés *Matriz* (San Martín), les secondaires *Rama* (Jocoli), les tertiaires *Hijuela* et les quaternaires *Ramo.*

Monte : Type de végétation basse ou rase des milieux arides.

Quebrada : Gorge.

Río : Rivière.

Sierra : Chaîne de montagnes

Tanque : Citerne d'eau potable installé sur le toit des maisons, permettant, par la gravité, aux foyers de disposer d'une pression suffisante au robinet.

Tomero : Ouvrier dont la tâche est de gérer la distribution de l'eau. Il ouvre et ferme les écluses et les portes des canaux, et doit contribuer à leur nettoyage.

Villa miseria : Colonie spontanée d'habitations indigentes, communément appelée bidonville.

Zanjón (*zanjones* au pluriel) : Collecteur de crue urbain, à distinguer des autres infrastructures hydrauliques à finalité agricole. Le *zanjón* est construit comme un canal d'irrigation, avec une capacité qui diminue d'amont en aval, mais c'est un collecteur d'eaux des oueds du piémont.

Zona alcoholera : Zone industrielle implantée sur les municipalités de Maipú et de Guaymallén, dont la principale vocation est la production de produits alcoolisés comme le vin.

Avant-propos

Dès le Sommet de la Terre de Johannesburg (2002) à la suite des idées émises à Rio en 1992, le problème de l'eau dans le monde est devenu l'une des préoccupations centrales des scientifiques. Les risques croissants d'une pénurie d'eau douce, consécutifs à la croissance démographique, aux augmentations de consommation, puis à la disparition des zones humides et des réserves de glace, et aux diverses pollutions, sont devenus préoccupants. Que dire du devenir des oasis dont, par définition, l'existence est liée à la présence d'eau ?

Sensibilisée par cette question au cours de mes études, celle-ci est devenue pour moi essentielle dès ma maitrise (2003-2004) et mon DEA (2005-2006), au cours desquels j'ai pu acquérir des connaissances basiques sur le plan méthodologique (formation en hydrochimie) et par une lecture attentive de la bibliographie de référence.

Le choix d'un travail de recherche au niveau de la thèse s'est très vite porté sur l'oasis de Mendoza en Argentine. En effet, il existe des liens anciens entre l'Institut de Géographie de Bordeaux et celui de l'Université du Cuyo (Mendoza), ainsi que de bons contacts avec l'INA-CRA (*Centro Regional Andino* de l'*Instituto Nacional del Agua*, soit Centre régional andin de l'Institut national de l'eau), et en particulier avec les Ingénieur (Ing.) José MORÁBITO et Santa SALATINO.

Contact pris, je suis donc partie sur le terrain en juin-juillet-août 2006 (hiver local) pour effectuer un stage préparatoire à la thèse. Ce premier stage avait pour principal objectif d'effectuer une série de prélèvements d'eau et d'analyses dans les points de suivi dont dispose l'INA. La coupure annuelle du système d'irrigation passée, nous avons donc commencé un suivi de sept semaines (soit sept prélèvements), étalées sur mi-juillet – août. Outre cette base de données personnelle qui constitue la base de mon travail de terrain, j'ai commencé le recensement des études effectuées sur la qualité de l'eau de l'oasis, au niveau superficiel pour compléter ce travail, comme au niveau souterrain sur lequel nous ne disposions d'aucune base de données. Le système oasien étant un peu particulier et la grandeur de l'oasis (1 156 km²) limitant de fait nos déplacements, ce premier contact avec le terrain m'a d'abord permis de comprendre le système hydrologique de l'oasis, qui malgré sa taille fonctionne un peu en vase clos.

Par ailleurs, comme précisé en introduction ci-après, je faisais partie intégrante d'un projet initié par l'Institut de Géographie de l'Université du Cuyo (UNC), projet piloté par la Docteur Gloria ZAMORANO, qui s'intéressait à la caractérisation des pollutions par les macro-déchets (ou résidus urbains, poubelles). L'étude comportait plusieurs étapes, dont celle du moment consistait en une enquête par questionnaires auprès de la population sur la gêne occasionnée par ces déchets dans les collecteurs de crue et les *acequias* (canaux urbains). Bien que n'étant pas la finalité de cette thèse puisque je m'intéressais avant tout aux autres polluants, cette étude m'a permis de comprendre la relation qui unit le Mendocino à la

ressource en eau et aux ouvrages hydrauliques plus que présents dans l'oasis et l'agglomération.

L'année qui a suivi a consisté avant tout à préparer la cartographie de la présente étude et de présenter nos premiers résultats en Argentine (MORÁBITO *et al*, 2007, a et b), comme en France (LAVIE, 2007a ; LAVIE *et al*., 2008), notamment sur l'efficacité de certaines mesures visant à améliorer la qualité de l'eau d'irrigation. Ca aura surtout été l'occasion de préciser la méthodologie, de rediriger les axes de travail, les hypothèses, grâce aux discussions que j'ai pu avoir avec les autres membres du Laboratoire de Géographie Physique Appliquée de Bordeaux.

Un an après le premier séjour-terrain, je repartais pour un second stage, de trois mois et demi, au printemps 2007, soit de septembre à mi-décembre. Le choix de cette date a surtout été dicté par l'idée que le réveil végétal printanier pouvait jouer un rôle sur le comportement du milieu sur le plan de la qualité de la ressource en eau. J'ai donc effectué un second stage à l'INA, axé celui-ci sur la caractérisation des pollutions par les métaux lourds dans le río Mendoza, avant sa dérivation pour l'usage anthropique. Avec l'Ing. SALATINO, nous avons poursuivi nos prélèvements et séries d'analyses des points de l'INA, complétant la base de treize journées supplémentaires. De même, nous avons effectué deux séries de prélèvements et analyses en amont de la prise d'eau, et deux séries de prélèvement d'eau du robinet dans l'ensemble de l'agglomération du *Gran Mendoza*.

Par chance, au même moment, deux autres stagiaires travaillaient à l'INA sur le même projet de qualification de la pollution des eaux. Veronica ABAURRE, étudiante en Licence de l'Université du Cuyo (Mendoza), terminait de référencer la base de données de l'INA dans le logiciel de SIG ArcView, me délestant d'une partie de ce long travail fastidieux. Quant à Marisa FEIJÓO, Maître de Conférences en Economie de l'environnement de l'Université de Saragosse (Espagne), elle commençait un mois plus tôt son stage sur l'évaluation du coût pour la société mendocina, des nombreux macro-déchets (résidus urbains) présents dans les canaux d'irrigation. J'ai de fait beaucoup travaillé avec l'une et l'autre, échangeant de nombreuses informations et bibliographies.

Parallèlement, j'étais toujours partie intégrante du projet de l'Institut de Géographie de l'UNC (Université du Cuyo) sur les macro-déchets en ville. Après la série de questionnaires de l'an passé, le projet avait avancé, un recensement des volumes de déchets dans certains canaux avait été entrepris, les questionnaires avaient été dépouillés, et le projet entrait dans une seconde phase : une caractérisation des déchets dans les *acequias*, en fonction du niveau socio-économique des quartiers. C'est pourquoi j'ai participé au recensement des types de déchets dans les *acequias* de la ville.

De retour à Bordeaux, faire le tri dans l'abondance de données chiffrées et des cartographies publiées sur le thème de la qualité de l'eau sur ce terrain d'études, m'a pris une année. Enfin, une quatrième année a été consacrée à la rédaction de ce travail (rédaction interrompue par moments, en raison d'activités d'enseignement). Afin de décider si une étude était assez « sérieuse » ou si elle apportait un intérêt à ce travail, il me fallait connaître sa méthodologie, refaire la cartographie en fonction de normes actuelles… La recherche et la compréhension des méthodologies des études recensées a été un long et intense travail.

L'intérêt principal de la thèse était donc, outre le recensement des études existant, de composer notre propre base de données, permettant de travailler sur la méthodologie (fréquences et méthode des prélèvements, choix des sites, méthodes d'analyses, méthode de gestion des échantillons entre le prélèvement et l'analyse…), de choisir les traceurs à étudier,

et surtout d'être sûre de mes résultats. Ce travail est long, par moments fastidieux, mais il permet d'être maître de son travail, et donc de limiter les lacunes du suivi. Au moindre doute, je refaisais l'analyse, ou jetais l'échantillon quand il n'y avait d'autre solution. J'ai toujours privilégié une absence d'information à une information fausse. Par chance, cela est demeuré rare.

Néanmoins, partir en Argentine avec du matériel aussi spécifique m'a posé de nombreux problèmes. Sans être exhaustive et déplorer la situation, il apparaît pour autant important d'expliquer les conditions dans lesquelles ce travail a été réalisé.

A la réception du matériel, nous nous sommes rendus compte, Frédéric HOFFMANN, Directeur du LGPA et moi-même, que les réactifs nitrates ne correspondaient pas à l'appareil envoyé. Je suis donc partie avec une seule boite de 25 tubes à réaction de nitrates, pour 16 points, et un mois et demi de prélèvements à l'horizon !

L'année suivante, des problèmes administratifs ont retardé une fois de plus la réception des réactifs. C'est donc avec les boites de l'année précédente arrivées à Bordeaux entre-temps que je suis partie, soit 150 échantillons sur les 300 nécessaires. Il a donc fallu opérer à quelques économies de prélèvements et d'analyses au cours du premier mois et demi, afin d'être sûre d'en avoir jusqu'à la fin, ce qui malheureusement a un peu limité la quantité de données. A la fin de ce premier mois et demi, les réactifs sont arrivés à la douane de Mendoza, qui a refusé de nous les donner pour des motifs financiers et de concurrence entre le Mercosur et l'Union Européenne. Après deux semaines d'allers-retours incessants à la douane et au travail (de sape) de l'Ingénieure SALATINO, nous avons pu obtenir les réactifs « *sans droit à l'usage* ». C'est donc dans l'illégalité que j'ai poursuivi ce travail. Ce genre de désagrément fait partie du travail de terrain mais l'administration douanière étant si différente en France et en Argentine, il m'a été très difficile de gérer ce problème, qui n'aurait jamais été résolu sans l'immense aide de l'INA.

Toujours en ce qui concerne ce travail d'hydrochimie, les réactifs et le matériel ont été financés par le LGPA, ce qui est un investissement important pour ce petit Laboratoire. N'ayant au départ moi-même aucune allocation de thèse, il a été assez difficile d'étendre ce travail à des analyses de métaux lourds ou de bactériologie. L'aide de l'INA, qui m'a véhiculée dans l'oasis toutes les semaines ne me facturant que l'essence, a été bienvenue.

Enfin, si le Laboratoire DyMSET du CNRS m'a aidée en finançant les deux-tiers des billets, l'ensemble des autres frais auront été à ma charge (tiers du prix des billets, vie sur place, déplacements sur le terrain, analyses complémentaires…). Cette thèse est donc une étude à petit budget, malgré les aides apportées par l'INA, le CNRS et le LGPA, et c'est en partie grâce au don de bases de données que je peux vous présenter aujourd'hui ces nombreux résultats.

En conclusion de cet avant-propos, je tiens à souligner que malgré certaines difficultés, au final surmontées, j'ai eu réellement un très grand plaisir à travailler sur ce thème de la qualité des eaux. De plus, ça aura été un vrai bonheur de travailler en Argentine, pays riche culturellement et aux paysages magnifiques, et avec les Argentins, qui ont toujours montré un grand intérêt pour mon sujet. Au total, j'espère que mon travail sera pris en considération, notamment par les gestionnaires de l'eau à Mendoza, de qui dépend l'avenir de cette belle oasis.

Emilie LAVIE

Introduction

L'oasis[1] de Mendoza est un espace irrigué, parfaitement artificiel, au cœur du Cuyo argentin, un désert d'abri du piémont andin. Le Cuyo est enserré entre les Andes à l'ouest, qui bloquent une grande partie des masses d'air humide du Pacifique, et les Sierras de San Luis et de Córdoba à l'est, qui le privent des rares masses d'air humide de l'Atlantique, à 1000 km de distance au minimum (**Fig. 1**). Dans ce désert d'abri en zone tempérée, il pleut en moyenne 200 mm par an, mais les quantités de précipitations sont distinctes d'un lieu à l'autre du désert, puisque sur notre seul terrain d'étude, les moyennes annuelles de précipitations varient de 35 à 350 mm. Les Andes toutes proches offrent à leur piémont des rivières de régime nivo-glaciaire, qui sont la ressource en eau principale du Cuyo.

A partir de bras dérivés des ríos andins, plusieurs oasis se sont créées puis développées dans le Cuyo. Nous citerons par exemple, du nord au sud, San Juan et Media Aguas dans la province de San Juan, ou Mendoza, Tunuyán supérieur et inférieur, San Carlos, San Rafael, Général Alvear et Malargüe dans la province de Mendoza. La plus importante de ces oasis en termes de surface cultivée et du nombre d'habitants est sans conteste celle du río Mendoza, où 1 156 km² sont irrigués (dont la moitié cultivés), par canalisations superficielles ou pompages dans l'aquifère, et où un million de personnes vivent, dont 950 000 dans la seule agglomération du *Gran Mendoza*[2].

L'agglomération de Mendoza, outre sa position de capitale du Cuyo, est la quatrième ville du pays après Buenos Aires (13 millions d'hab.), Córdoba (1,6 M) et Rosario (1,4 M). Elle est internationalement connue pour ses vins et pour l'Aconcagua, plus haut mont des Amériques avec ses 6 959 m. La ville et l'oasis ont ainsi pu se développer grâce à une position géographique particulière :

- d'abord, au <u>niveau géo-physique</u>, elles sont situées sur le vaste cône de déjection du río Mendoza, permettant le développement de l'agriculture sur un sol fertile et nécessitant peu d'intrants ; de même, comme souvent en zones de contact, le sous-sol mendocino regorge de minerais précieux, métallifères, de pétrole et de gaz. L'industrie

[1] : Oasis : une oasis est un milieu anthropique créé par l'homme en milieu désertique, via la construction d'un réseau d'irrigation. Ce mot est utilisé sous les deux genres dans le langage commun. Nous avons fait le choix de l'accorder au féminin pour qualifier ce milieu géographique, réservant le terme masculin pour désigner un havre, un site de détente.

[2] : L'agglomération de Mendoza s'appelle *Gran Mendoza* en castillan. Nous garderons le mot espagnol, sans le d final du français car cet espace est bien délimité par l'INDEC, (l'institut de statistique), par rapport aux départements (municipalités) qui le composent. Le *Gran Mendoza* concerne les départements de Capital (ciudad de Mendoza), Godoy Cruz, Las Heras, Luján de Cuyo, Guaymallén et Maipú. Le BV du río Mendoza et l'oasis du même nom concernent les départements précédemment cités ainsi que celui de Lavalle. Une petite partie du département de San Martín fait partie de l'oasis du río Mendoza, mais sa plus grande partie étant située dans l'oasis du río Tunuyan Inférieur, nous avons fait le choix de ne pas l'intégrer.

énergétique est d'ailleurs le secteur qui s'est le plus développé dans les trente dernières années ;

- ensuite, au niveau géo-humain, Mendoza est au carrefour de la route nord-sud longeant le piémont andin et reliant la Bolivie à la Terre de Feu, et la route est-ouest reliant les ports de Valparaíso et de Buenos Aires (et par conséquent les deux capitales nationales du cône Sud-américain : Buenos Aires et Santiago du Chili). Mendoza est placée sur la seule route existant à cette latitude entre Atlantique et Pacifique. C'est ainsi un immense marché qui s'ouvre à elle. Grace aux exportations de vin, au rayonnement touristique international (vignobles, paysages andins) ou encore à l'industrie de l'énergie, Mendoza a grandi, s'est développée et a vu ses secteurs d'activité se diversifier.

La pression anthropique sur le milieu naturel s'est donc, elle-aussi, multipliée et diversifiée, ce qui nous amène à nous interroger sur l'impact que l'homme peut avoir sur l'écosystème, notamment l'hydrosystème, au cœur d'un milieu aussi aride.

C'est pourquoi, à l'échelle d'une seule sphère environnementale, celle de l'eau, nous tenterons d'évaluer cette pression anthropique sur le milieu naturel et les activités humaines, notamment agricoles.

L'oasis irriguée par le río Mendoza, espace de notre étude, est donc un milieu anthropique où **l'eau, comme dans tout milieu aride, est par définition, un sujet majeur**. L'aridité marquée du Cuyo pose certes des problèmes de quantité, mais aussi de qualité et de gestion. Cela implique notamment des investissements techniques conséquents, mais aussi des conflits d'usages.

L'eau, dans l'oasis, devrait *a priori*, comme toute denrée rare, être considérée comme une ressource à protéger. On s'imagine assez naturellement en entrant dans l'oasis et l'agglomération de Mendoza, rencontrer une culture de l'eau très présente au sein de la population. En termes de paysage, cela est évident : de nombreuses infrastructures hydrauliques ont aménagé l'ensemble du panorama de ce désert du Cuyo : barrages de retenue, barrages dérivateurs, portes, canaux, drains, collecteurs, *acequias*, sont parmi les plus courants et les plus visibles. De très nombreux petits canaux, des citernes grandes comme deux ou trois piscines, des portes-écluses de petites tailles, manuelles ou électriques, pompes, etc., parsèment la ville et les champs de Mendoza. Depuis la création de l'oasis par les indiens *Huarpes* il y a environ 4 000 ans, jusqu'à la modernisation de Mendoza dans les années 1970, les Mendocinos étaient particulièrement liés à l'eau et aux infrastructures hydrauliques. Les *acequias*, ces petits canaux qui circulent dans la ville aujourd'hui pour irriguer les arbres des rues, servaient à l'origine à transporter l'eau domestique vers les maisons de la cité, puis de la ville. Des origines indiennes jusqu'à la transformation de l'oasis en espace moderne, en passant par les siècles de colonisation espagnole, Mendoza a développé une culture de l'eau. Jusques dans les années 1975-80, presque tous les Mendocinos possédaient une *finca* (domaine agricole) ou à défaut, travaillaient pour un domaine agricole. De fait, la relation entre le champ cultivé, l'eau et le Mendocino était très forte.

Autre preuve s'il en est de cette culture de l'eau dans le désert, les sanctuaires dédiés à la ***Difunta Correa*** sont implantés le long de toutes les routes, nationales, internationales comme les petites pistes de terre de la campagne mendocina. La S^{ra} Correa, selon la croyance, serait allée chercher le corps de son mari mort (dans une des guerres internes qui frappaient les campagnes dans les années 1850) dans la province de la Rioja (au nord-est de Mendoza).

Vivant à San Juan (au cœur du désert du Cuyo), elle est partie à pied, avec son nourrisson. Dans cette traversée du désert sanjuanino, elle est morte de soif ; lorsqu'elle a été trouvée, son bébé était en vie, tétant au sein de sa mère le lait qu'il lui restait. Son corps aurait été enterré dans la province de San Juan, là où elle a été trouvée, et ce site sert aujourd'hui de pèlerinage aux Argentins. *Vallecitos*, puisque c'est son nom, était au départ un désert très difficile à vivre à en croire le site internet officiel de la *Difunta*, c'est aujourd'hui un sanctuaire organisé avec des églises, des maisons, de nombreux commerces, une salle de mariage, etc. Les week-ends d'excursion vers le site de la *Difunta* sont assez nombreux, des entreprises de transports de personnes sont spécialisées, avec des départs quotidiens de San Juan et de Mendoza… et le culte de la *Difunta Correa* est assez répandu en Argentine.

Outre ce site, les Argentins qui ne peuvent pas aller à *Vallecitos* comme d'autres vont à Lourdes ou à Fatima, se recueillent dans des chapelles ou plus fréquemment devant de petits autels sur le bord des routes. Ils sont très facilement reconnaissables car parsemés de bouteilles remplies d'eau **(Photo 1)**. Ces bouteilles permettent à *Deolinda Correa* de ne pas continuer à souffrir de la soif dans l'au-delà. Aujourd'hui, les Argentins disent que la plupart des bouteilles d'eau sont déposées par les routiers qui ont peur qu'elle leur perce les pneumatiques des camions. Dans les faits, cette croyance est en quelques sortes propre à chacun, cependant le culte à la *Difunta Correa* est un exemple parmi tant d'autre de la peur du manque d'eau. Si la *Difunta* est fêtée dans tout le pays, la majorité de ses fidèles vit dans les déserts du piémont andin.

Enfin, quel symbole plus important pour justifier de l'importance de l'eau que d'élire une **Reine de l'Eau** dans la province ? Chaque année depuis 1960, le *Departamento General de Irrigación* (DGI = département général d'irrigation) élit une Reine de l'Eau (comme la province élit la Reine des Vendanges). Chaque BV élit sa Reine (ríos Mendoza, Tunuyán supérieur, Tunuyán Inférieur, Diamante, Atuel, Malargüe) puis le choix est fait pour toute la province. Cet événement un peu folklorique est sans intérêt puisque la Reine ne fait rien de particulier pour l'eau pendant son année de règne. Elle participe aux soirées organisées par le DGI, les inaugurations de canaux ou autres, mais par exemple, elle n'est citée dans aucun article de presse pendant toute l'année. Cela dit, l'élection d'une reine de l'eau est révélateur de l'importance de cet élément pour la société mendocina.

Partant de tout ce qui précède, on est amené à s'interroger sur **l'intérêt d'une telle étude**.

Depuis les années 1960, l'agglomération a grandi, (la province est passée de 588 000 hab. en 1947 à 824 000 hab. en 1960, soit plus de 40 % d'augmentation en seulement treize ans, jusqu'à atteindre près d'un million d'habitants en 2006). Les secteurs de travail se sont diversifiés si bien que beaucoup de Mendocinos ne connaissent plus la campagne qui les nourrit. L'eau potable est arrivée au robinet, les effluents domestiques partent par le siphon sans que personne ne se demande où ils vont, et le rapport culturel entre les Mendocinos et l'eau s'est dilué...

Le lien entre la campagne et la ville apparaît relativement faible à Mendoza et nous pensons que l'urbain, numériquement majoritaire, ne se rend plus compte de la nécessité de l'eau pour l'agriculteur situé en aval, puisque lui en dispose à volonté. De même, les *acequias* parcourent la ville sans que personne ne sache qu'elles servent en partie à irriguer les zones agricoles ensuite. La majorité des Mendocinos ne sait pas que ce qu'elle jette dans l'*acequia* va ultérieurement polluer l'eau d'usage agricole.

De fait, en commençant cette étude sur la qualification des impacts anthropiques sur la qualité de la ressource en eau de l'oasis irriguée par le río Mendoza, nous avions trois objectifs de travail :

- il s'agissait tout d'abord d'**évaluer la qualité de l'eau dans l'oasis irriguée**, ou plus précisément, estimer les **impacts anthropiques sur la qualité de la ressource en eau**. Pour cela, nous avons dû recenser les études qui existent, mais également apporter notre pierre à l'édifice, par une série de mesures personnelles. L'ensemble des travaux recensés permet d'apprécier l'état qualitatif de l'eau de l'oasis à des **échelles spatiales et temporelles distinctes**. La représentativité tant sur le plan spatial que sur le plan temporel dépend de chaque auteur. Le coût de telles études pour un pays qui sort d'une crise économique (*crisis de los 2000*)[3] sans précédent, explique la diversité, parfois trop grande, des méthodologies employées et des résultats. Evidemment, il ne s'agissait pas de se cantonner au strict diagnostic mais de présenter les responsabilités de chaque acteur dans cette baisse hypothétique de la qualité avec l'accroissement de l'agglomération, mais aussi de proposer un certain nombre de solutions ;

- ensuite, au-delà de la caractérisation spécifique de Mendoza, nous avions dans l'idée de se raccorder aux travaux du LGPA, notre laboratoire de rattachement (cf. *infra*), et de présenter les **premiers travaux en hydrochimie** du Laboratoire dans un **milieu aride**. Nous avons vu Mendoza comme un exemple parmi d'autres de la pollution de l'eau en milieu aride, où les **paramètres de dilution et d'épuration** – si importants en milieux humides – sont relégués ici au second plan. C'est donc dans ce contexte que nous avons tenté de problématiser cette étude ;

- enfin, se pose la question du devenir du paysage culturel de l'oasis lié à l'eau. A titre illustratif, les *acequias* posent de nombreux problèmes environnementaux (elles sont souvent bouchées et habitées d'animaux vecteurs de maladies comme les cafards ou les rats), et de sécurité (des accidents de piétons sont fréquents). Les autorités veulent les protéger en les couvrant, ce qui dérange ceux qui les voient comme un patrimoine du paysage. Quel est donc le devenir des *acequias*, voire de l'avenir de l'oasis toute entière ?

Nous proposons de ce fait comme **hypothèse principale de travail,** que **l'effritement du lien culturel entre l'homme et l'eau** a contribué à l'abaissement de la qualité et de l'augmentation des prélèvements d'eau. Mais bien d'autres postulats accompagnent cette hypothèse générale.

En effet, les agriculteurs étaient les principaux clients du Département Général d'Irrigation (DGI). Le réseau a été dessiné par et pour les irrigants. Or, depuis la croissance de l'oasis, les usages se sont multipliés et le secteur agricole a dû partager sa ressource avec les populations urbaines, les industries, les administrations, le tourisme… situés en amont des zones irriguées dans le système de distribution de l'eau. Une seconde hypothèse sera donc la position de victime des agriculteurs, **dépendants en aval des pressions exercées sur la ressource en eau par les différents usagers de l'amont**.

La croissance de l'agglomération et la situation économique et sociale se sont accompagnées de l'implantation de nombreux habitats précaires, communément appelés *villas miserias*. On imagine assez aisément que les préoccupations environnementales de ces

[3] : Crise des années 2000. Il s'agit de la crise économique et politique initiée en décembre 2001 et qui a duré approximativement jusqu'à la fin 2003.

familles indigentes sont secondaires, d'autant plus que l'accès à l'éducation et à l'information y est très limité. **Un conflit d'usages et d'intérêts entre ces familles des *villas miserias,* les autres Mendocinos et l'administration** constitue une troisième hypothèse.

L'eau n'est pas gratuite à Mendoza, mais sa facturation est basée sur le bâti, le nombre d'habitants par foyer… et en **aucun cas sur la consommation**. Elle n'est pas très chère, malgré sa rareté, ce qui implique une quatrième hypothèse : l'absence de facturation de l'eau à sa valeur économique – et donc le manque de prise de conscience par la population de la valeur à la fois économique et culturelle de cette ressource – entraîne un **gaspillage** de l'eau, notamment de l'eau potable.

Enfin, la dernière hypothèse est que l'augmentation des usages de l'eau, la multiplication des acteurs, conjuguées à une conscience limitée et un désintérêt pour les questions environnementales, ont abouti à **une pollution des eaux**, pourtant en quantités limitées, dans cette oasis.

L'activité d'hydrochimie des eaux est un travail relativement avancé au sein du ***Laboratoire de Géographie Physique Appliquée*** (LGPA) maintenant, puisque les thèses de Jean-Christophe PELLEGRIN et de Frédéric HOFFMANN ont commencé au début des années 1990. Leurs travaux visaient au départ la caractérisation des dépôts karstiques mais peu à peu, ils se sont intéressés à la qualité intrinsèque de l'eau, comme le démontre la publication dans les *Travaux du LGPA* n° 14 (1995-96) sur les « *méthodologies hydrochimiques »* (HOFFMANN et PELLEGRIN, 1996). Les publications et les mémoires de Maîtrise et de DEA sur ce sujet se sont multipliés au sein du LGPA au cours des dix dernières années, en France, en Afrique et en Argentine, mais tous dans des milieux humides et/ou tempérés : Périgord et Quercy (HOFFMANN et TARRISSE, 2000 et HOFFMANN, 2005), Bassin d'Arcachon (AULY *et al*, 2002), Dordogne (PAULAIS, 2003), Tucuman (Argentine) (HOFFMANN, 2004 (*in* SALOMON et PRAT, 2004)), Médoc (LAVIE, 2005), Cameroun (DA COSTA *et al*., 2005), Gers (MACARY *et al*., 2006), Burkina Faso (ROBERT TER 2006 et thèse en cours), Saint-Emilion (CATTANEO, HOFFMANN, LAVIE, 2008) entre autres. Cela fait quelques années que l'idée de comparer les effets de la pollution et de ses conséquences sur le comportement de l'hydrosystème et de l'environnement est débattue au sein du LGPA. La HDR en cours de Fréderic HOFFMANN aborde d'ailleurs ces problématiques.

Nous sommes également institutionnellement rattachée à l'UMR 5185 ADES CNRS, dans un programme de recherche appelé « la gestion de l'eau au Nord et au Sud ». Trois terrains sont associés : l'Aquitaine, l'Afrique australe et les oasis de Mendoza.

Par ailleurs, des relations existent entre les Instituts de géographie de Bordeaux et de Mendoza depuis les années 1960, et une convention a été signée entre les Université de Bordeaux 3 et du Cuyo (Mendoza) en 2005. De plus, l'Institut National de l'Eau de Mendoza a accepté de nous recevoir en stage (cf. avant-propos).

Par ailleurs, la zone d'étude que nous allons présenter est délimitée : elle concerne l'oasis du río Mendoza, c'est-à-dire un espace irrigué via la dérivation des eaux de la rivière Mendoza, au cœur du bassin-versant (BV) de ce cours d'eau (19 553 km²). Ainsi, l'échelle de l'étude sera l'oasis (1 156 km²), mais il sera important de prendre du recul certaines fois, notamment en ce qui concerne les variables physiques, et observer le site à l'échelle du BV. De même, au point de vue administratif, l'eau est gérée à l'échelle de la province et par

chance pour nous, l'ensemble du BV du río Mendoza fait partie de la province de Mendoza[4]. L'Argentine étant un état fédéral, certaines attributions sont laissées aux provinces, comme la **gestion de l'eau** par exemple, pour laquelle il n'existe **aucune loi au niveau national**. Par contre, la gestion de l'eau potable et de l'assainissement, des *acequias* – ces petits canaux qui irriguent les arbres de la ville – ou encore de la collecte des poubelles, se fait à l'échelle des municipalités (ou départements puisque cet échelon administratif porte deux noms), au nombre de sept dans l'oasis. Nous aurons ainsi à considérer les différentes échelles spatiales de la géographie physique et humaine du site étudié **(Fig. 2)**.

Le BV du río Mendoza est un espace physique divisé en deux moitiés de surface à peu près égales :

- il s'agit dans la moitié ouest d'un milieu de haute et de moyenne montagne, qui constitue le **bassin d'alimentation du río Mendoza** (glaciers, précipitations neigeuses et pluvieuses) ;
- la moitié est est constituée des glacis du piémont et de la plaine du Cuyo, sur lesquels se sont formés les cônes de déjections qui sont l'assise de l'oasis de Mendoza. Il s'agit du **bassin d'utilisation du río Mendoza**. Cet espace est en très légère pente vers le nord-est, favorisant la circulation des eaux de ruissellement, mais la comparaison entre les Andes aux si forts dénivelés et la plaine quasi-plate, impressionne **(photo 2)**. Il n'y a pas vraiment de zone de transition, (à l'exception de quelques collines de mogotes) le contact apparaît donc brutal.

L'oasis quant-à-elle est implantée sur les trois cônes de déjection consécutifs du río Mendoza et sur de tous petits cônes formés par les oueds des glacis du piémont. De fait, à l'œil nu, elle apparaît totalement plane. Elle est formée de l'agglomération du *Gran Mendoza*, créant un premier demi-cercle **(Fig. 2)** ; d'une demi-ceinture maraîchère alimentant l'industrie agro-alimentaire en légumes à mettre en conserve et le marché local en légumes frais ; et d'une troisième et dernière ceinture, beaucoup plus large, celle des vignes, vergers et oliviers, qui font la réputation de Mendoza.

Cette oasis est alimentée aux trois-quarts par un réseau de canaux superficiels, naissant de la dérivation des eaux du río Mendoza. L'irrigation superficielle concerne la grande majorité de la surface oasienne, à savoir six zones de cultures. La Première zone est majoritairement agricole, en amont de l'agglomération. La Deuxième accueille la plus grande partie de l'agglomération et donc les *acequias*[5] . La Troisième zone est la zone de la ceinture verte maraîchère. La Quatrième zone est la plus au nord et une des plus basses, elle n'est irriguée que par des eaux déjà usées (LAVIE, *et al.* 2008). La Cinquième zone, plus basse encore que la Quatrième, est située de part et d'autre du río, et constitue la fin de l'oasis : à partir de là, le río n'est plus utilisé comme ressource par l'homme et part dans le désert du nord-est. Enfin, la Sixième zone est aussi une zone basse et saline, mais elle ne reçoit pas d'eau urbaine.

Le centre de l'oasis, situé entre les zones 3 au sud-ouest, 6 à l'est, et 4 et 5 au nord, est une zone très saline. Deux ruisseaux drainent cette zone centrale, l'arroyo[6] Sanchez et l'arroyo Tulumaya, nés de la résurgence de la nappe phréatique toute proche. *A priori*, ces terres sont incultes ; or avec le développement économique de l'Argentine des années 1960-70, les pompes se sont multipliées dans la province et de nombreux forages ont été creusés

[4] : À l'exception de la partie extrême-aval, 300 km en aval de l'oasis, située dans la province de San Juan.
[5] : Petit canal d'irrigation, le plus souvent urbain, cf. *infra*.
[6] : *Arroyo* = ruisseau

dans cette zone centrale. A force de lavages par ennoiement des premiers horizons des sols, l'agriculture a été rendue possible pour des cultures résistantes comme les forêts d'exploitation (ACRE Paramillo, cf. *infra*), les vignes ou les oliviers.

Au total, dans l'oasis, plus de la moitié des terres est alimentée exclusivement par eau superficielle, entre 15 et 20 % par pompages seuls, et environ 20 % utilisent les deux sources superficielles et souterraines. Dans cette oasis de 1 156 km², l'occupation des sols concerne pour moitié des cultures, pour 20 % environ l'agglomération, le reste se composant de terres non cultivées, souvent salines, de routes ou d' habitats dispersés (DGI, en ligne).

Les municipalités sont au nombre de sept (cf. *supra*), de niveaux socioculturels très distincts entre eux et selon les quartiers. Le centre-ville, appelé Ciudad ou Capital[7], a grandi, parallèlement aux petits bourgs de Luján, Godoy Cruz, Guaymallén et Las Heras, formant aujourd'hui une zone urbaine peu dense mais étalée puisque les risques sismiques impliquent des constructions basses. Depuis une quinzaine d'année, le centre de Maipú a rejoint l'agglomération. Aujourd'hui, seul le bourg de Lavalle (appelé Villa Tulumaya) est resté détaché de l'agglomération.

L'eau, sa raréfaction et son manque de protection, seront donc le fil directeur de cette thèse. Nous avons déterminé quelques questionnements qui nous paraissent dépendre les uns des autres dans cet ordre chronologique : Comment est organisée l'oasis d'un point de vue physique et administratif ? Quelles sont les conséquences de ce système sur l'état qualitatif de sa ressource en eau, tant sur le plan bactériologique et des solides, que sur le plan physico-chimique ? Quelle est la responsabilité de chacun et les enjeux de la dégradation qualitative de la ressource en eau ? Et quelles propositions peuvent être faites de manière à rendre cet espace le plus durable possible ?

Ainsi, nous aborderons en ***Première partie*** **l'organisation géo-physique et géo-humaine de l'oasis**. Elle présentera en premier point le cadre climatique qui conditionne au départ, toutes les arrivées d'eau dans l'oasis. Un résumé historique nous permettra de comprendre comment, au fil des siècles, depuis les Indiens jusqu'à la République Argentine, en passant par la Colonisation Espagnole, l'homme a su aménager le milieu à son image, pour construire une oasis moderne, celle que nous connaissons aujourd'hui. Enfin, nous aborderons les problèmes de manque d'eau, alors que la demande sociale est toujours plus forte. En effet, dans un contexte de réchauffement climatique avéré, des reculs de glaciers mesurés, des avalanches plus fréquentes alors que les précipitations neigeuses diminuent au profit des précipitations pluvieuses, la quantité d'eau disponible à long terme diminue. Par ailleurs, la multiplication et surtout la diversification des usages de l'eau ont augmenté les besoins de la population.

Les ***Parties II et III*** seront le cœur de la thèse, abordant **le diagnostic qualitatif de la ressource en eau** dans l'oasis, en pensant toujours à relier qualité avec insuffisance quantitative. Parce que les polluants ont des origines distinctes mais surtout des comportements particuliers, nous avons choisi de traiter en Seconde partie **les pollutions par les bactéries et les solides**, et en Troisième partie la **pollution physico-chimique**. Ce choix s'explique par le caractère concentré des pollutions biologiques et physiques, tandis que les pollutions physico-chimiques sont nettement diffuses, mais aussi par respect pour la chronologie des études en hydro-qualité. En effet, Edouard-Alfred MARTEL, considéré comme le père de la spéléologie moderne, est aussi le premier à avoir fait le lien entre qualité

[7] : Nous utiliserons le plus souvent le mot Capital pour distinguer la ville de Mendoza des autres municipalités.

des eaux et santé. Car, en 1891, il était tombé gravement malade après avoir bu de l'eau polluée en amont par un cadavre de veau. Depuis, il n'a cessé d'alerter les pouvoirs publics sur la nécessité de la protection de cette ressource, jusqu'à la loi dite Martel de 1902, interdisant le rejet de matières organiques putrescibles et de cadavres dans les gouffres. Historiquement, c'est donc par la biologie que les premiers travaux d'hydro-qualité ont commencé. Vinrent ensuite les études sur les paramètres physico-chimiques.

Enfin, en ***Quatrième et dernière partie***, nous présenterons **les activités anthropiques qui influent sur l'état qualitatif de la ressource** avant de proposer des solutions. En effet, il est important de présenter les responsabilités de chacun, puisque s'il existe des implications individuelles, notamment pour les pollutions ponctuelles et localisées, les pollutions diffuses sont souvent consécutives d'une responsabilité collective. Or, le diagnostic hydro-qualitatif a démontré l'urgence de l'action, à la fois pour l'environnement et pour l'homme (sa santé physique et sa situation économique et sociale). L'Argentine sort d'une crise économique majeure l'ayant touchée en 2001-2002. Aussi, face à des problèmes importants sont souvent choisies des solutions rapides, peu chères et peu efficaces. Surtout, nous mettrons en exergue le fait qu'à nos yeux, après quatre années de recherche et sept mois de stage à Mendoza, l'urgence reste la **prise de conscience de la population,** le resserrement de ce lien détruit entre la campagne et la ville, et entre l'homme et l'eau.

Pour terminer, nous élargirons notre étude sur une mise en perspective du futur de l'oasis de Mendoza, en comparaison avec les autres oasis provinciales. Nous chercherons à imaginer les scénarii les plus crédibles du futur de l'oasis, dans le cas où la gestion quantitative et qualitative de l'eau resterait inchangée.

Fig. 1 : Le relief de l'Argentine et localisation de la zone d'étude
Source : *in* Salomon et Prat, 2004, Modifié. Dessin : N. Pau Martinez.

Photo 1 : petit sanctuaire dédié à la Difunta Correa sur la route Nationale 7 reliant Mendoza au Chili, entre Potrerillos et Uspallata
Cliché : E. Lavie, 2007

Photo 2 : du contact entre la Précordillère, les glacis mendocinos et la plaine du Cuyo
Vue prise du dixième étage d'un immeuble du centre-ville de Mendoza.
Au premier plan, la ville de Mendoza, poumon vert sur la plaine du Cuyo, au second plan, les glacis du piémont, entaillés de mogotes (dont une est visible), au dernier plan, la précordillère, qui cache la cordillère frontale et la cordillère principale.
Cliché : E. Lavie, 2007

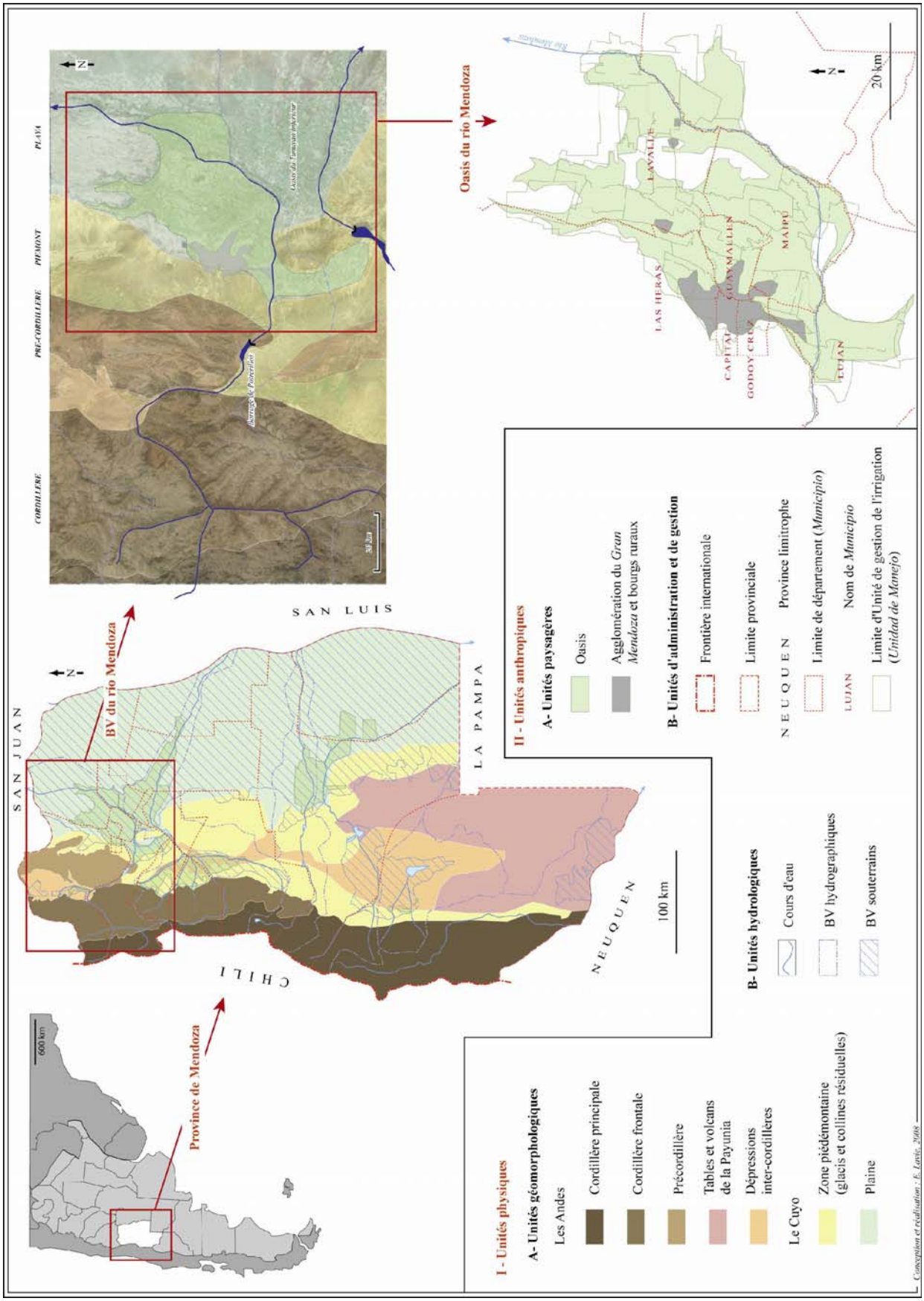


Fig. 2 : Le site d'étude : l'oasis du río Mendoza, et les unités physiques et humaines le composant

PREMIERE PARTIE :

L'oasis du río Mendoza : une œuvre anthropique dépendante d'une ressource naturelle

« *L'oasis est à l'origine une mise en valeur d'aires arides et semi-arides à précipitations indigentes* ». Il s'agit d' « *un milieu bioclimatique artificiel fondé ex-nihilo ou développé à partir d'un site naturel préexistant qui rompt avec l'aridité environnante en transformant l'ambiance climatique au niveau du sol et dans la basse atmosphère* » (MAINGUET, 2003). Cet espace d'interaction homme-milieu fonctionne en partie en vase clos et pose avant tout, par définition, la question de la disponibilité de la ressource en eau. A Mendoza, le contexte climatique et géographique relève du paradoxe. D'une part à l'ouest, il est un **espace de montagnes**, relativement peu arrosé (250 mm environ) mais où les températures négatives permettent le stockage de l'eau à moyen et long termes, alors que l'implantation humaine est limitée à quelques fonds de vallées. D'autre part, il est un **piémont aride** où les sols sont souvent fertiles et quasi-plats, mais où le manque d'eau ne peut permettre le développement de l'agriculture pluviale.

Les cours d'eau andins de la province, et tout particulièrement le río Mendoza, sont la seule véritable ressource pour le piémont. Les eaux andines alimentées par les fontes des neiges et des glaciers, mais aussi par quelques pluies directes, constituent à la fois le seul apport d'eau superficielle, mais aussi souterraine. En effet, les aquifères proches de la surface sous l'oasis se sont formés quasi-exclusivement à partir des infiltrations des eaux des ríos au niveau du développement vertical des cônes de déjection.

L'oasis du río Mendoza est donc née de l'eau de la Cordillère andine et du travail des Indiens Huarpes. Elle s'est développée, en particulier avec l'arrivée du chemin de fer en 1885, et transformée en une oasis moderne. Les usagers se sont multipliés, la demande en eau a explosé, alors que paradoxalement, le réchauffement climatique entraîne une fonte progressive des glaciers, seule ressource hydrique à long terme pour Mendoza.

Comment la population fait-elle face au manque d'eau ? A-t-elle conscience du problème ? S'adapte-t-elle ? Comment les compétences des différentes administrations de l'eau sont-elles définies ? Est-ce efficace ?

Cette partie a pour intention de **dresser l'état des lieux des problèmes liés à l'eau** à Mendoza.

Dans un **premier Chapitre**, nous ferons le point sur les ressources hydriques à l'échelle du piémont de Mendoza, atouts qui ont permis la création puis le développement de l'oasis, depuis les premiers habitants indiens, jusqu'à la colonisation européenne de la fin du XIXème siècle.

Le **deuxième temps** de cette première partie visera à détailler le fonctionnement du réseau oasien moderne, tant sur le plan spatial (emboîtement des réseaux de canaux et des types d'usages), que sur le plan de l'organisation, aux échelles locale et provinciale.

Enfin, le **dernier point** aura pour finalité de dresser un état des lieux des évolutions des relations entre l'offre et la demande en eau et de développer le mythe de l'abondance.

Chapitre 1 :

De la mise en valeur d'une aire aride…

Le désert du Cuyo est un désert d'abri inséré entre les trois chaînons de la Cordillère andine à l'ouest, et les Sierras de San Luis et de Córdoba du nord-est à l'est. La seule ouverture topographique est située au sud, vers la Patagonie où les eaux des ríos andins s'écoulent. Or, de la Patagonie soufflent des vents secs, accentuant l'aridité de cette plaine d'effondrement. Au cœur du désert *cuyano* (du Cuyo), quelques oasis sont nées de la dérivation des eaux des rivières andines. C'est le cas de l'oasis du río Mendoza.

1-1- L'eau du ciel, une denrée rare mais parfois dangereuse

Le climat de l'oasis du río Mendoza, a été étudié pendant la décennie 1960 par Ricardo CAPITANELLI. Sa thèse *Climatología de Mendoza* (1967) représente, aujourd'hui encore, la synthèse la plus complète sur les processus climatiques de la province. Des données actualisées permettent un état des lieux de la dynamique présente, mais ne remettent pas en cause les observations et conclusions d'ensemble de Ricardo CAPITANELLI.

L'eau, denrée rare et donc précieuse, constitue le fil conducteur de cette thèse. Mais avant d'aborder la question centrale de la qualité, il s'avère primordial de réaliser la synthèse des connaissances bibliographiques sur les extrêmes climatiques qui conditionnent, au départ, les arrivées d'eau à Mendoza.

1-1-1- Le Cuyo, désert de piémont andin

L'oasis de Mendoza est située au contact du piémont de la Précordillère et d'une plaine d'effondrement, encadrée du nord-ouest au sud-ouest par les bas reliefs pré-andins, et à l'est par les Sierras de Córdoba (nord-est) et les Sierras de San Luis (est-sud-est). Cette plaine, appelée Cuyo **(Fig. 1)** correspond aux provinces de San Juan et de Mendoza et en partie à celle de San Luis. Cette situation de plaine encadrée de presque tous côtés par des reliefs plus ou moins élevés, fait du Cuyo un espace abrité des pluies et par conséquent de type désertique ; d'autant plus qu'il subit régulièrement l'influence de vents descendants et asséchant des Andes (*Zonda*).

- **Une situation d'abri**

Le site de Mendoza est typique des déserts d'abri continentaux. Il est au centre de la diagonale aride sud-américaine qui s'étale du nord-ouest du Pérou (5° lat.S), jusqu'à l'entrée

ouest du détroit de Magellan (52° lat.S). Cette diagonale **(Fig. 3)** longe d'abord le Pacifique (versant Ouest des Andes) jusqu'au 30° lat.S où elle bifurque légèrement à l'est pour border alors le versant argentin de la Cordillère. Cette déviation vers l'est de la diagonale aride a donc lieu au niveau du 30° lat.S (soit du côté argentin, dans la province de San Juan, directement au nord de celle de Mendoza). San Juan définit de la sorte la limite entre le Nord-Ouest Argentin (NOA) tropical humide, et le Centre-Ouest tempéré-sec (le Cuyo).

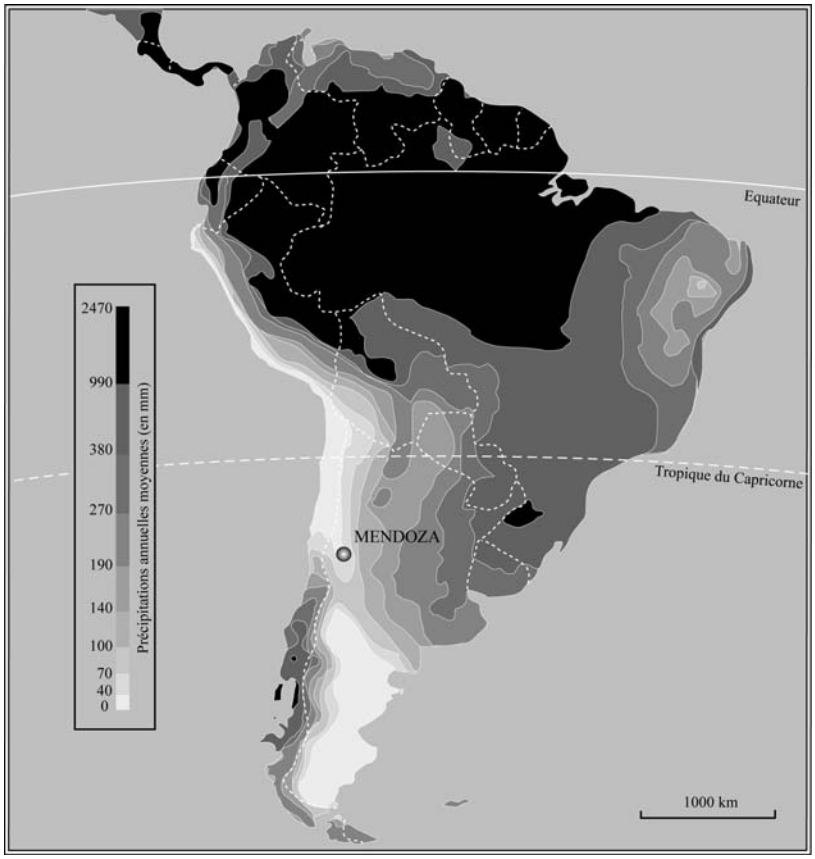


Fig. 3 : La diagonale aride sud américaine (moyenne 1960-1990)
Source : Atlas of the Biosphere (en ligne)

Ce climat d'aridité à Mendoza est moins dû à de grands mécanismes planétaires qu'à une **situation locale particulière**. En effet, le Cuyo argentin, vaste plaine « coincée » entre la Cordillère à l'ouest et les Sierras de Córdoba et de San Luis à l'est, est protégé des masses d'air humides océaniques. Bien que proche de l'océan Pacifique (moins de 500 km), le Cuyo ne reçoit que peu de pluies malgré des vents d'ouest dominants. De fait, les Andes constituent une barrière de plus de 5 000 m de haut, ininterrompue à cette latitude, flanquée de quelques sommets de plus de 6 000 m comme l'Aconcagua, point culminant des Amériques avec ses 6 959 m. Les masses d'air se déchargent de leur humidité par ascendance orographique sur la chaîne littorale chilienne, puis sur le versant Ouest-andin, avant de souffler sur Mendoza. Leurs taux d'humidité sont généralement autour de 40 %, voire moins de 5 % les jours de *Zonda* (effet de fœhn).

Quant aux masses d'air atlantiques, elles doivent parcourir 1 000 km avant d'atteindre le Cuyo. Au niveau du río de la Plata (embouchure des ríos Uruguay et Paraná), l'air humide entre dans la Pampa. Les pluies, au départ soutenues, perdent peu à peu en intensité, jusqu'aux Sierras de Córdoba et de San Luis. Ces Sierras, ultime barrière aux vents humides déjà bien asséchés, protègent le Cuyo des pluies par l'est. Précisons que le centre et le sud de l'Argentine sont dans la zone des vents d'ouest (zone tempérée), la circulation des vents d'est

est donc relativement faible **(Fig. 4)**. Seule la pampa dite humide (province de Buenos Aires en particulier) est véritablement sous l'influence des masses atlantiques.

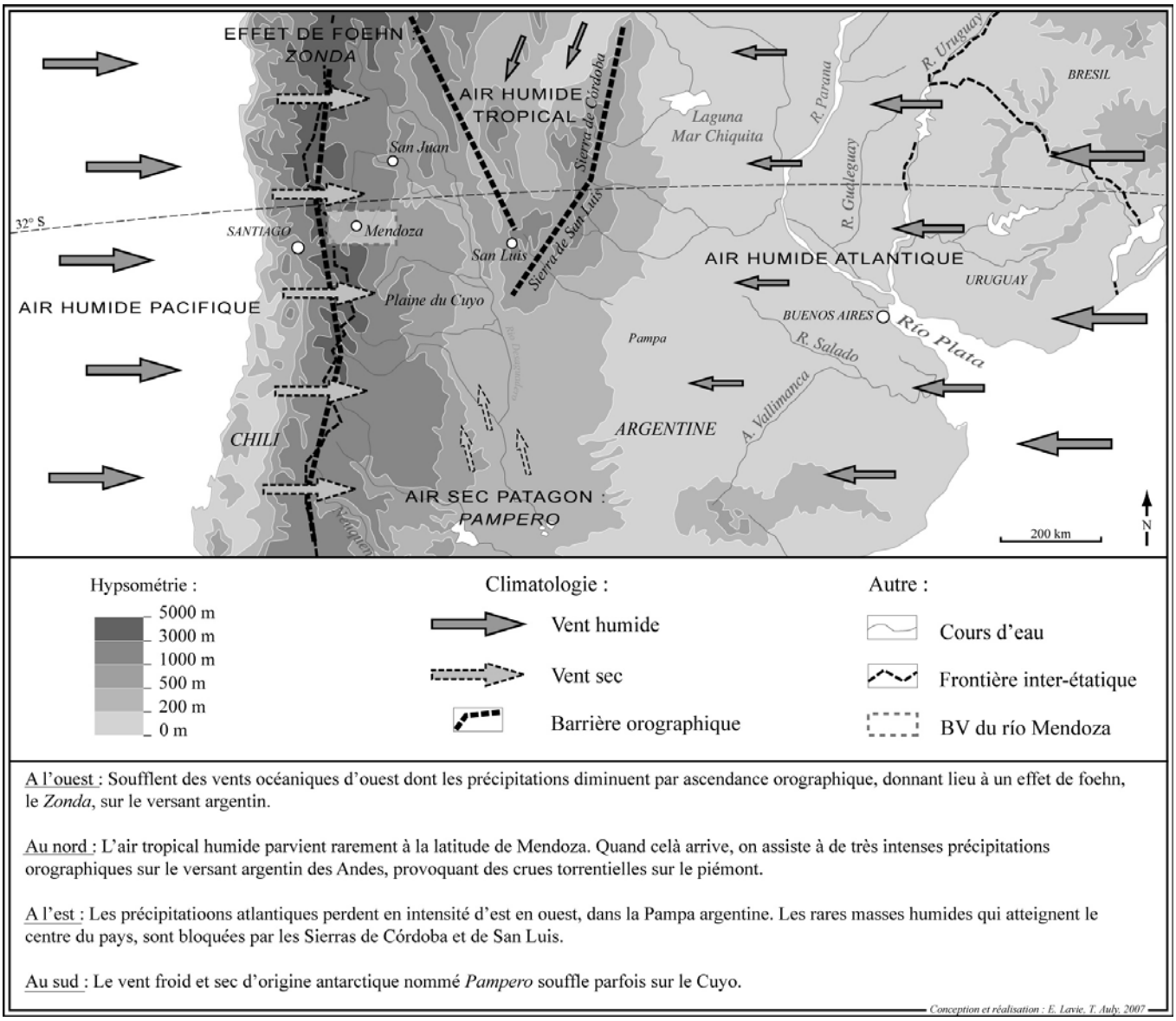


Fig. 4 : Aridité à Mendoza : processus

- **Une continentalité vécue au quotidien**

Dans les faits, cette situation d'abri se traduit par une **humidité relative inférieure à 50 %**, une évaporation potentielle de 782 mm, et un déficit hydrique annuel moyen de 562 mm (SALOMON et PRAT, 2004). Les conditions d'aridité sont d'ailleurs aggravées en période estivale par une quasi-absence de couverture nuageuse. L'exposition à la lumière solaire est donc importante (10h/jour) et les températures moyennes de janvier sont élevées (23°C, fréquemment 40°C dans la journée) du fait d'un climat de moyenne latitude (*ibid.*).

Sur le diagramme ombro-thermique de type Gaussen (P=2T) **(Fig. 5)**, la courbe des températures dépasse systématiquement les bâtons des précipitations, qui, cumulés atteignent tout juste 200 mm/an. De fait, nous sommes bien dans une situation d'aridité **(Fig. 7)** qui compromet nettement l'agriculture et donc l'installation humaine.

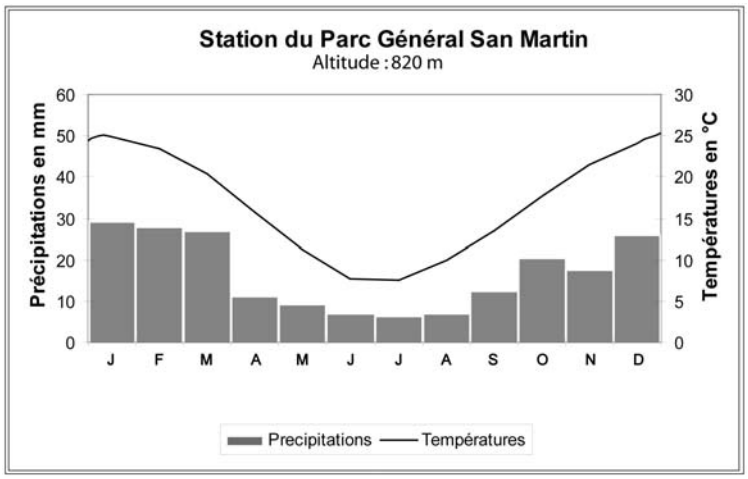


Fig. 5 : Diagramme ombro-thermique de Mendoza
Températures :
moyennes mensuelles 1951-1990.
Température moyenne : 16,4°C
Précipitations :
moyennes mensuelles 1892-1989
Précipitations moyennes : 205,6 mm
Source : World Climate (en ligne)

1-1-2- Des pluies rares mais intenses

L'apport des pluies à Mendoza est faible, pour les raisons évoquées ci-avant. Il demeure néanmoins que si la province est protégée à l'ouest et à l'est, elle ne l'est pas des masses d'air d'orientation nord-sud. Si nous regardons vers le sud, nous rencontrons la Patagonie, vaste plaine située entre la Cordillère andine protectrice et l'océan Atlantique. Or les courants marins qui bordent la Patagonie sont des courants froids qui assèchent le sud de la péninsule : à l'est celui des Falkland et à l'ouest celui de Humboldt. Tous deux, « échappés » de la dérive vers l'est qui entoure l'Antarctique, remontent vers le nord. Les vents du sud (*Pampero*) sont donc fréquents **(Fig. 4 et 6)**, mais froids et secs.

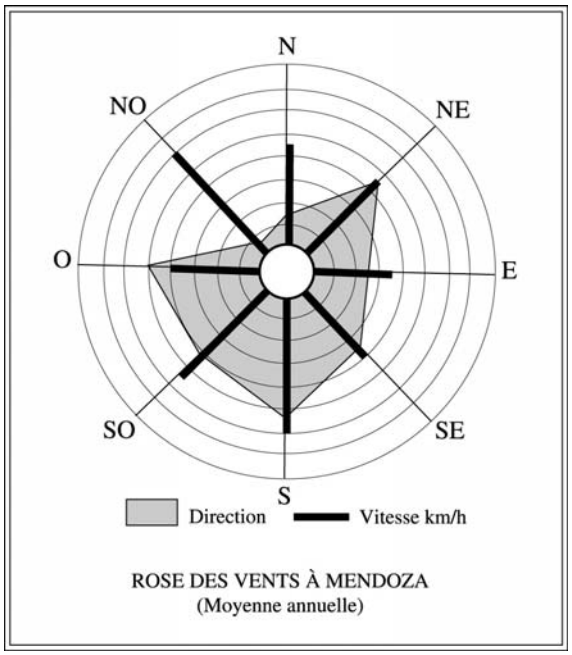


Fig. 6 : Rose des vents à Mendoza
Equidistance des cercles : 10 km/h
Source : Capitanelli, d'après Observatoire Régional de Mendoza. *In* Salomon et Prat, 2004

A l'inverse, les vents du nord (ou plus précisément nord-est) ont une origine tropicale humide. Ils proviennent du bassin amazonien et en général se délestent de leurs dernières pluies dans le Nord-Ouest Argentin (NOA : provinces de Salta, Jujuy, Tucuman…). Parfois, lorsque cet air chaud et humide connaît une poussée brutale, il arrive qu'il parvienne jusqu'au Cuyo où il est bloqué par la Cordillère. S'en suivent alors des pluies intenses sur le piémont, dont la fréquence est irrégulière (LAYMOND, 1999).

Pour reprendre certains exemples cités par SALOMON et PRAT (2004), le 31 décembre 1959, les pluviomètres ont enregistré une intensité de 240 mm/heure en 5 min ; le 4 janvier 1970, il pleut 65 mm en 90 minutes sur Chacras de Coria (30 km au sud du centre-ville). « *De 1983 à 1994, l'INCYTH* (aujourd'hui INA-CRA, qui possède un réseau de 24 stations à l'ouest de Mendoza) *a dénombré 84 orages dont l'intensité était supérieure à 6 mm en 30 minutes et dont le total était supérieur à 20 mm* » (*Ibid.*).

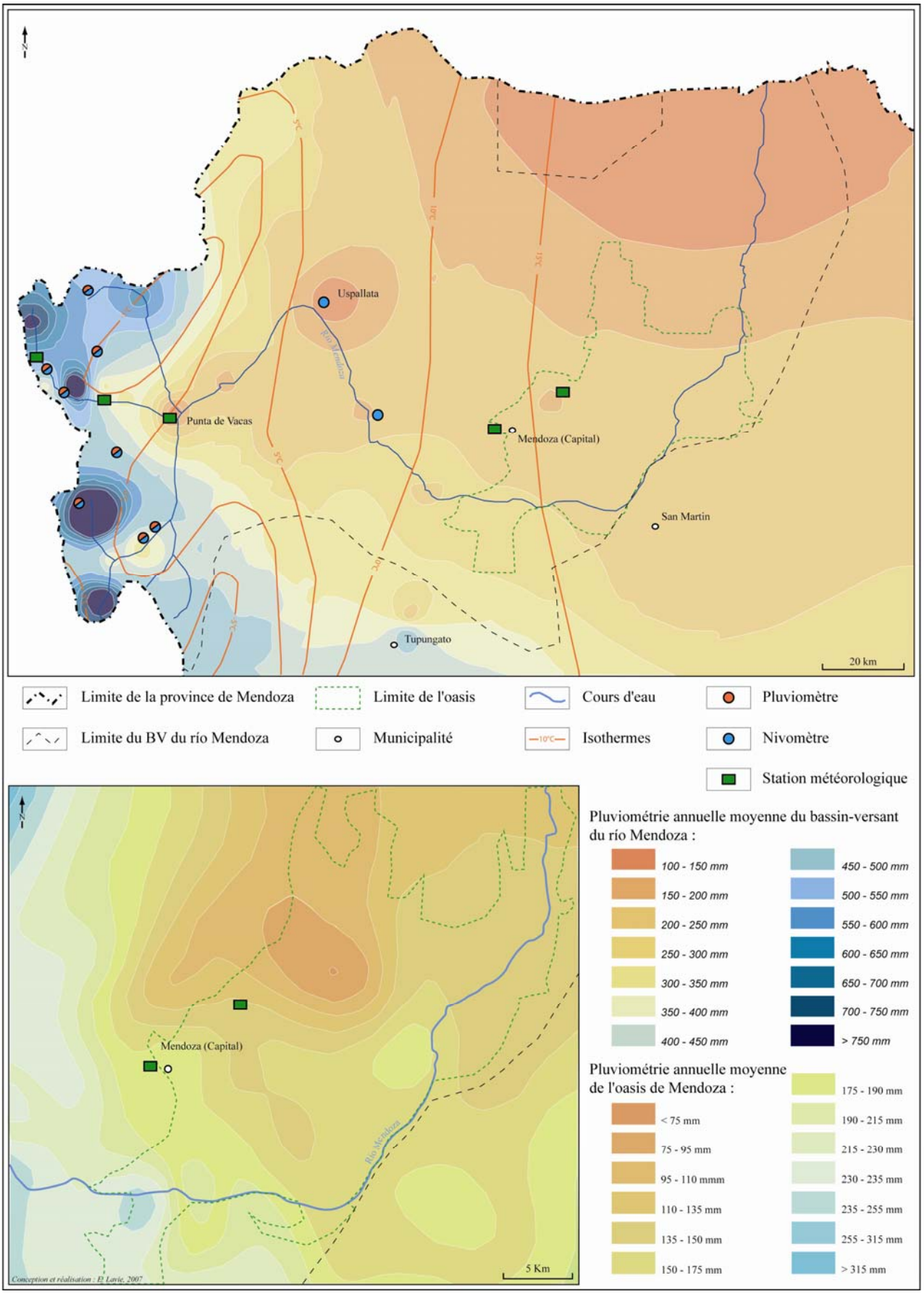


Fig. 7 : Le paradoxe climatique de Mendoza
Source : Réalisé en partie d'après images DGI, en ligne

Ces orages ne sont donc pas rares, mais leur irrégularité dans le temps mais aussi dans l'espace (LAYMOND, 1999 ; et SALOMON et PRAT, 2004), rend ces précipitations intenses difficiles à prévoir. Si nous prenons l'exemple du mois de février, il a plu 40,5 mm en 1994, contre 0,6 mm seulement en 1999 ; cependant, si l'« aléa » *précipitation* est difficilement prévisible, le « risque » *crue* est lui assez connu pour être limité.

La bibliographie est assez abondante sur ce sujet, cependant, pour résumer, ces orages, irréguliers dans le temps et dans l'espace, précipitent des pluies intenses sur un piémont en glacis, légèrement en pente vers le nord-est où se concentrent les flux. Si on ajoute un sol mince, donc peu couvert, une végétation peu développée typique d'un climat aride, et des aménagements humains contestables (LAYMOND, 1999), on obtient des crues caractéristiques dont les premières victimes sont les populations les plus fragiles. En effet, les orages les plus intenses connaissent un temps de retour d'environ 10 ans sur l'ensemble du bassin, et l'irrégularité spatiale mène le temps de retour sur un même point autour de 30 ans. C'est bien suffisant pour « oublier » et se sentir à l'abri. Ainsi les foyers les plus populaires se rapprochent-ils de plus en plus des lits des oueds. Des quartiers entiers de ce que l'on nomme en Argentine les « *villas miserias* » (quartiers informels) se sont installés en amont des barrages écrêteurs de crues, comme par exemple les barrages de *Frias* et de *Maure* **(Fig. 8)**.

Ainsi, après un bref exposé de la situation climatique particulière de Mendoza, est-on amené à s'interroger sur l'intérêt du choix de ce site et surtout du développement d'une oasis dans ce Cuyo apparemment peu hospitalier.

Au croisement entre une voie nord-sud de piémont et l'unique voie est-ouest reliant les ports de Valparaíso (sur le Pacifique) et Buenos Aires (sur l'Atlantique), Mendoza connaît une situation commerciale extraordinaire. En effet, la haute vallée du río Mendoza offre un des rares points de passage des Andes à ces latitudes ; et si l'on suit le tronçon nord-sud, le piémont constitue une route bien plus sûre que la traversée de la Pampa. De plus, le cône de déjection formé par le río Mendoza est doté d'un sol riche et propice à l'agriculture… du moins s'il est irrigué.

1-2- Une alimentation limitée

Puisqu'il y pleut en moyenne 200 mm par an, de manière irrégulière tant dans le temps que dans l'espace, l'eau est dans le Cuyo une denrée rare et capricieuse que l'on ne peut pas, *a priori*, maîtriser et donc exploiter. A moins que ….

1-2-1- Le río Mendoza, cadeau divin ?

Une chance pour le Cuyo est que les hauts sommets andins « capturent » les masses d'air pacifiques et stockent les précipitations sous la forme de névés ou de glaciers **(Fig. 11)**. La quantité d'eau restituée au piémont dépend évidemment « *des précipitations neigeuses en montagne, variables selon les années, et de la fonte des glaciers qui s'est accélérée au cours du dernier siècle. Toutes les observations concordent avec des reculs d'un mètre par an en moyenne, accompagnés d'une diminution de l'épaisseur des glaces* » (SALOMON et PRAT, 2004).

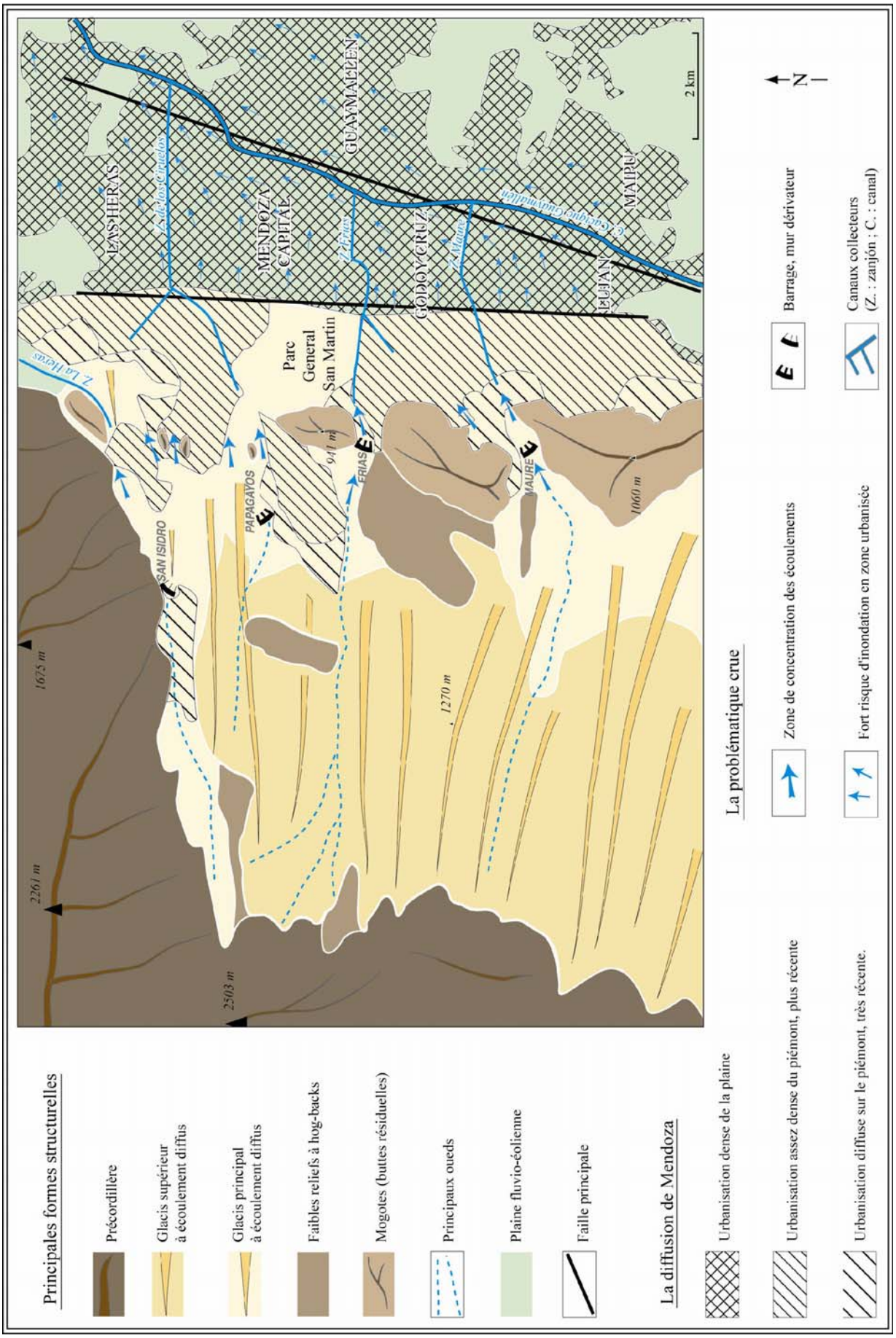


Fig. 8 : Morphologie du piémont de Mendoza : aléas et risques inondations

Source : D'après Laymond, *in* Salomon et Prat, *dir.*, 2004, et Mikkan, 1996. *Modifié ;* Dessin : D'après G. Réaud-Thomas, *modifié*

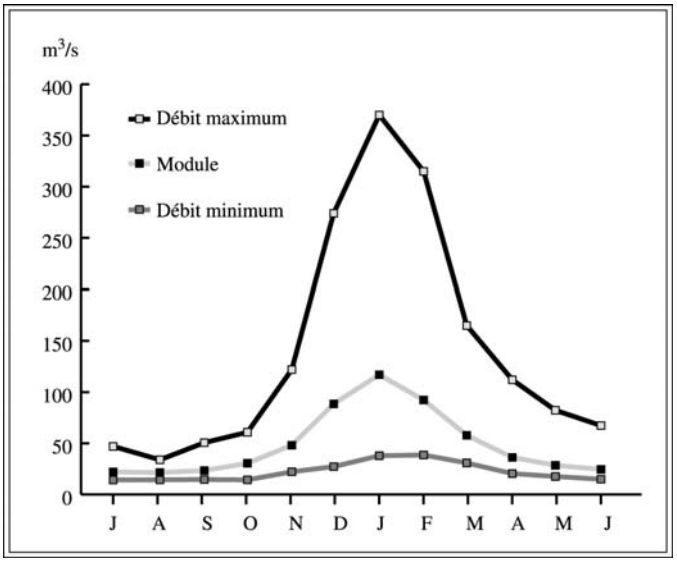


Fig. 9 : Débit du río Mendoza (période 1941-1980)
Source : Agua y Energía Eléctrica. Soc del Estado. In Salomon et Prat, 2004

Ainsi, c'est une rivière de régime fluvio-glaciaire **(Fig. 9)** qui parcourt le versant argentin des Andes, depuis la Cordillère, la Cordillère frontale, la Précordillère, jusqu'aux glacis de piémont. Entrant en plaine à 30 km au sud de Mendoza (Capital), le río Mendoza forme une courbe à 90° vers le nord-est et se perd dans le désert au sud de la province de San Juan, dans la lagune de Guanacache. La rivière possède trois affluents principaux : le río Tupungato (10 à 11 m^3/s), le río Cuevas (3,5 m^3/s) et le río Vacas (2 m^3/s) **(Fig. 10 et 12)**.

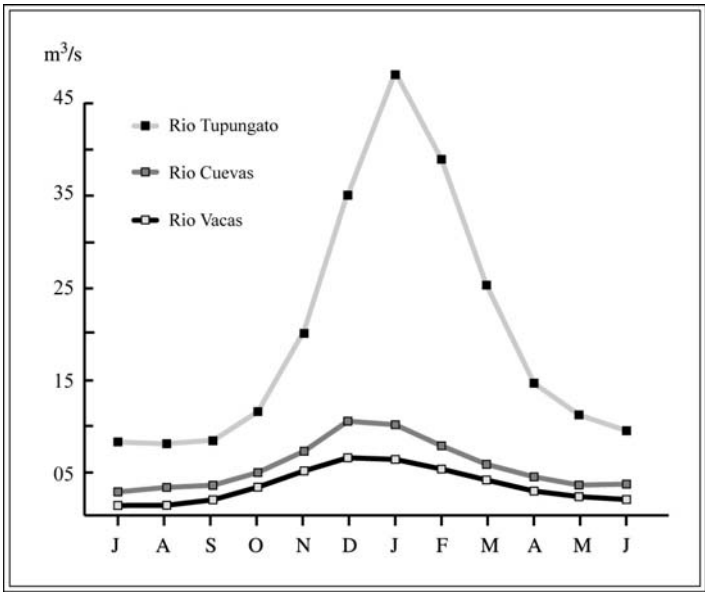


Fig. 10 : Débit des affluents du río Mendoza
Source : Bustos, 1977

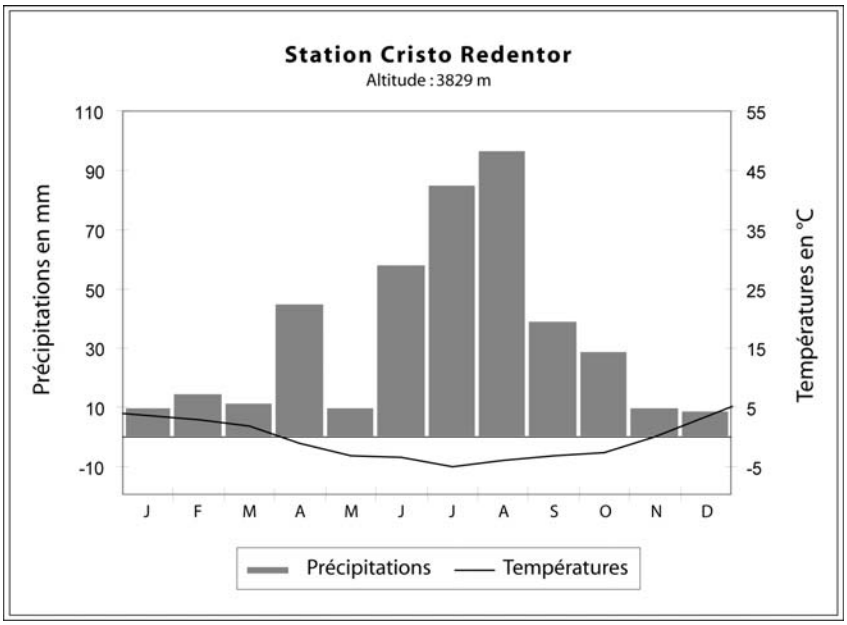


Fig. 11 : Diagramme ombro-thermique de Montagne (Las Cuevas)
Température moyenne annuelle : -1,6°C, Précipitations annuelles moyennes : 357 mm
Source : *in* Salomon et Bustos, 1992

La carte des débits **(Fig. 12)**, quoiqu'intéressante puisque elle permet de connaître la part de chaque affluent dans le débit général du río Mendoza, est biaisée. Elle doit en effet d'une part être relativisée, puisqu'il s'agit de moyennes annuelles, lesquelles ne font donc pas apparaître les extrêmes, indispensables pour évaluer le type de régime hydrologique. Les chiffres ne sont pas disponibles pour tous les cours d'eau mais il est avéré que les rivières qui affluent jusqu'au niveau de *Punta de Vacas* (Vacas, Cuevas, Tupungato **(Fig. 10)**) sont de régime nivo-glaciaire, en particulier le río Tupungato alimenté en grande partie par le complexe glaciaire du Plomo (cf. *infra*). L'année hydrologique se calcule donc de juillet à juin, avec un maximal étendu entre décembre et mars. Plus en aval, les affluents sont de régime pluvial. La majorité des débits étant apportée par les ríos Tupungato, Cuevas et Vacas, le régime du río Mendoza reste nivo-glaciaire jusqu'à sa sortie en plaine. D'autre part, cette carte est faussée par la construction du barrage de Potrerillos qui a intégralement « anthropisé » le régime du río Mendoza. De fait, la plus grande part des débits est dérivée vers les centrales hydro-électriques *Cacheuta* et *Alvarez Condarco* **(Fig. 12)**, et les eaux ne sont restituées qu'environ 1 km en amont du barrage de Compuertas. De même, la gestion des débits du cours d'eau par le Département Général d'Irrigation (DGI) au niveau de cette retenue a transformé le régime nivo-glaciaire en un régime régulé à partir de Potrerillos.

1-2-2- Les pluies

Il arrive que certains nuages descendent jusqu'à l'oasis et forment une petite bruine, voire une pluie fine, proche du crachin breton. Cela étant dit, ces pluies doivent avoisiner un total mensuel de 2h (de 75 mm/an à 230 mm/an selon les points de l'oasis, selon le DGI) **(Fig. 7)**. Elles n'ont de fait qu'un intérêt négligeable pour l'agriculture car c'est à peine si elles humectent les sols. Il arrive également que de très fortes pluies parviennent sur l'oasis, notamment au printemps et en été, elles ne durent en général que très peu (une demi-nuit à une nuit) mais sont en général très érosives. L'alimentation en eau directe du ciel est donc statistiquement insignifiante pour l'oasis.

1-2-3- Un aquifère libre limité

Le piémont des Andes de Mendoza est constitué de sédiments plissés par l'orogenèse andine dont on peut apercevoir certains dômes anticlinaux comme le *Cordón del Carrizal*, la *Cuchilla del Camino*, ou les mogotes[8] de l'ouest du Parc Général San Martín. Les synclinaux et les versants des anticlinaux sont comblés par des glacis et les cônes de déjection des ríos **(Fig. 13)**.

Ainsi, l'eau de fonte des glaciers circule dans les sols détritiques (glacis, éboulis) le long des versants des trois cordillères. Elle se concentre dans le réseau superficiel, au niveau des failles principales, puis, à l'entrée en plaine du Cuyo, s'étale en formant des cônes de déjection, plus ou moins grands. La taille de ces cônes dépend du fait qu'ils ont été formés par les ríos andins (Mendoza et Tunuyán) ou par les oueds des glacis du piémont **(Fig. 14)**.

[8] : Ce ne sont pas des mogotes au sens karstique mais plutôt de collines de badlands taillés dans des dépôts grossiers par des lœss, appelées mogotes à Mendoza.

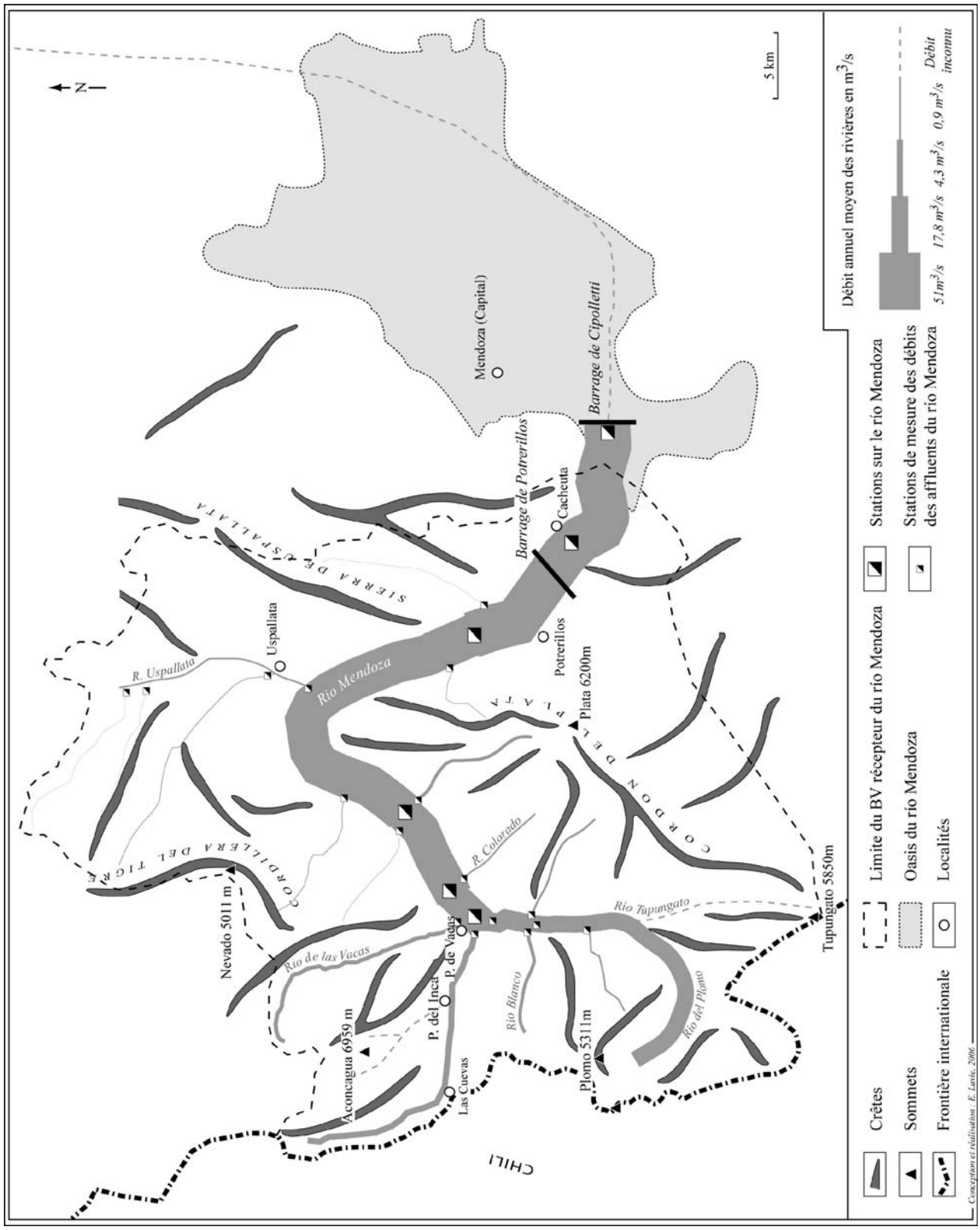


Fig. 12 : Carte des flux des rivières du bassin-versant du río Mendoza en amont du barrage de Cipolletti
Source : données *Secretaria de Minería de la Nación* (*www.mineria.gov.ar*)

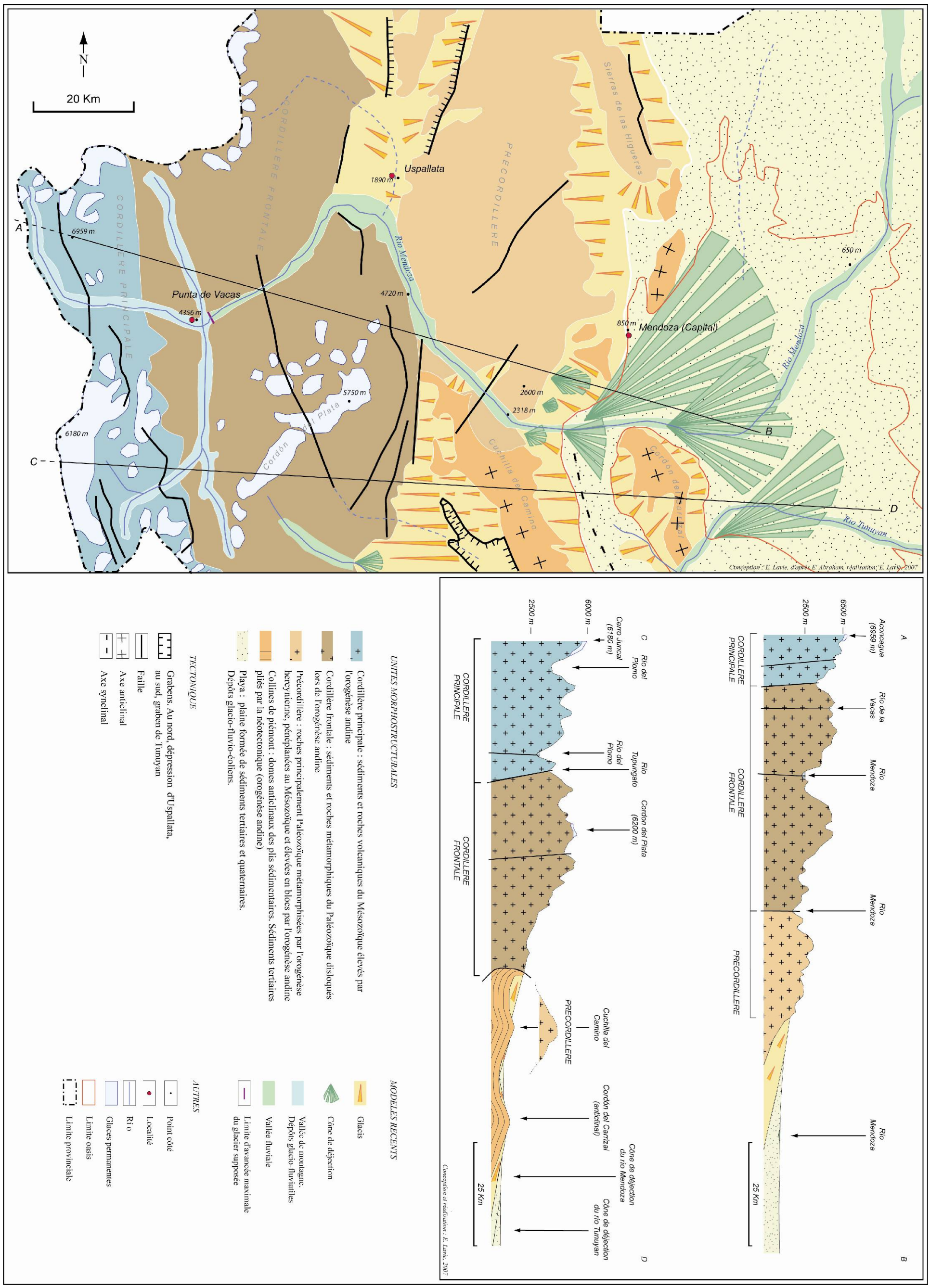


Fig. 13 : Géomorphologie simplifiée de la zone d'étude. Plan et coupes

Source : En partie d'après la carte géomorphologique de Mendoza de E. M. Abraham (1996). Profils réalisés via un MNT et le logiciel Global Mapper

Concrètement, le gradient topographique du piémont, décroissant d'ouest en est, a régulé la distribution et les dépôts des sédiments, en classant le matériel transporté. Ainsi trouve-t-on des sédiments grossiers sur tout le développement vertical du cône de déjection (partie haute), propices aux aquifères libres. Cette zone constitue l'aire principale de recharge du bassin-versant souterrain, elle correspond géologiquement à l'axe synclinal situé entre les deux axes anticlinaux visibles sur la **Fig. 13** et sur lequel a été fondée la ville de Mendoza, et qui accueille l'arroyo Carrizal (sud de la carte). Un deuxième axe, anticlinal (*Cordón del Carrizal* et *Sierras de las Higueras*), forme une cassure topographique, qui coïncide avec une diminution du gradient, donnant lieu à une réduction granulométrique des sédiments. Ces dépôts de sédiments plus fins ont créé des formations moins perméables et généré l'apparition d'une **aire d'exsurgence**, dont l'axe majeur de direction nord-ouest/sud-est, est perpendiculaire au flux d'eau souterraine **(Fig. 13 et 14)**. Il s'agit de l'aire de décharge naturelle la plus importante du bassin-versant souterrain (nappe phréatique) ; elle correspond à la naissance des arroyos Tulumaya et Sanchez, et à la zone de ceinture maraîchère de Mendoza. La plaine se poursuit à l'est, constituée d'éléments de plus en plus fins, formant une alternance de couches de sables et d'intervalles limono-argileux. Ces couches donnent à cet aquifère **des caractéristiques de semi-confinement, et dans certains cas, des confinements lenticulaires localisés** (HERNANDEZ et MARTINIS, 2006) **(Fig. 14)**.

Le bassin-versant souterrain ainsi formé, correspond aux cônes de déjection des ríos Mendoza d'une part, et Tunuyán inférieur d'autre part**. Le bassin-versant souterrain qui est utilisé pour les besoins de l'oasis dépasse donc les limites du bassin-versant superficiel du río Mendoza**. De fait, sur un substratum formé de sédiments imperméables du Tertiaire supérieur, s'est formée une nappe peu profonde (< 250 m) d'une surface de 22 800 km² dans des sédiments fluviatiles et alluviaux d'âges tertiaire, quaternaire et récent (cône de déjection).

Les aquifères sont rechargés avant tout par ruissellement interstitiel sur les reliefs de la Cordillère et de la Précordillère, qui laisse place à une percolation en profondeur au niveau du cône de déjection **(Fig. 14)**. On estime d'ailleurs que 16 % du débit du río Mendoza s'infiltrent dans les sédiments grossiers de la partie haute du cône, correspondant à la zone de recharge (aquifère libre, LLOP, 2002). Les rares eaux de précipitations constituent par ailleurs une seconde source de recharge, moindre. Enfin, il est reconnu que les nombreux canaux, collecteurs et drains non-imperméabilisés participent grandement à la recharge des aquifères libres et semi-confinés. C'est d'ailleurs la raison pour laquelle le DGI (Département Général d'Irrigation) entreprend de nombreux travaux d'imperméabilisation des canaux et collecteurs, la perte en eau étant conséquente (HERNANDEZ et MARTINIS, 2006). C'est d'autant plus vrai depuis que la construction du barrage de Potrerillos a transformé les eaux troubles du río Mendoza, caractéristiques des eaux de fontes des neiges et glaciers, en eaux claires privant les canaux de l'imperméabilisation naturelle qui s'opérait auparavant[9]. Selon LLOP (2002), sur les 2 860 hm^3 annuels charriés par les ríos Mendoza et Tunuyán, 686 hm^3 s'infiltrent. Il précise également que la moitié de ces infiltrations a lieu au niveau du seul río Mendoza entre Cacheuta et Maipú (zone de l'aquifère libre). Les canaux non-imperméabilisés assurent l'autre moitié de la recharge. On estime que 40 % de l'eau distribuée aux agriculteurs via le réseau de canaux, s'infiltrent (MORÁBITO, 2003) (cf. *infra*).

[9] : Les eaux turbides de fonte des neiges sont chargées en argiles qui imperméabilisaient les canaux dans l'oasis. Les eaux éclaircies par décantation dans le lac de barrage de Potrerillos ont été privées de leur pouvoir d'imperméabilisation (cf. *infra*, Partie II).

En fait, cet aquifère d'un volume estimé à 150 000 hm^3, n'offre véritablement que 8 000 hm^3 économiquement exploitables, étant données la profondeur et les capacités techniques de Mendoza.

1-3- Une mise en valeur relativement ancienne

Ainsi, le seul río Mendoza, interface indispensable entre la cordillère hostile mais arrosée, et le piémont bien situé mais aride, a permis l'implantation d'une petite cité d'orientation agricole, celle-ci tirant par ailleurs certains bénéfices de la géomorphologie du site.

1-3-1- Les premiers occupants connus : les indiens Huarpes

Au regard des **Fig. 13** et **15**, le Cuyo mendocino est constitué naturellement, d'ouest en est :

- d'un piémont de Précordillère, composé de glacis en légère pente vers le nord-est ;
- d'une zone de contact formée par une petite dépression entre deux failles ;
- et d'une *playa* (plaine) alimentée en eau par les oueds de piémont et le río Mendoza.

La faille la plus à l'est guide vers le nord un bras dérivé du río Mendoza, auquel on a donné le nom de *Cacique Guaymallén* (le *Cacique* est un chef Indien). CHAMBOULEYRON (2004), précise que les rares données disponibles sur le tout début de la colonisation (1561) indiquent que les indiens Huarpes (par groupes de 100 à 150) cultivaient des légumes grâce à un système d'irrigation primitif. « *A l'arrivée des Espagnols, il y avait déjà sur ce site quatre acequias importantes qui alimentaient la population locale en eau* » (*Ibid.*). Les Huarpes étaient aussi présents en vallée d'Uspallata.

PONTE (2006) est plus précis : il indique que l'occupation agricole date d'environ 1700 ans avant J-C (*a priori* de civilisation *huarpe*). D'après les rares informations dont disposent les historiens, grâce à des enregistrements réalisés entre 1575 et 1676, et selon la légende, les aborigènes auraient ainsi cultivé le cône de déjection du río Mendoza. En 1481, soit seulement 80 ans avant l'arrivée des Espagnols, des indiens d'origine Inca dont le territoire s'étalait jusqu'au nord de Mendoza (*valle de Huentata*), migrèrent vers le sud et se mêlèrent aux Huarpes. Leur niveau en techniques hydrauliques est dit meilleur que celui des Huarpes et d'après les traditions (ou la légende) ils auraient permis le développement de l'agro-système huarpe sur la *playa* mendocina.

Ainsi la fine expérience des Huarpes dans la mise en valeur des données physiques (failles, piémont, sols …) et la technique hydraulique « de pointe » des Incas se sont-elles jumelées, et ont permis la création de la cité agricole primitive de Mendoza.

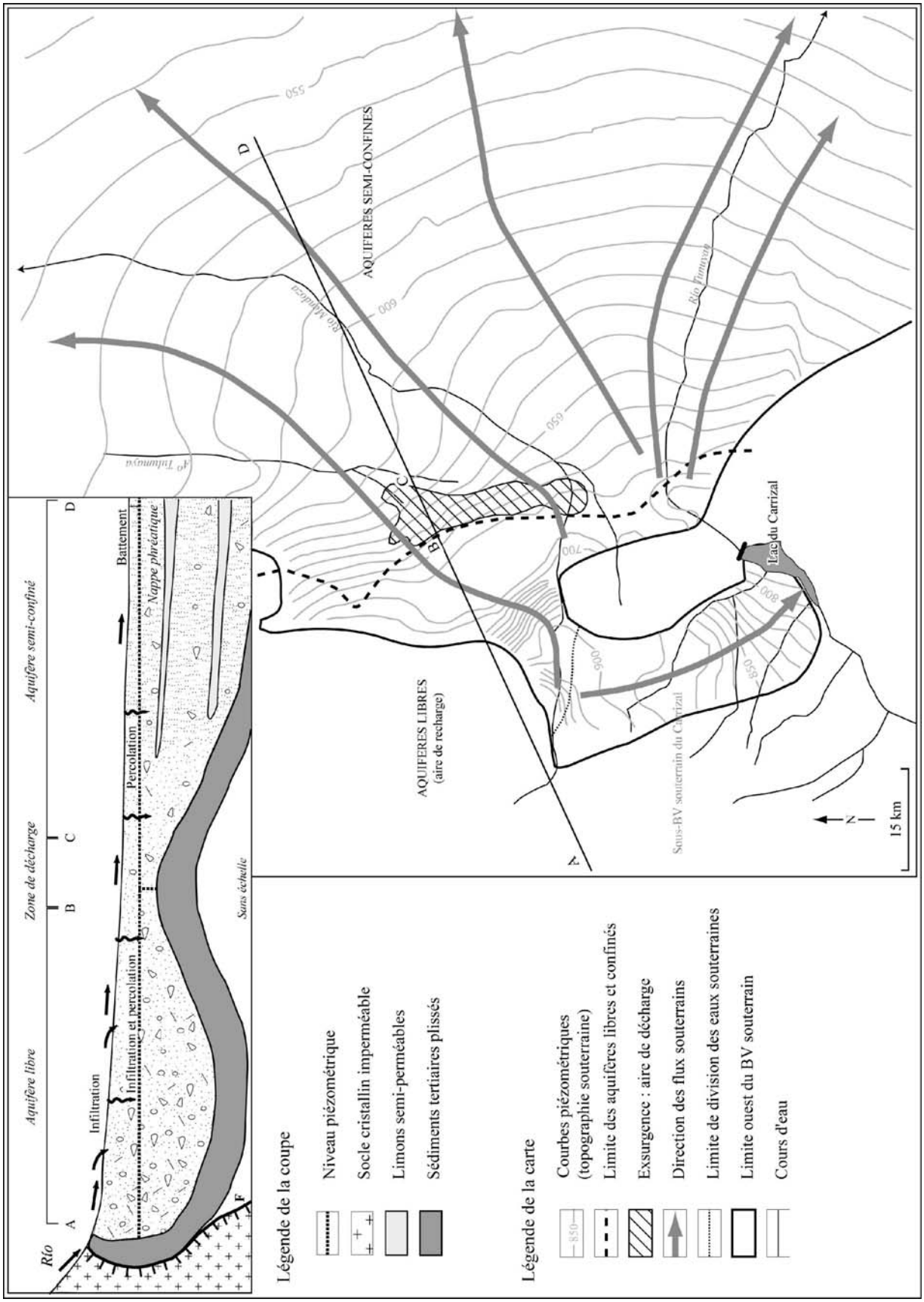


Fig. 14 : Hydrogéologie du bassin-versant souterrain des ríos Mendoza et Tunuyán inférieur
Sources : Plan : d'après Llop, 2002, *modifié*. Coupe : En partie inspirée d'après Salomon et Prat, 2004, *modifié*

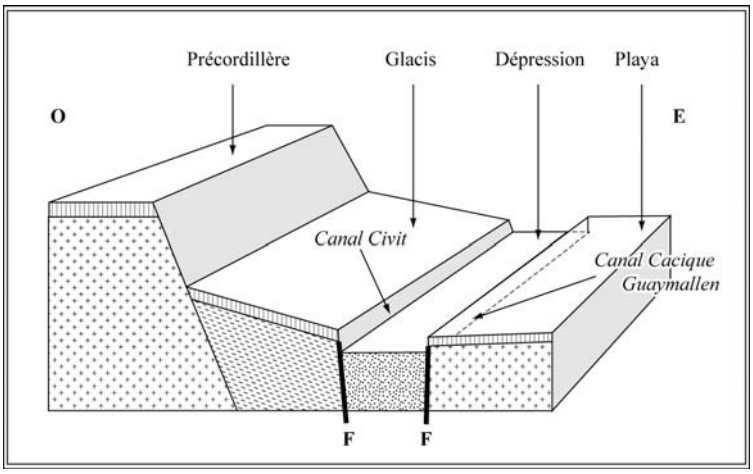


Fig. 15: Le site de Mendoza
Source : D'après Palero, *in* « Geografía de Mendoza »
Infographie : N. Pau- Martinez, *in* Salomon et Prat, 2004

1-3-2- La colonisation européenne et le vice royaume de la Plata

Le Cuyo étant terre chilienne jusqu'à la création du Vice-royaume de la Plata, les cadres nationaux et locaux de l'Indépendance diffèrent quelques peu.

- **Le cadre national et international**

En février 1516, l'Espagnol Juan DIAZ de SOLIS entra dans le río de la Plata (embouchure[10] des ríos Paraná et Uruguay) et prit possession de cette contrée au nom du Roi d'Espagne. De nombreuses expéditions vers ce continent américain se succédèrent, dont celle de Pedro de MENDOZA en 1536, soit 20 ans exactement après la découverte de la région de la *Plata* par DIAZ de SOLIS. Pedro de MENDOZA fonda sur la rive droite du río de la Plata une colonie qu'il nomma Puerto de Santa Maria de los Buenos Aires (Port Sainte-Marie des bons airs). La colonisation de la *Plata* ne fut pas facile, la famine et les maladies ayant souvent raison des expéditions maritimes d'abord, terrestres ensuite, si bien que la colonie qui a donné son nom à la Capitale argentine ne devint pérenne qu'en 1580 avec l'insistance de Juan de GARAY (et le massacre des Indiens).

Mais la *Plata* (*argent* en espagnol, ce qui a donné son nom à l'Argentine), ne s'étendait pas sur le territoire qui constitue aujourd'hui celui de l'Argentine contemporaine. Si la *Plata* avait colonisé toute la rive gauche du fleuve Paraná (actuelles provinces de Corrientes, Misiones et d'Entre ríos ainsi que l'Uruguay), jusqu'à Asunción au Paraguay, la colonisation du Nord-Ouest du pays (actuel NOA avec Santa, Jujuy et Tucuman) s'est faite depuis le Pérou et le Haut Pérou (Potosi, Bolivie), tandis que le Chili s'octroyait les terres du Cuyo (San Luis, San Juan, Mendoza). La première colonie espagnole de Mendoza s'installa en 1536, soit la même année que la colonie de Puerto Santa Maria de los Buenos Aires. De fait, si cette première cité a peu duré, Mendoza n'a pas été colonisée (contrairement à ce qui se dit souvent) depuis Buenos Aires mais depuis le Chili, au même moment que l'actuelle capitale argentine. La véritable fondation espagnole pérenne de Mendoza est celle de Pedro de CASTILLO en 1561.

[10] : Si le río de la Plata est souvent décrit comme un estuaire, celui du fleuve Paraná. C'est en réalité une simple embouchure puisque les eaux de l'Atlantique n'y rentrent pas vraiment profondément. A Buenos Aires par exemple, l'eau n'est pas saumâtre mais douce et les marées ne se font pas ressentir. D'ailleurs, Juan DIAZ de SOLIS appela la région « *mar dulce* », ce qui signifie mer d'eau douce.

Si toute l'Amérique latine, à l'exception du Brésil (Traité de Tordesillas en 1494), était propriété personnelle du Roi d'Espagne et donc dirigée par le Royaume de Lima (Pérou), les sous-régions étaient dirigées par des *Gobernaciones* : celle de Tucuman, celle de Buenos Aires (*Plata*), celle du Paraguay et celle du Cuyo (gérée par la Capitainerie Générale du Chili). En 1776, Charles III d'Espagne accepta la création du Vice-royaume de la Plata (l'affaiblissement du pouvoir central péruvien fut la conséquence des guerres de successions en Espagne et l'avènement des Bourbons dans ce pays), dessinant ainsi l'ébauche de ce qui deviendra l'Argentine **(Fig. 16)**. Ce Vice-royaume de la Plata s'étendait sur les actuels Bolivie (Alto Perú), Paraguay, Uruguay et Argentine et permettait surtout la création du port de Buenos Aires puisque jusqu'ici Lima interdisait tout commerce depuis le río de la Plata, obligeant les exportateurs à passer par le Pérou. Précisons que les frontières dessinées par le Roi d'Espagne en 1776 ont pour certaines été conservées (frontière Chili-Argentine, frontière Pérou-Bolivie).

Ainsi, et jusqu'en 1776, le Cuyo était gouverné par le Chili, avec lequel de nombreux échanges commerciaux se faisaient à travers les Andes (trocs de bétails notamment). De fait, la création du Vice-royaume de la Plata a transformé Mendoza, qui dorénavant n'est plus à 250 km de sa capitale (Santiago), mais bien à plus de 1000 km (Buenos Aires). Ce fut, jusqu'à l'arrivée du chemin de fer en 1884, une région relativement isolée du reste du pays et qui connut un développement bien spécifique, faisant du Cuyo une région à part.

- **Le cadre mendocino**

Les colons espagnols qui s'installèrent dans le village huarpe en mars 1561 ne rencontrèrent pas de grande résistance de la part des Indiens. L'implantation se fit d'abord en rive droite du *Cacique* (ce bras divergent du río Mendoza, cf. *supra*), donc à l'est sur la *playa*. Mais, à la fin de l'année, le ruisseau déborda. « *Cet endroit est jugé inadéquat et pour éviter d'autres inondations, le Capitaine Juan Jufré procède au transfert de la ville naissante sur la rive gauche du [Cacique], plus élevée mais exposée dès lors directement aux eaux torrentielles descendant du piémont, alors que le [Cacique] constituait une protection en captant ces eaux* » (LAYMOND, 2000). Rebaptisée *Resurección*, la cité retrouva vite son nom de Mendoza, donné par Pedro De CASTILLO, fondateur de la ville, en honneur à son ami Don Garcia HURTADO de MENDOZA, alors Gouverneur du Chili.

Le premier ouvrage hydraulique de Mendoza fut la construction du canal Pucara, qui collectait les eaux des oueds de piémont pour alimenter la ville en eau pour l'usage domestique **(Fig. 17)**. L'aménagement par la suite du *Cacique* en un canal plus moderne et l'édification d'autres canaux d'irrigation entre 1574 et 1605, firent croître l'oasis cultivée jusqu'à atteindre 50 hectares en 1604. La violation régulière des normes quantitatives poussa les autorités à faire voter la « *Alcadia de Aguas* » en 1603, pour légiférer peu à peu la distribution de l'eau. A cette époque, chaque agriculteur organisait son alimentation par une *acequia*[11] dérivée des canaux principaux. Ainsi au XVIIIème siècle, ce sont 160 hectares de terres qui étaient cultivés par les Espagnols, organisés en « *cuarteles* », prémices des *Unidades de manejo* (unités de gestion).

Le développement des moulins pour la farine obligea les Gouverneurs successifs à multiplier les canaux d'irrigation afin d'augmenter la capacité de la force hydraulique.

[11] : Petit canal d'irrigation, le plus souvent urbain.

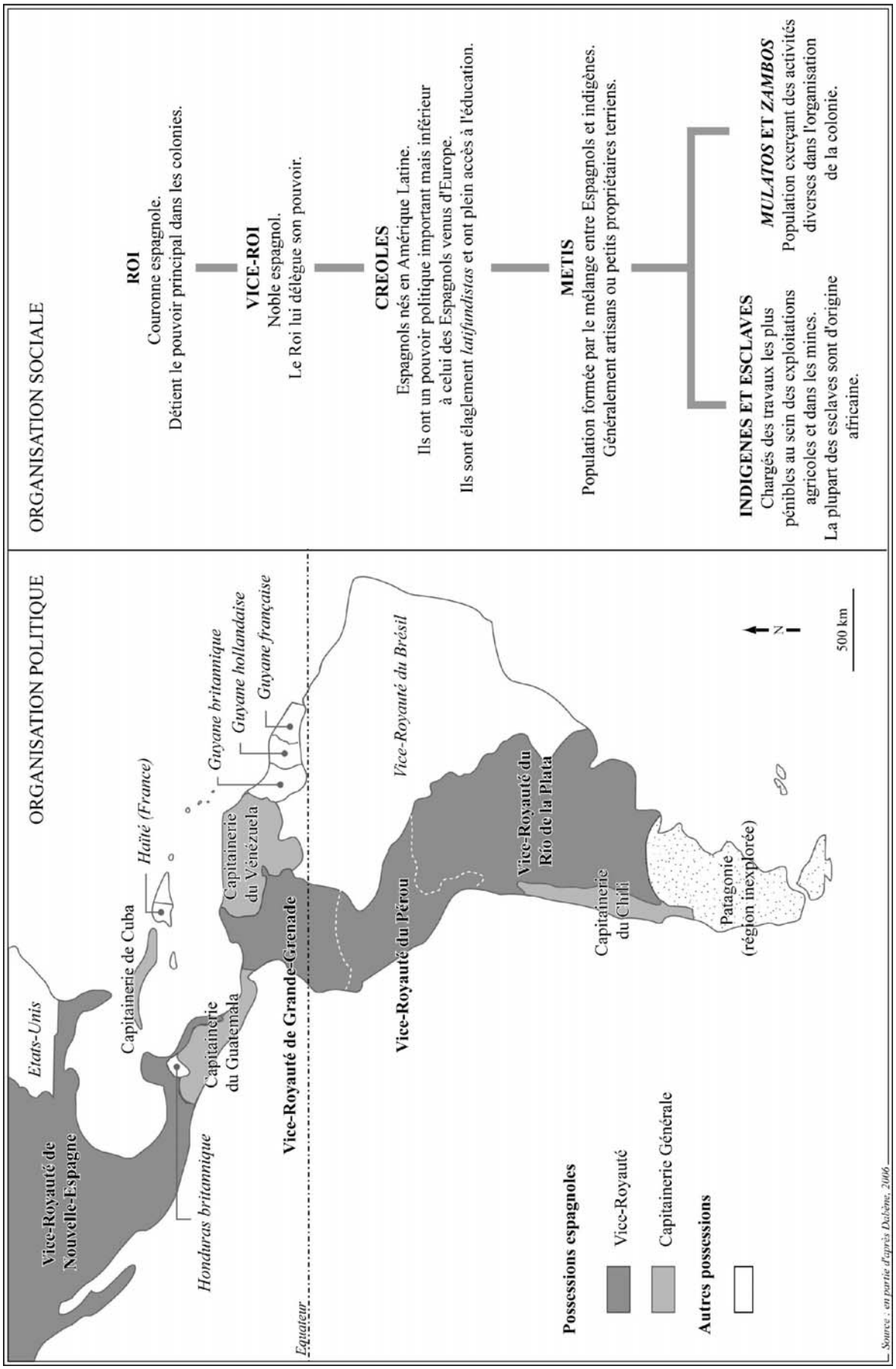


Fig. 16 : Organisation politique et sociale en Amérique Latine espagnole au XVIIIème siècle
Source : Dabène, 2006

Durant les XVIIIème et XIXème siècles, les riches propriétaires d'*haciendas*, comme Pedro MOLINA (1821) et M. PESCARA, construisirent à leurs frais des canaux de dérivations des eaux (canal Chachingo (M. MOLINA) et canal Pescara (M. PESCARA)). « *Ce canal* [Chachingo, NDA]*, comme tous les canaux construits durant le XIXème siècle, dérivant les eaux des ríos provinciaux, furent le résultats de l'effort personnel et privé des agriculteurs de l'époque. Dans cette entreprise, l'Etat n'intervint pas* » (CHAMBOU-LEYRON, 2004). En 1876, furent réalisées les premières infrastructures de distribution de l'eau potable. Des filtres purificateurs ont été installés sur la canalisation de fer qui distribuait l'eau depuis la place principale. Jusqu'en 1884, les connexions aux domiciles ont été rénovées et se sont développées. En 1885, la majorité des édifices publics a été connectée au réseau d'eau potable (GONZALEZ, 2007)[12]. Hors, lors de l'été 1886-87, une épidémie de choléra a obligé les autorités à s'intéresser un peu plus au système d'eau domestique. En effet, les *acequias* servaient à l'irrigation des rues et des champs, de service d'eau potable, mais aussi d'assainissement. Les eaux usées domestiques des uns servaient d'eau potable pour les autres. En 1889, la distribution d'eau potable a été définitivement séparée des autres usages de l'eau (PONTE et CIRVINI, 1998).

1-3-3- « *Les Mexicains descendent des Aztèques, les Péruviens des Incas, les Argentins des bateaux* »

Le début du XIXème siècle est avant tout pour l'Argentine, synonyme d'Indépendance ; et pour Mendoza, synonyme de José SAN MARTÍN.

Tandis que sur le Vieux Continent, Napoléon offrait le trône d'Espagne à son frère Joseph, dans le Nouveau Monde et plus particulièrement dans le Cône Sud, le ressentiment vis-à-vis d'un colon trop oppresseur se développait. En effet, la relation entre les Espagnols et les Créoles et les Métis[13] est assez subtile et relativement compliquée pour être résumée ; mais le sentiment de supériorité des Espagnols « purs » sur les Créoles et la jalousie de ces derniers envers les colons, expliquent en partie le développement d'une idée d'Indépendance. Les Anglais et les Français, installés à Buenos Aires eux-aussi, furent mêlés à cette révolution initiée en 1810 et officiellement terminée en 1816 avec la Proclamation d'Indépendance au Congrès de Tucuman.

L'Argentine libérée du joug de l'oppresseur, il fallait éviter que celui-ci revienne à tout prix. Ceci impliquait qu'il fallait le chasser de toute l'Amérique Latine. Aussi, depuis Mendoza, le Général SAN MARTÍN organisa en 1815 l'Armée des Andes. Il traversa la Cordillère, libéra la Capitale Santiago-du-Chili en 1818 et embarqua à Valparaíso vers Lima pour libérer le Pérou. C'est donc depuis Mendoza que le « *Père de la Patrie* » argentine a libéré les deux Vice-royaumes les plus puissants du Cône Sud.
A Buenos Aires, le Dictateur Juan Manuel de ROSAS entreprit une œuvre de réunification du pays (Plata) entre les **Fédéralistes** (*Gauchos/Criollos*[14] et habitants de l'Intérieur) et les **Unitaristes** (bourgeois de Buenos Aires)[15].

---

[12] : Le texte de Maria Belen GONZALEZ, écrit pour l'Institut de Géographie de Mendoza dans le cadre d'un projet de revalorisation de la culture de l'eau, n'a pour le moment pas été publié en l'état.
[13] : Les Créoles et les Métis sont difficiles à distinguer, le métissage est fort et le schéma présenté en **Fig. 16** est plus complexe en réalité.
[14] : Le *Criollo* est la traduction espagnole du mot Créole, tandis que le *Gaucho* est un Criollo de sexe masculin, gardien de troupeau et surtout combattant de l'Indépendance. Gaucho vient de *guacho*, l'orphelin, le métis rejeté de la société.

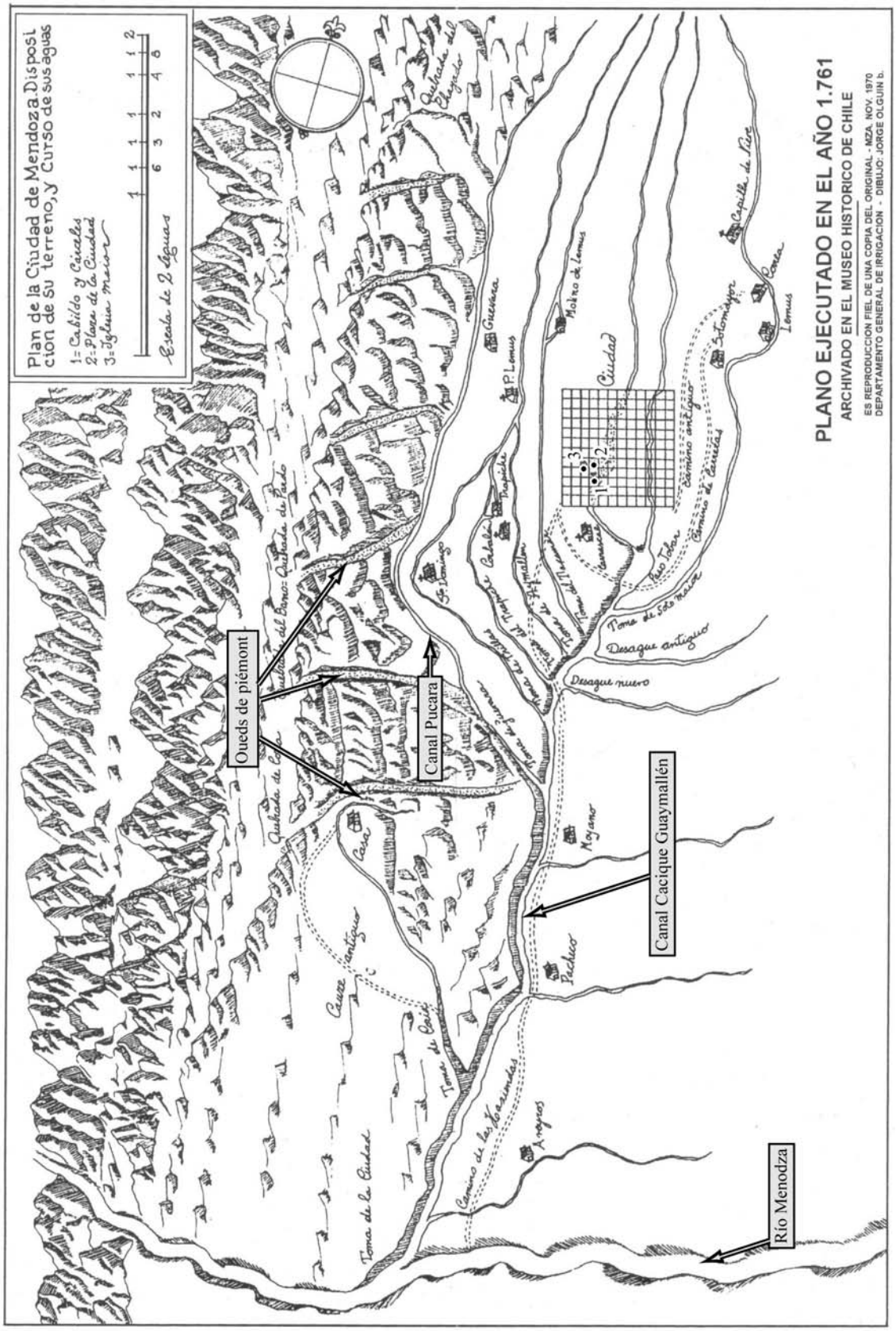


Fig. 17 : Plan de Mendoza datant de 1761
1 : *Cabildo* (Gouvernement) et prisons ; 2 : Place de la ville ; 3 : Eglise principale
Source : Archive du Musée historique du Chili, gracieuseté S. Salatino

[15] : Cette lutte entre Unitaristes et Fédéralistes trouve son pendant dans l'Histoire de France avec les Jacobins et les Girondins. La relation unissant Buenos Aires et son Intérieur correspond aux ressentiments entre Paris et la province, même encore aujourd'hui.

Le point essentiel de la réunification se révéla être la signature en 1831 du *Pacto Federal,* base de la mise en place de l'Etat fédéral argentin[16]. Cet épisode, qui paraît peu important dans l'ensemble de la frise chronologique de l'Histoire argentine est pourtant à l'origine des tensions entre Buenos Aires et l'Intérieur d'une part, et dans la création d'un Etat fédéral d'autre part. Que le lecteur n'aille pas penser que nous faisons là une digression inutile, puisque **les lois gérant la ressource en eau en Argentine** sont fédérales – **provinciales** pour être correcte – (cf. *infra*) et non nationales. La gestion quantitative de la ressource en eau de l'oasis de Mendoza est, sur le plan législatif, issue de cet épisode historique.

Les présidences de Bartolomé MITRE, de Domingo Faustino SARMIENTO, de Nicolas AVELLANEDA et de Julio ROCA, malgré certaines *guerrillas* locales, furent synonymes de paix en Argentine, mais aussi et surtout, de soutien à l'**immigration**. Les XIXème et XXème siècles furent ainsi en Argentine, le théâtre d'arrivées successives de migrants. Vinrent alors des colons d'un autre genre, non pas pour « coloniser le Nouveau Monde » mais pour fuir une Europe en guerre, les dictatures, ou tout simplement pour faire fortune. A Mendoza, l'arrivée du chemin de fer en 1885 (et donc de l'accroissement des flux migratoires) et les initiatives des Elites, mirent fin à la période coloniale dite « initiale » (CHAMBOULEYRON, 2004). Cette époque marqua les débuts de la gestion de la ressource hydrique. Nombreux furent les migrants qui réclamèrent des terres et des droits à irriguer. La multiplication des dérivations de l'eau, depuis n'importe où, **transforma petit à petit l'oasis de Mendoza d'un modèle colonial, en un territoire agricole de type méditerranéen**. Ainsi le Gouverneur[17] BERMEJO créa-t-il le *Departamento General de Aguas* (actuel *Departamento General de Irrigación*, DGI, Département Général d'Irrigation). La loi du 16 décembre 1884 avait comme finalité de ré-administrer la distribution de l'eau et de légiférer la construction d'ouvrages publics… elle consolida de fait la structure des oasis provinciales.

Sous l'impulsion du Gouverneur ORTEGA et surtout de son ministre[18] des Travaux publics VILLANUEVA, l'Ingénieur CIPOLLETTI fut chargé en l'an 1888 de la construction d'un barrage sur le río Mendoza. **Le barrage de Cipolletti** a bien sûr depuis été modernisé, mais il **est resté le point de dérivation principal des eaux du río Mendoza vers l'oasis**. Le développement du modèle agricole méditerranéen ne cessa pas et la demande permanente en terres insuffla la construction d'ouvrages publics dont la plupart datent du premier quart du XXème siècle. Le désir de faire fortune en ne partant de rien développa une formidable capacité de travail au service de la construction du réseau de canaux. En une quinzaine d'années (1885-1900), les initiatives publiques (aucune étatique ou provinciale) ont construit les premiers canaux primaires (*matriz*) et secondaires (*ramas*), dont les tracés ont été conservés. Ces canaux permettaient aussi de délester les ríos d'une partie de la quantité d'eau, puisque les crues fréquentes posaient des problèmes aux cultures et à la ville (destructions partielles). Les Mendocinos doivent ainsi à leurs ancêtres la création d'une méga oasis de 1 150 km².

[16] : L'Amérique Latine a été colonisée par des Etats au départ centralisés, fondés sur la notion de Nation. De fait, le sentiment national reste fort. Néanmoins, ils ont souvent été morcelés en régions (Chili), provinces (Argentine) ou Etats (Brésil). Les pays latino-américains sont généralement fédéraux.

[17] : Le Gouverneur est le responsable de la province. Ce terme est toujours utilisé.

[18] : De même, le ministre ici est celui de la province. Tout au long de cette thèse, nous réserverons les termes de ministre ou de ministère à l'administration provinciale et non pas à l'administration nationale, qui n'entre en rien dans la gestion de l'eau.

***

Dans le désert de sable du Cuyo, vaste dépression enserrée entre les trois cordons andins à l'ouest, et les Sierras de San Luis et de Córdoba à l'est, sont nées des oasis de piémont. Le Cuyo connaît la particularité d'être d'une part abrité des pluies tropicales au nord et des entrées océaniques pacifiques et atlantiques à l'ouest et à l'est. Il est d'autre part soumis à deux vents très secs : le Zonda, effet de fœhn occidental (chaud) et le Pampero, vent patagon austral (froid). Les entrées d'eau sont donc limitées aux précipitations neigeuses et pluviales sur les Andes, qui constituent le bassin d'alimentation des ríos du Cuyo, et à quelques rares tempêtes tropicales, qui provoquent malheureusement des crues quelquefois catastrophiques dans ces espaces imperméabilisés. Au cœur de ce milieu a priori hostile, les populations Huarpes, aidées plus tard par les Incas, ont ainsi créé des oasis, dont celle du río Mendoza. Les colons espagnols ont depuis développé ces oasis via la dérivation des eaux du río dans de multiples canaux d'irrigation, collecteurs d'eaux agricoles et drains. Plus tard, l'arrivée du chemin de fer et donc des migrants, a permis l'accroissement spectaculaire des oasis les plus importantes, grâce aussi à la complémentarité d'une seconde source d'approvisionnement : l'aquifère.

Parmi ces oasis de piémont andin du Cuyo, celle du río Mendoza est sans conteste la plus étendue (1156 km²), la plus peuplée (un million d'habitants), et la plus complexe sur le plan des usages de la ressource, usages variés et parfois peu respectueux de l'or bleu, souvent coupables de gaspillage, et vecteurs de la dégradation de la qualité.

***

Chapitre 2 :

… à une méga oasis…

Au fur et à mesure des besoins de la société, l'oasis s'est trouvée de plus en plus agrandie. Devant la raréfaction de la ressource, le Département Général d'Irrigation (DGI), organe de gestion de la ressource hydrique, a été contraint de ne plus permettre le développement spatial des terres avec droit à l'irrigation. Aujourd'hui, on imperméabilise les canaux les plus rudimentaires, on développe les outils de gestion quantitative, on multiplie les puits… mais on ne « touche » plus à la morphologie même du réseau.

2-1- Un réseau étendu et complexe de systèmes emboîtés

Ainsi, arrêtons-nous sur la cartographie du réseau actuel.

Le río Mendoza est de ce fait coupé dans toute sa largeur par le barrage de Cipolletti et la quasi-totalité de ses eaux est déviée vers ce que l'on appelle le canal Matriz **(Planche photos 1)**, duquel naissent les canaux Cacique Guaymallén et Matriz San Martín à hauteur de Mayor Drummond. A partir d'un réseau dit commun, structuré autour des barrages de Potrerillos, de Compuertas et de Cipolletti, et du canal Cacique Guaymallén, d'autres réseaux se sont développés, accompagnant la modernisation de l'oasis. Ainsi, parallèlement au réseau d'irrigation agricole, principal système, s'articulent d'autres réseaux comme l'AEP (Alimentation en Eau Potable), l'assainissement, etc.

2-1-1- Le réseau énergétique

Pour comprendre les systèmes d'emboîtement des réseaux d'usages, il est nécessaire d'observer, non pas l'oasis seule, mais l'espace du río Mendoza anthropisé, c'est-à-dire depuis le barrage de Potrerillos **(Fig. 21)**.

En amont de l'oasis, entre la Cordillère Frontale et la Précordillère, afin de réguler le débit nivoglaciaire du río Mendoza, a été construit un barrage retenant 450 hm^3 d'eau (en octobre 2006, donnée DGI, en ligne). Le lac de retenue de Potrerillos permet au Département Général d'Irrigation d'alimenter l'oasis en eau, en fonction des besoins de l'agriculture et non en fonction du régime hydrologique de la rivière. Ce barrage, outre sa fonction de régulation des eaux, revêt une fonction hydro-électrique. Sur la rive gauche de la rivière (à droite sur la **Photo a** de la **planche photos 1**), un canal souterrain transporte l'eau vers deux centrales hydro-électriques, celle de *Cacheuta* d'abord, puis celle d'*Alvarez Condarco*. La quasi-intégralité de l'eau est restituée au río en plaine **(Fig. 21)**, via un canal marginal au río Mendoza.

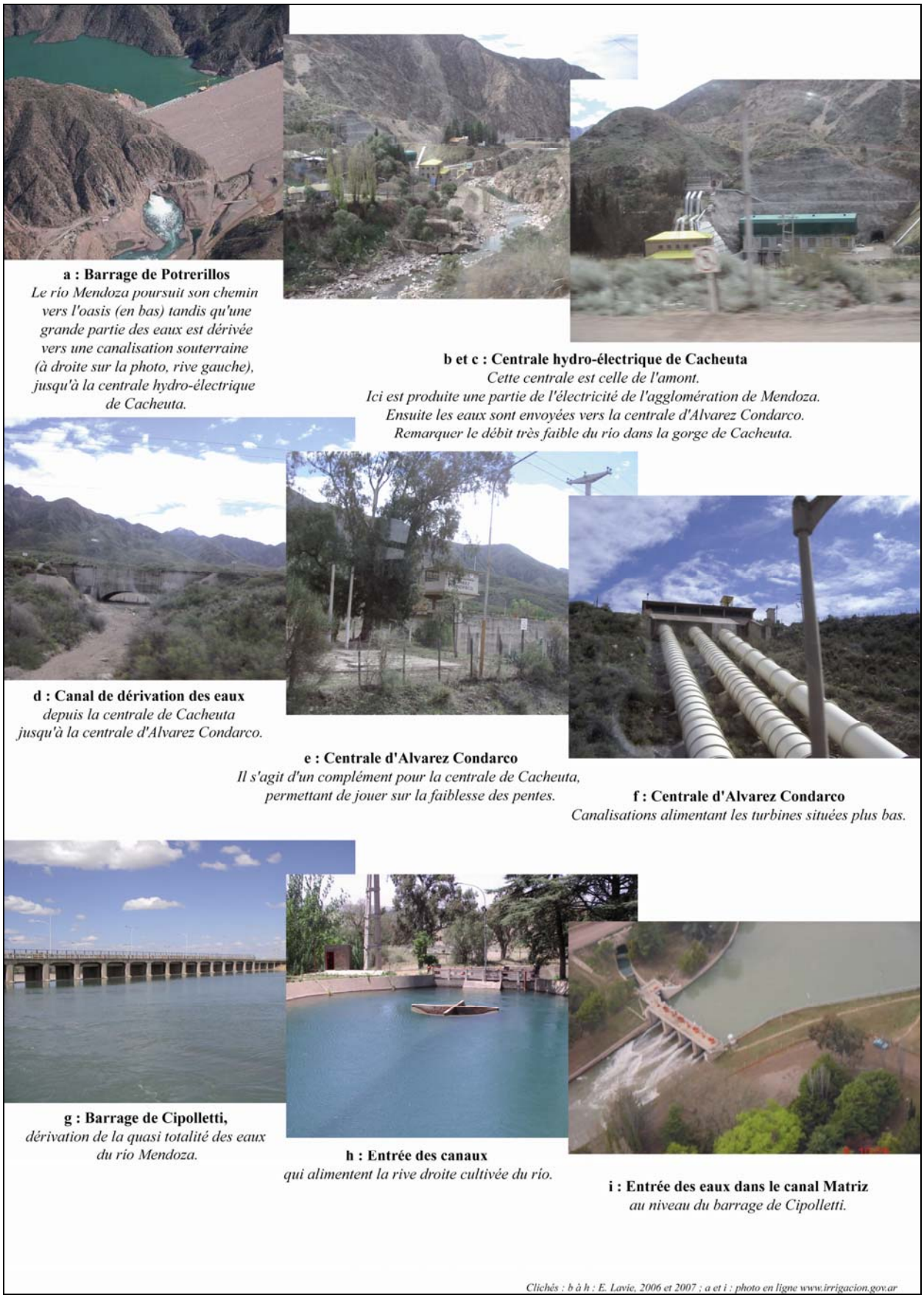


Planche photos 1 : Ouvrages hydrauliques sur le río Mendoza du barrage de Potrerillos au barrage de Cipolletti

Ces deux centrales sont les principales pourvoyeuses d'électricité de l'agglomération, mais il faut leur ajouter la petite centrale San Martín, située sur le canal Matriz. Cette centrale n'a pas assez de hauteur de chute pour être une installation de premier plan, mais elle sert de relais intéressant en cas de panne en amont.

Le système du río Mendoza produit 48 % de l'énergie hydro-électrique de la province, ce qui n'est pas suffisant pour alimenter l'agglomération du *Gran Mendoza* et ses 950 000 habitants. D'autres centrales sont construites plus au sud, notamment sur le río Atuel au sud de la province (SALOMON, 2007 et LAVIE, 2007b), mais le complément est surtout assuré par la **Centrale Thermique** de Luján[19]. Cette centrale, située en rive gauche du fleuve à hauteur du barrage de Compuertas, utilise l'eau du río Mendoza pour le refroidissement des machines et ne la restitue pas au río Mendoza, mais la distribue à trois stations AEP.

2-1-2- Le réseau domestique

- **l'AEP** (Alimentation en Eau Potable). La Centrale Thermique de Mendoza (CTM) utilise l'eau du río Mendoza pour refroidir les appareils de production d'électricité et renvoie cette eau un peu réchauffée vers deux canalisations souterraines passant sous le río au niveau du barrage de Cipolletti, pour alimenter trois stations AEP. Il s'agit de la station de la municipalité de Luján de Cuyo[20], qui gère son système de distribution d'eau potable, et de deux stations appartenant à l'entreprise *Obras Sanitarias de Mendoza SA* (OSM.SA.), appelées Luján I (1972) et Luján II (1983). Ces stations AEP possèdent une source d'eau du río alternative, située au niveau du barrage de Cipolletti. Les stations reçoivent donc en général de l'eau captée dans le río avant la raffinerie de pétrole ; elles sont donc peu soumises à ce risque de contamination de la ressource **(Fig. 18)**.

Une partie de l'eau déviée au niveau du barrage de Cipolletti entre dans le canal *Cacique Guaymallén*, canal principal de l'oasis. Une dizaine de kilomètres en aval, au niveau de la *compuerta*[21] Carrodilla, une partie de l'eau est déviée vers une petite station AEP appelée Benegas qui alimente une partie de la ville de Godoy Cruz, mais la plus grande partie est envoyée via le canal Civit (à ciel ouvert) vers la station AEP Alto Godoy située dans le Parc San Martín, à l'ouest de la ville **(Fig. 18)**.

De fait, la municipalité de Luján traite une partie de son eau potable et achète l'autre partie à la station Luján II. Elle gère seule la distribution vers les foyers. OSM.SA. traite l'eau pour les municipalités de Godoy Cruz, Capital (Mendoza-centre), Las Heras et Guaymallén. La station Luján I traite un peu plus de 13 000 l/s, envoie 200 l/s comme renfort à la station Benegas et le reste à la station Alto Godoy. La station de Potrerillos, située en montagne, capte l'eau du río Blanco (affluent du lac de Potrerillos), la traite plus sommairement que les autres stations et l'envoie vers la même canalisation qui relie Luján I à Alto Godoy. Cette station Alto Godoy traite 7 000 l/s et, en tant que point d'altitude (850 m), redistribue l'eau des trois stations (Alto Godoy, Luján I et Potrerillos) vers les foyers du *Gran Mendoza*.

---

[19] : La Centrale Thermique de Mendoza (CTM) est installée dans le complexe pétroléo-gazier de Luján (PIP), plus souvent appelé « Distillerie » ou « Raffinerie » puisque c'est son activité principale.

[20] : La station de traitement AEP de la municipalité de Luján sera appelée Municipalidad de Luján, pour faciliter la distinction entre la municipalité et sa station.

[21] : *Compuerta* est le nom donné aux barrages situés au niveau des canaux. Ce sont en réalité des portes-écluses, de petits barrages. Pour plus de commodité, nous utiliserons le mot espagnol *compuerta*.

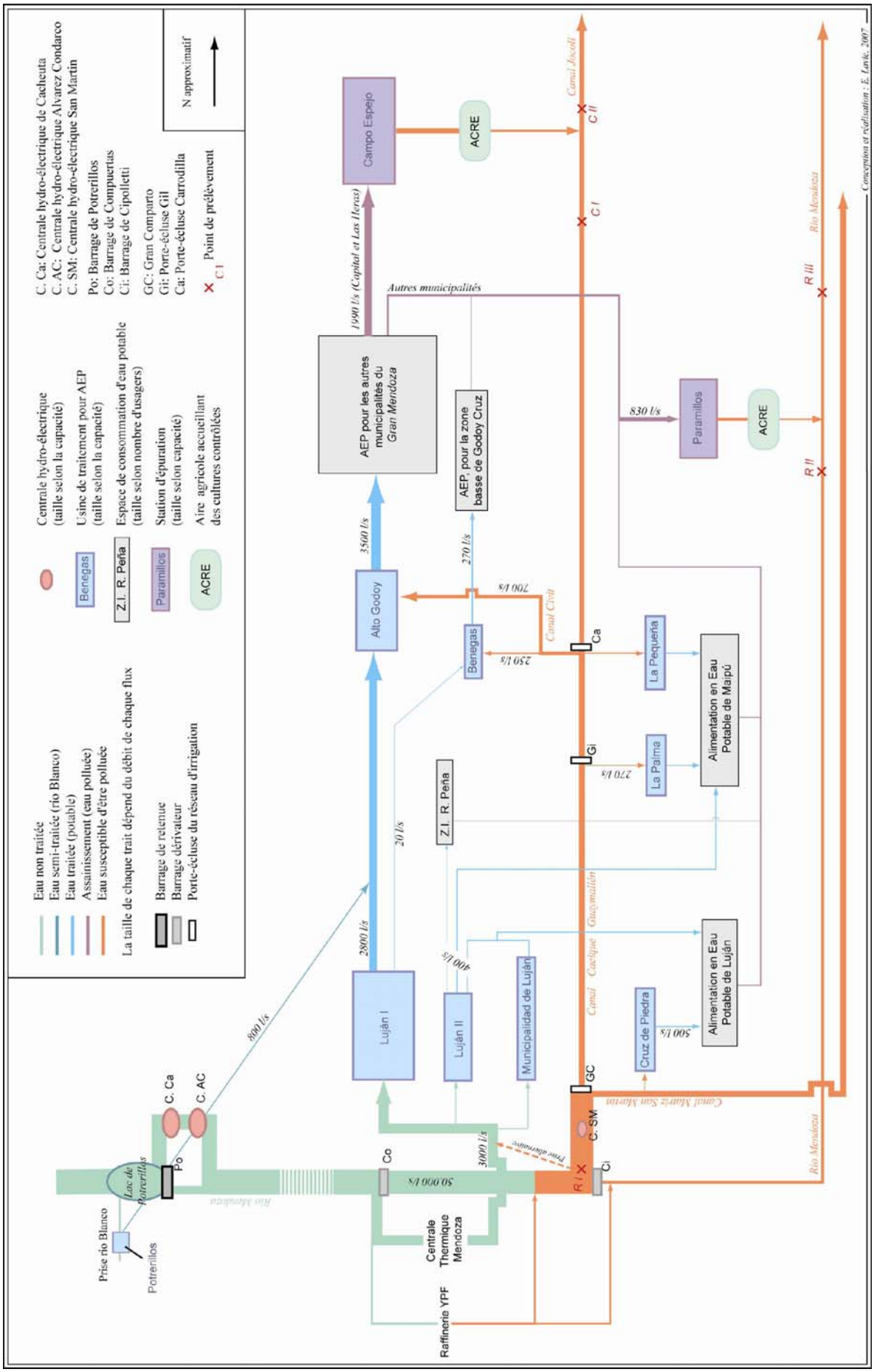


Fig. 18 : Système de traitement, de distribution et de collecte des eaux domestiques du *Gran Mendoza*

Source : élaboration propre, en partie d'après indications de Carlos Jara, chef d'opération de la station Luján I

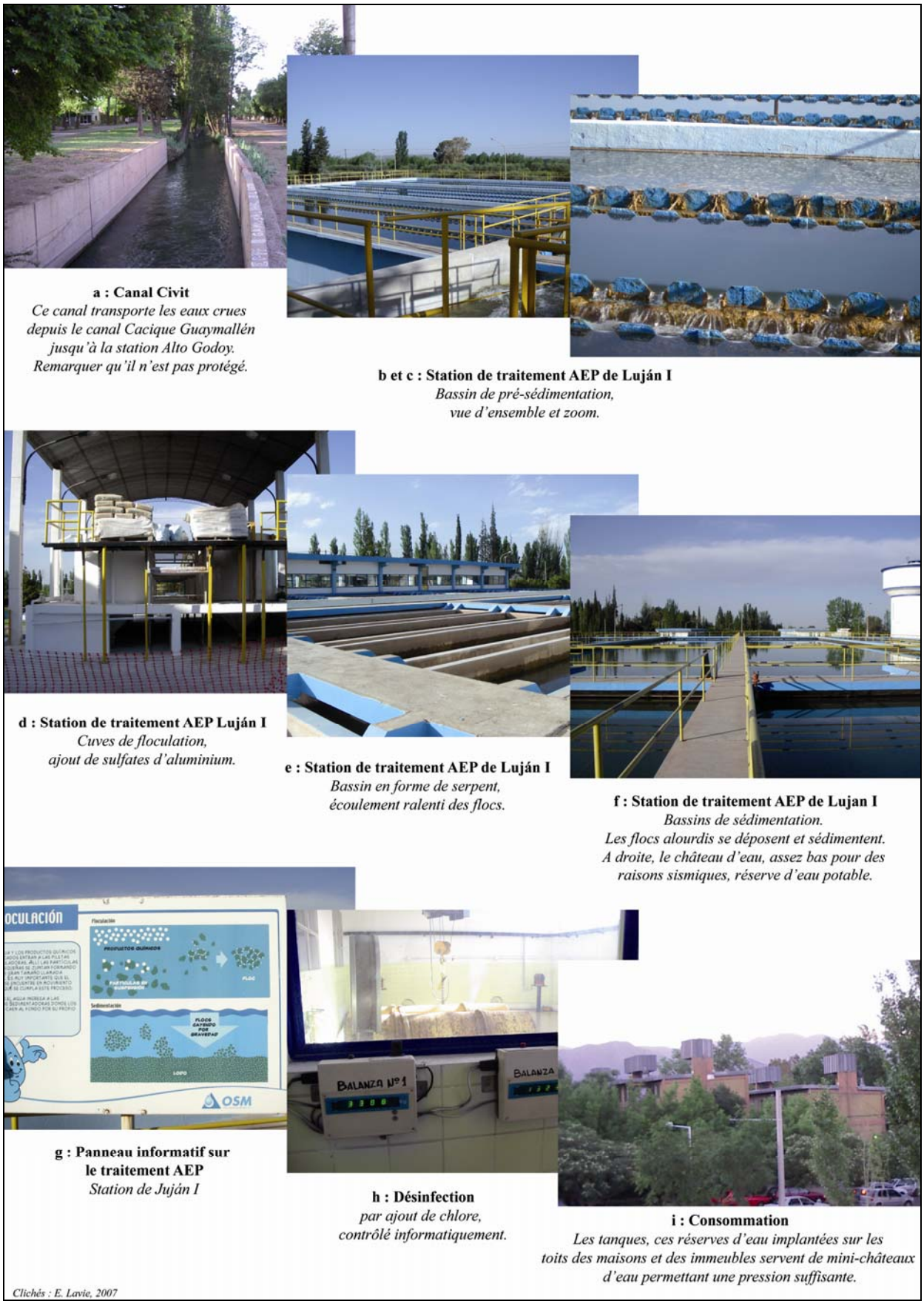
La municipalité de Maipú, élue meilleur gestionnaire de l'eau domestique d'Argentine, gère comme Luján son système de distribution d'eau potable. Elle possède trois petites stations (La Pequeña, La Palma et Cruz de Piedra), alimentées par les eaux des canaux Cacique Guaymallén et San Martín, mais elle achète aussi, comme Luján, de l'eau de Luján II à OSM.SA.

A ce système d'approvisionnement par dérivation d'eau superficielle (90,51 % en 1995, DGI, 1997), il faut ajouter 440 l/s captés dans trente et un forages situés dans tout le *Gran Mendoza*. Certains de ces forages appartiennent à des Opérateurs de Gestions Communautaires, il s'agit de puits privés, non reliés à la concession d'OSM.SA. au moment de la privatisation. D'autres puits appartiennent à OSM.SA. et sont utilisés comme renforts au système superficiel, notamment dans les bourgs ruraux. Ces forages de plus de 300 m de profondeur pompent de l'eau mais ne la traitent en général pas (Ing. CHAMBOULEYRON, communication personnelle).

Enfin, l'oasis de se résume pas au seul *Gran Mendoza*, puisque la municipalité de Lavalle occupe une grande partie des terres cultivées. L'AEP des bourgs ruraux de Lavalle est partagée entre des perforations d'OSM.SA. comme dans les districts de *Villa Tulumaya* (Lavalle-Centre), *Jocoli* ou *Tres de mayo*, et des forages privés. Au total, seules quinze perforations existent sur le territoire municipal (DGI, 1997), pour un total de 4,8 l/s, 100 % de l'eau potable de Lavalle est souterraine.

En conséquence, si les zones rurales sont alimentées en eau potable via un réseau de forages en aquifère profond, la plupart des foyers urbains reçoivent de l'eau provenant des deux grandes usines OSM.SA. **(Planche photos 2)**. A la Société privée OSM.SA. sont conduits les volumes d'eau dérivés du río Mendoza avant de subir une **pré-sédimentation**. Lors de cette première étape, l'eau passe de bassins en bassins et se décharge par **décantation** des éléments les plus lourds, qui se déposent au fond. La deuxième étape consiste en l'agrégation des molécules chimiques (flocs) afin d'augmenter leur taille et leur poids et ainsi faciliter leur dépôt au fond des bassins. Pour ce faire, OSM.SA. ajoute à l'eau du sulfate d'aluminium. L'agrégation est facilitée par la troisième étape, la **floculation** : en effet, un canal en forme de serpent de plus en plus étroit et à l'écoulement très ralenti apporte l'eau vers un bassin de sédimentation où les flocs alourdis se déposent. L'écoulement à nouveau très ralenti de l'eau, l'amène dans un bassin de **filtration**. Là, l'eau est filtrée par une série de tamis de sables, de graves et de pierres pour la laver des dernières particules solides. Cette étape dure une trentaine d'heures. Enfin, la dernière étape est biologique, il s'agit de la **désinfection** par ajout de chlore sur quatre heures. L'eau consommable est conservée dans des citernes dans l'attente de la demande domestique. Mendoza ne dispose pour son agglomération, que d'une réserve en eau potable de seulement trois heures, c'est dire la catastrophe sanitaire qui aurait lieu si une pollution accidentelle survenait dans le río Mendoza, principal pourvoyeur d'eau d'OSM.SA. Ceci implique aussi que lorsqu'un problème survient, certains quartiers sont privés d'eau potable durant quelques heures à quelques jours.

Le système de traitement de l'eau de rivière pour des besoins en eau potable paraît bien organisé. Cependant, en ce qui concerne certains éléments comme les métaux lourds, le coût conséquent de l'analyse limite l'évaluation de leurs concentrations. L'évaluation de l'efficacité de l'usine est tout aussi difficile. De même, l'élimination des bactéries par le seul ajout de chlore n'est absolument pas suffisante. De fait, l'OSM.SA., peut-être dépassée par la problématique bactériologique, a recourt de plus en plus souvent à ce procédé, si bien que l'eau du robinet a fort goût et odeur de javel.



a : Canal Civit
Ce canal transporte les eaux crues depuis le canal Cacique Guaymallén jusqu'à la station Alto Godoy. Remarquer qu'il n'est pas protégé.

b et c : Station de traitement AEP de Luján I
Bassin de pré-sédimentation, vue d'ensemble et zoom.

d : Station de traitement AEP Luján I
Cuves de floculation, ajout de sulfates d'aluminium.

e : Station de traitement AEP de Luján I
Bassin en forme de serpent, écoulement ralenti des flocs.

f : Station de traitement AEP de Lujan I
Bassins de sédimentation. Les flocs alourdis se déposent et sédimentent. A droite, le château d'eau, assez bas pour des raisons sismiques, réserve d'eau potable.

g : Panneau informatif sur le traitement AEP
Station de Juján I

h : Désinfection
par ajout de chlore, contrôlé informatiquement.

i : Consommation
Les tanques, ces réserves d'eau implantées sur les toits des maisons et des immeubles servent de mini-châteaux d'eau permettant une pression suffisante.

Clichés : E. Lavie, 2007

Planche photos 2 : Traitement et adduction d'eau potable

Elle est souvent peu agréable à consommer. Les Mendocinos pallient cette gêne en laissant reposer l'eau du robinet dans des bouteilles plastiques ou des carafes pendant quelques heures avant de la boire, puisque si le chlore ne part pas, l'odeur et le goût s'effacent un peu.

- **L'assainissement**. Ce réseau est également souterrain **(Fig. 21)**. Les eaux cloacales des foyers de l'agglomération sont transportées vers deux stations d'épuration par lagunage. Au nord, celle de Campo Espejo et à l'est, celle de Paramillo **(Fig. 18)** traitent à elles seules, et via des bassins d'épuration (et non un traitement chimique), la totalité des eaux résiduelles urbaines (950 000 habitants). A Campo Espejo parviennent les eaux usées de Las Heras et de Capital, à Paramillo celles des autres départements. L'une comme l'autre ne sont pas des stations par boues activées comme on pourrait le penser[22]. Le *Gran Mendoza* qui concentre 950 000 habitants, ne dispose que de deux stations d'épuration par lagunage ; cela est nettement insuffisant pour espérer épurer de façon satisfaisante les eaux domestiques de près d'un million d'habitants.

Ces stations possèdent différents types de bassins de décantation **(Planche photos 3)** :

- des lagunes anaérobiques qui reçoivent la majorité de la matière organique et où les eaux sont assez obscures. La dégradation de la matière organique se fait par bactéries anaérobiques ;

- des lagunes aérobiques ou de maturation où la décomposition a lieu en milieu aérobique, c'est-à-dire que l'oxygène dissous favorise le développement et la multiplication d'algues qui vont épurer les eaux.

- des lagunes mixtes qui mêlent les deux types de procédés.

La Société OSM.SA. avoue que les eaux en sortie de ces bassins de décantation sont assez chargées en potassium, phosphore, nitrates et matières organiques, ce que nous confirmerons suite à notre diagnostic hydro-qualitatif (Parties II et III).

Il existe deux autres stations d'épuration à l'aval de l'oasis qui collectent les eaux de la municipalité de Lavalle (Villa Tulumaya et Costa del Araújo). Elles sont situées en aval de l'oasis, traitent uniquement les eaux des bourgs ruraux (*Villa Tulumaya* (bourg de Lavalle), *Nueva California*, *Costa del Araújo*, *Jocoli*, *Gustavo Andre…*), elles possèdent des bassins sans traitement.

Dans les zones rurales, les maisons disposent en principe de fosses septiques. Des camions viennent vider les boues et les transportent en théorie vers les stations d'épuration de Campo Espejo et de Paramillo. En pratique, de nombreux riverains de haute montagne ont porté réclamation auprès de la municipalité de Las Heras, accusant les camions de sociétés privées et d'OSM.SA. de rejeter ces effluents domestiques directement dans le río Mendoza. De même, nous avons par trois fois surpris des employés d'entreprise de vidange de fosses septiques, vider le contenu de leur camion dans une trappe d'aération du collecteur du réseau d'assainissement domestique **(Planche photos 4)**. Cet égout conduit les effluents de l'agglomération à la station d'épuration de Paramillo. Le problème, c'est que cette trappe est située en pleine zone péri-urbaine, sur un chemin reliant un quartier à l'école communale. Elle n'est protégée de rien, souvent elle n'est pas fermée. De nombreux enfants passent à côté de cette trappe en allant à l'école à pied et sont exposés aux maladies et aux odeurs.

[22] : Par exemple en France, les communes de plus de 10 000 habitants doivent être reliées à une station par boues activées, tandis que seules celles entre 2 000 et 10 000 habitants peuvent se contenter de stations par lagunages.

a : Entrée de la station d'épuration d'El Paramillo

b : Lagune d'épuration des eaux usées domestiques de Paramillo

c : Lagunes de Paramillo vues d'avion

d et e : Canaux de restitution des eaux usées traitées par les stations d'épuration, au réseau hydrographique
A gauche, rejet de la station d'El Paramillo dans un drain agricole puis au río Mendoza ;
à droite, celui de la station Campo Espejo dans le canal Jocoli.

f : ACRE Paramillo
Cette Aire de cultures restreintes spéciales est exclusivement irriguée par les eaux sorties de la station d'épuration.

Clichés : a, b, d, f : INA, CELA ; c et e : E. Lavie, 2007

Planche photos 3 : Le traitement collectif des effluents domestiques

a et b : Camions sanitaires versant les boues domestiques
Ces camions vont chez les habitants vider les fosses septiques des boues accumulées, et ont l'autorisation de les verser dans une canalisation souterraine reliant les bourgs de Maipú, Guaymallén, Godoy Cruz et Luján à la station d'épuration de Paramillo. Or, cette canalisation est accessible par une trappe située dans un chemin du quartier de Corralitos (Guaymallén), que les enfants empruntent matin, midi et soir pour se rendre de leur domicile à l'école.

c et d : Trappe non refermée
Nous n'avons pas ouvert la trappe, elle est systématiquement ouverte, personne ne nettoie les boues échappées sur le chemin, laissant à l'air libre les bactéries des boues domestiques.

Clichés : E. Lavie, 2007

Planche photos 4 : Un exemple de manque de conscience du risque sanitaire

2-1-3- Les réseaux urbains

- **Le système de protection contre les crues**. La ville de Mendoza est située au contact entre les *glacis* et la *playa*. Ces glacis sont « striés » de dizaines de petits oueds qui, lors des pluies intenses, se transforment en véritables courants de boue. Ces *glacis* étant en amont de la ville, les torrents se déversent en zone urbaine, vers le nord-est, dans le sens de la pente naturelle. Le système de protection contre les crues à Mendoza, est constitué, pour chacun des quatre oueds principaux : d'un barrage écrêteur de crues et d'un collecteur d'eau qui traverse la ville, jusqu'au Canal Cacique Guaymallén. Ces collecteurs ont une (plus rare) deuxième fonction, celle de canal d'irrigation lorsque les oueds sont en eaux. De fait, ils sont construits selon le modèle des canaux d'irrigation, à savoir qu'ils se rétrécissent vers l'aval ; le rôle premier d'évacuateur est donc limité. Il mérite de se référer au travail de LAYMOND (1999) pour de plus amples informations sur les équipements de protection face aux crues **(Fig. 19)**. Pour éviter les confusions entre canaux ou collecteurs d'irrigation ou de crues, nous utiliserons de manière systématique le mot ***zanjón*** pour les collecteurs de crues **(Planche photos 5)**. Ainsi, du nord au sud, se trouvent le *zanjón* de Las Heras, le *zanjón* de los Ciruelos, le *zanjón* Frias, le *zanjón* Maure, le *zanjón* Chacras de Coria, le *zanjón* Viamonte…

- **L'irrigation publique**. Mendoza étant une oasis urbanisée, l'irrigation est un système complexe qui dépasse la seule finalité agricole classique. Effectivement, l'ensoleillement est fort en été (lequel dans les faits dure près de six mois) et l'absence de vent rend le quotidien vite étouffant. Les rues sont donc bordées d'arbres qui ombragent efficacement la ville. Les *acequias*, réseau capillaire de canaux urbains, de 4 000 km (recensement 2005) en totalité, ont pour finalité d'irriguer les arbres. Précisons que les parcs et jardins sont alimentés en eau soit par canalisation AEP, soit par *acequias*, soit arrosés au moyen de camions-citernes. Par exemple, le grand Parc San Martín, à l'est de la ville, est alimenté en eaux par le canal Civit, canal dont la seconde fonction est d'approvisionner l'usine OSM.SA. Alto Godoy.

L'*acequia*, au départ, n'avait pas la même morphologie que les canaux à vocation agricole, il s'agissait d'un fossé à fond imperméabilisé et dont les côtés étaient tapissés de galets **(Planche photos 6)**. De cette manière, les racines des arbres (souvent des platanes) pouvaient par capillarité puiser l'eau nécessaire. De plus en plus, les *acequias* sont construites (ou modifiées après coup), selon un nouveau mode : le bord « coté-route » est imperméabilisé en totalité, le bord « coté-trottoir » est imperméabilisé de manière discontinue, c'est-à-dire avec deux mètres cimentés et un mètre de terre, etc. Néanmoins, le sol, directement sur l'*acequia*, n'est pas retenu et s'effondre peu à peu, laissant les racines à nu et l'arbre dépérir. Aujourd'hui, parce que ces canalisations ouvertes au cœur de la ville provoquent des accidents, on couvre de plus en plus les *acequias*, les protégeant ainsi contre la pollution urbaine, mais cela limite leur nettoyage et surtout leur pouvoir de mini-collecteurs de crue **(Planche photos 6)**.

Il faut savoir que les trois réseaux étudiés (irrigation agricole, urbaine et protection des crues) sont liés. En effet, les *acequias* se déversent dans les collecteurs de crue (*zanjones*) et le canal Cacique Guaymallén, et trois des quatre *zanjones* s'écoulent eux-aussi dans le Cacique Guaymallén. Le canal Cacique Guaymallén est ainsi le réceptacle de la grande majorité des eaux urbaines.

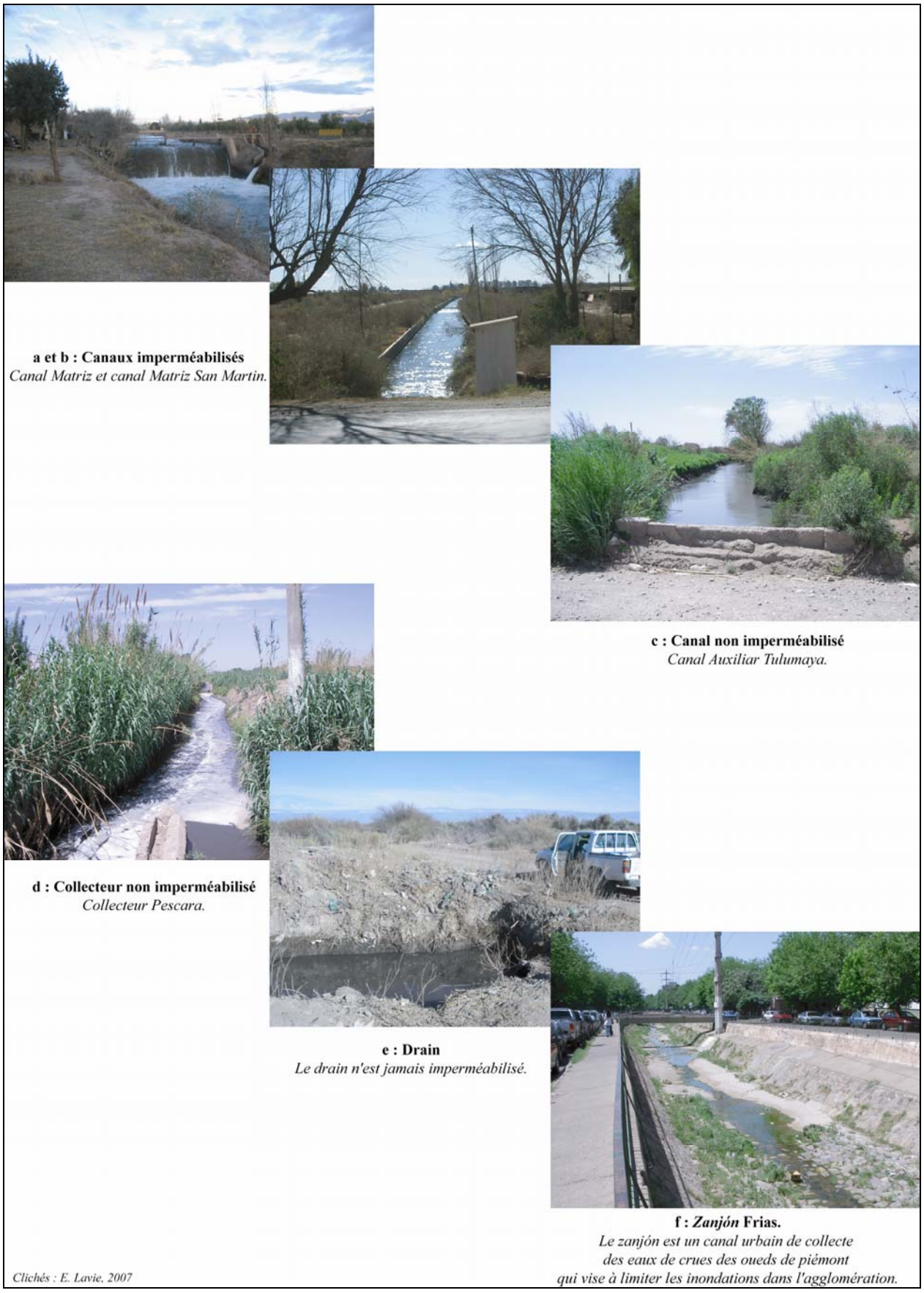


Planche photos 5 : Infrastructures d'irrigation agricole et de collecte des eaux

Planche photos 6 : Infrastructure d'irrigation urbaine

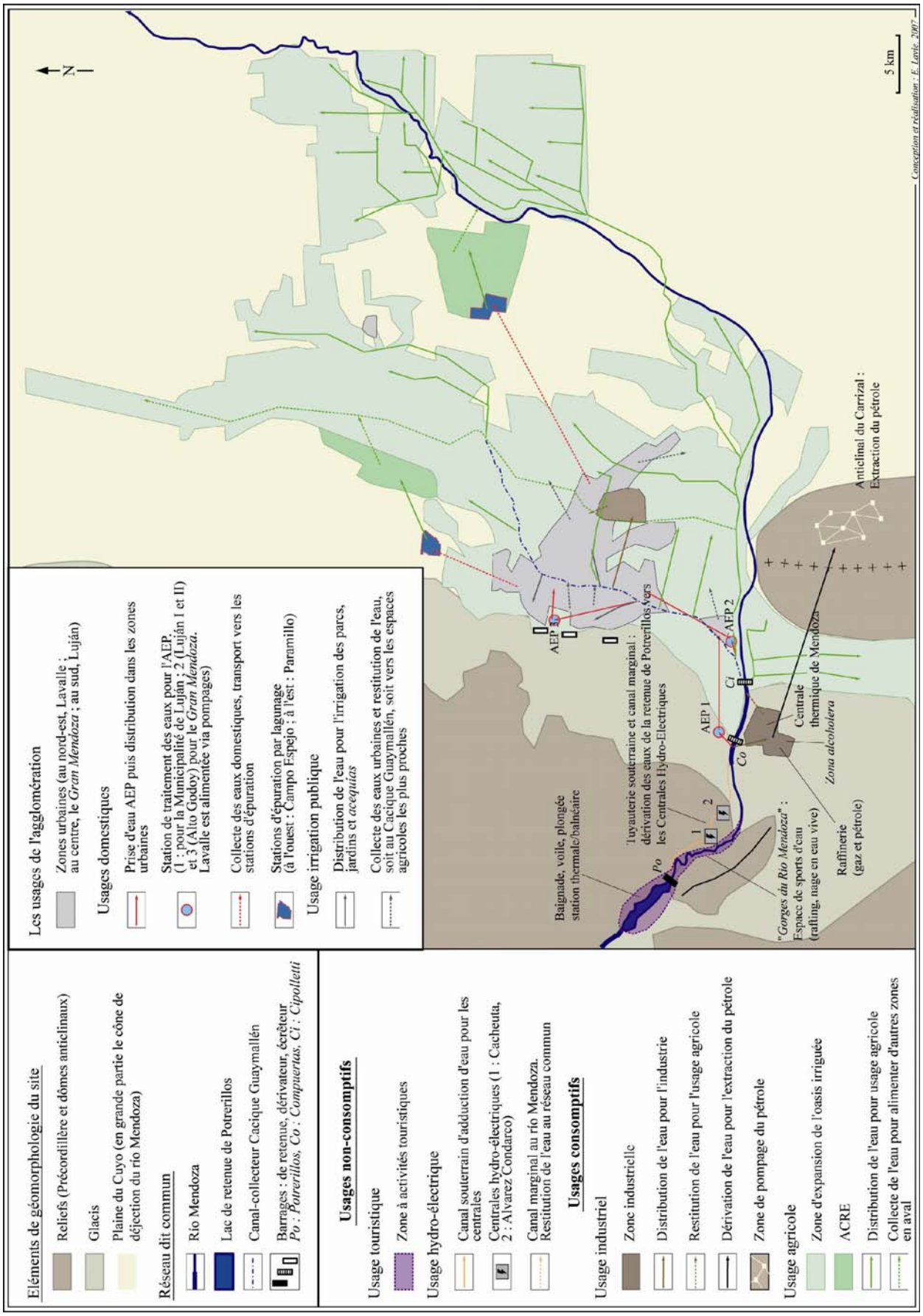


Fig. 19 : Les réseaux emboîtés de distribution et d'évacuation des eaux dans l'oasis de Mendoza

2-1-4- Le réseau industriel

L'industrie mendocina est axée sur une double orientation industrielle, issue des deux ressources principales formant les deux secteurs primaires de Mendoza : agriculture et minerais. D'abord, l'histoire veut que l'**orientation agricole** ait été privilégiée. La mutation d'une cité indienne en oasis coloniale, puis en oasis moderne méditerranéenne, a considérablement impulsé l'économie mendocina. L'activité agricole s'est accompagnée du développement d'industries de transformation des ressources culturales. En effet, d'abord les *bodegas* puis les conserveries ont poussé dans des zones industrielles en périphérie du centre. C'est par exemple le cas de la *Zona alcoholera*[23], espace industriel spécialisé dans la production de boissons alcoolisées avec en premier lieu le vin, mais aussi la bière.

Mais l'agriculture n'est pas l'unique matière première dont dispose Mendoza. Ce secteur de contact entre bassin secondaire sédimentaire et massif jeune, recèle des gisements de minéraux, parfois précieux comme l'argent, de roches intéressantes pour le bâtiment comme le gypse (plâtre) et surtout des hydrocarbures. Les **minerais** ont depuis longtemps été exploités à Mendoza, mais l'augmentation considérable de la valeur du pétrole depuis les années 1970, a permis un développement effréné de l'industrie des hydrocarbures à Mendoza.

Ces industries de transformation de la matière première nécessitent de l'eau peu turbide afin de nettoyer les outils, les ateliers… mais aussi pour refroidir les machines. La zone pétroléo-gazière de Luján (PIP pour Parc Industriel Provincial), où est également implantée la Centrale Thermique (cf. *supra*)) est la seule zone industrielle alimentée par le barrage de Compuertas. Les autres zones reçoivent l'eau des canaux agricoles[24]. C'est le cas de la zone de Las Heras au nord de la ville, ou du complexe industriel Pescara (*Zona alcoholera*). Celui-ci est alimenté par les eaux du canal Naciente ou du collecteur Pescara, dans lequel il déverse ses effluents (cf. *infra* partie II). Le problème de ces zones industrielles est qu'elles sont implantées en périphérie du centre-ville et que l'agglomération a grandi. Elles sont donc en contact direct avec les populations « banlieusardes ». Un autre problème est celui de l'**évaluation des quantités** utilisées par ces industries. En effet, alimentées par le réseau agricole, leur usage est comptabilisé parmi les usages agricoles et non dans les usages industriels.

Enfin, il est un usage industriel sur lequel nous n'avons que très peu d'information : l'extraction du pétrole[25]. Dans le dôme anticlinal du Carrizal et dans le synclinal du même nom, de l'eau du río et de l'aquifère est envoyée en profondeur (environ 3 000 m) afin de faire remonter le pétrole **(Fig. 21)**. Une fois ce mélange d'eau et de pétrole en surface, une « *batterie de purge* » située à *Barrancas* sépare les deux fluides. Le pétrole est conduit par canalisations souterraines jusqu'à la raffinerie tandis que l'eau, pour ne pas polluer l'espace agricole, est renvoyée en profondeur (3 000 à 4 000 m), mais chargée d'une minéralisation extrêmement élevée (65 000 µS/cm : Ing. Eduardo COMELLAS, INA-CRA, communication personnelle) **(Fig. 65)**. La raffinerie du Parc Industriel Provincial, inaugurée en 1940, a une capacité de transformation de 6,4 millions de m^3 annuels.

---

[23] : *Alcoholera* n'a pas de traduction directe en français, on le traduirait maladroitement par « alcoolière » ou zone de production d'alcool, nous utiliserons donc le mot castillan.
[24] : Quelques très rares entreprises utilisent l'eau potable.
[25] : Nous avons choisi de classer l'activité d'extraction et de transformation des hydrocarbures dans les usages industriels et non dans les usages énergétiques. L'usage énergétique (cf. *supra*) concerne avant tout l'alimentation électrique de l'oasis.

2-1-5- Un réseau à finalité avant tout agricole

Tous les réseaux évoqués ci-avant se greffent sur un réseau commun, construit par et pour les agriculteurs : il s'agit du réseau primaire. Ce réseau est la base du système superficiel artificiel. Les agriculteurs ont construit leur infrastructure d'alimentation. La ville ayant grandi, les activités se sont multipliées et le réseau agricole n'est plus le principal usager. En revanche, toute l'eau utilisée par les activités énergétiques, domestiques et industrielles, est ensuite réutilisée par l'agriculture. Au final, sur le réseau agricole primaire se sont greffés d'autres réseaux, créant deux systèmes d'irrigation agricole : le réseau primaire et le réseau de réutilisation des effluents (agricoles, industriels et domestiques).

On cultive à Mendoza des fruits et légumes, qui alimentent le marché local en produits frais, ou qui sont transformés dans les zones industrielles. On trouve des légumes dans toute l'oasis, mais la zone d'exsurgence de la nappe phréatique est le secteur privilégié (zones agricoles 2 et 3). C'est ce que l'on nomme la ceinture maraîchère de Mendoza ou ceinture verte. La ceinture maraîchère est aussi ponctuée de cultures fourragères pour les rares élevages. La plante fourragère la plus cultivée ici est la luzerne. Enfin, les cultures méditerranéennes occupent la plus grande partie de la surface cultivée, notamment les oliviers, la vigne et les vergers. Les oliviers sont cultivés pour le pressage, les vergers produisent des fruits à mettre en conserves, et la vigne est le secteur agricole par excellence. Deux types de culture de la vigne se distinguent : le *parral* et l'*espaldero*. Le *parral* correspond à la culture sur treille, en hauteur **(Planche photos 7)**. Longtemps privilégié pour son haut rendement à l'hectare, il a été délaissé au profit de la culture en *espaldero* (en espalier, celle utilisée dans le Bordelais), dont le rendement est moindre mais la qualité sucrière du raisin, plus exposé au soleil, est supérieure. Depuis peu, certains *bodegas* reviennent au *parral* puisqu'il protège les sols de l'érosion par une couverture plus importante. Il est surtout gardé pour le tourisme car plus apprécié esthétiquement.

Quant à l'élevage, il n'est pas très présent, mais comme certains travaux agricoles sont faits par traction animale dans les *fincas* (domaine agricole) les moins développées, on trouve quelques élevages de chevaux ou de bœufs.

- **Le réseau agricole primaire**

Ainsi, à partir du barrage de Cipolletti, le canal Matriz se divise très vite en deux canaux principaux : le canal Cacique Guaymallén, de direction sud-nord, sur la ligne de faille, et le Canal Matriz San Martín, de direction ouest-est. Ces deux canaux principaux (*matriz*) sont eux-mêmes divisés en canaux secondaires (*ramas* : Jocoli, Tajamar), tertiaires (*hijuelas*) et quaternaires (*ramos*). Ces canaux d'irrigation sont quelquefois imperméabilisés et alimentent donc les zones agricoles (au nombre de 6) en eau. En principe, ces canaux ne reçoivent pas d'autre eau que celle déviée au barrage de Cipolletti ; seule une partie de la zone 1 est alimentée par le canal de Compuertas, dont la prise d'eau a lieu quelques centaines de mètres en amont du barrage du même nom.

Nous nommerons « primaires » les zones agricoles qui reçoivent de l'eau directement depuis les barrages. Les autres zones sont des espaces de réutilisation d'effluents. Il s'agit de la plus grande partie de la zone 1 (rive gauche comme rive droite), du sud des zones 2 et 3, et de l'intégralité des zones 5 et 6. A l'exception de la zone 1 et d'une partie de la zone 2, ces zones primaires sont dépendantes du canal Matriz San Martín qui revêt l'avantage de ne recevoir aucun effluent domestique.

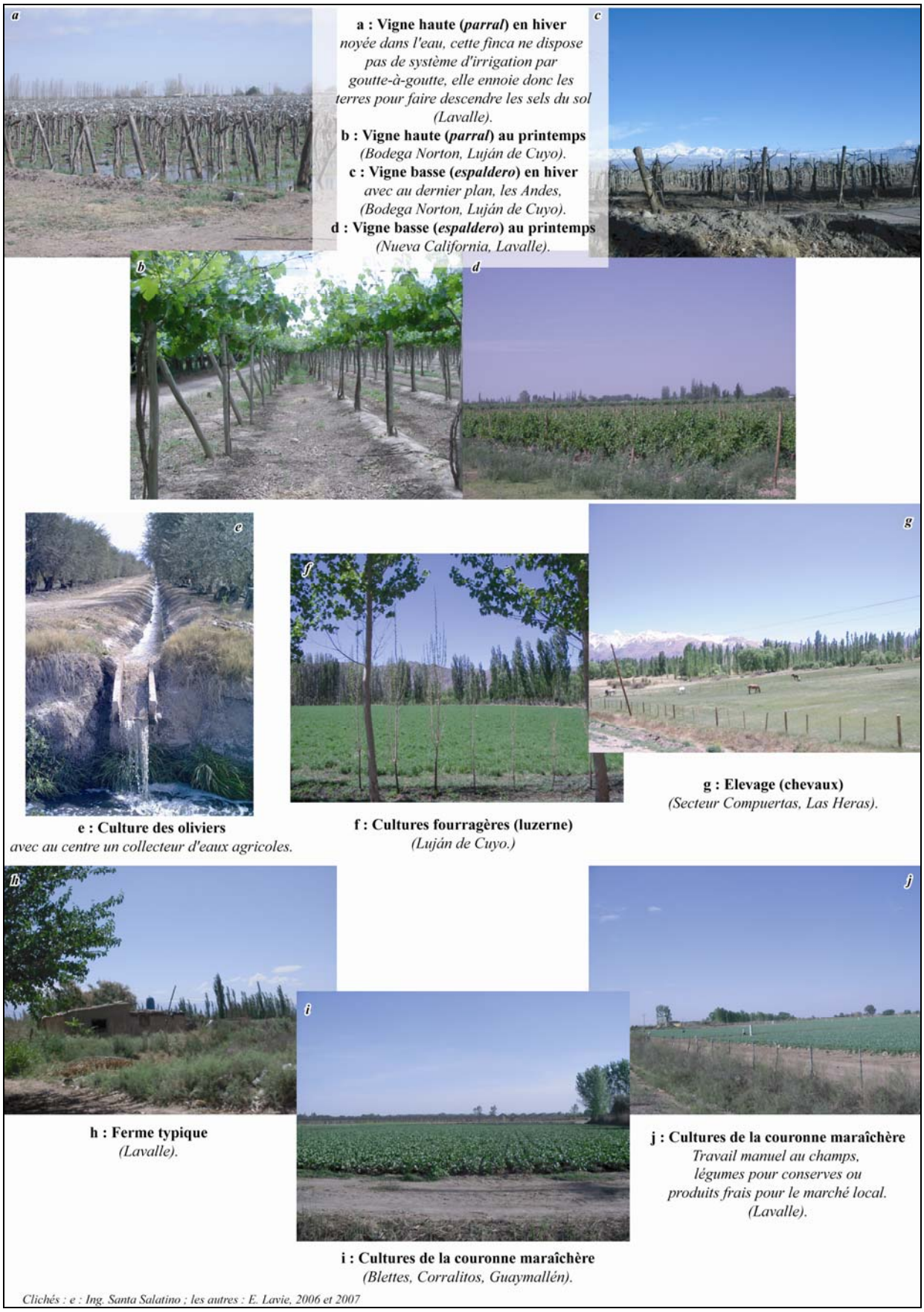


Planche photos 7 : Différents types de cultures de l'oasis du río Mendoza

- **Les espaces de réutilisation des effluents**

- les effluents agricoles. En sortie des zones agricoles, des collecteurs récupèrent le surplus d'eau et le transportent vers d'autres zones. Ainsi les zones en aval sont-elle alimentées par des eaux ayant déjà traversé des champs. La pente en glacis, naturellement orientée vers le nord-est, et l'exsurgence de la nappe phréatique, rendent les zones les plus basses salines (cf. troisième Partie). De ce fait, il a été nécessaire de creuser des drains, de manière à assainir ces terres peu propices à l'agriculture. L'ingénieur J. A. MORÁBITO (INA), lors d'une conversation personnelle, nous expliquait que de manière générale les canaux et les collecteurs étaient voués à être imperméabilisés, contrairement aux drains. Ce qui différencie le canal du collecteur est moins la taille que l' « enterrement ». Le canal est hors-sol alors que le collecteur est en quelque sorte un drain imperméabilisé **(Fig. 20)**. D'ailleurs, à Mendoza les termes drains et collecteurs sont employés l'un pour l'autre dans le langage courant. Le nord des zones 2 et 3, ainsi que la zone 4 sont alimentés par des effluents agricoles.

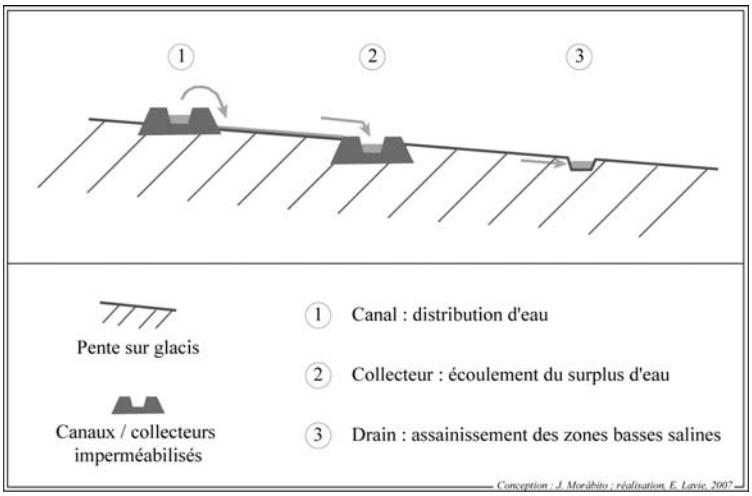


Fig. 20 : Infrastructures d'irrigation agricole à Mendoza
Source : d'après Morábito *in* Lavie, 2007a

- Les effluents domestiques. Les eaux traitées par les stations d'épuration par lagunage sont redistribuées aux aires ACREs (*aires de cultures restreintes spéciales*). Ces zones sont vouées à des cultures non consommables crues comme les plantes industrielles, les vergers, vignes ou les boisements d'exploitation, de manière à ce que les eaux cloacales n'entrent pas en contact avec des cultures pour la consommation directe. En théorie seulement, car lorsque ces ACREs ont suffisamment reçu d'eau, ou que les effluents apportés aux stations d'épuration dépassent la capacité des bassins de décantation, les surplus sont renvoyés vers le réseau d'irrigation. Ainsi, la station de Campo Espejo transporte ses surplus vers le canal Jocoli (qui irrigue par la suite le tiers-nord de la zone 4). Depuis la station de Paramillo, le trop-plein d'eau part vers le río Mendoza **(Fig. 19 et 21, Planche photos 3)**.

- Les effluents industriels. Les eaux de rejet des zones industrielles sont renvoyées le plus souvent sans traitement dans les collecteurs agricoles. Ainsi la *Zona alcoholera* rejette-t-elle ses effluents dans le collecteur Pescara, dont la finalité est d'irriguer, via l'*hijuela* Sanchez, l'est de la zone agricole 4. Les effluents de la zone pétroléo-gazière de Luján (Parc Industriel Provincial) sont déversées dans le río Mendoza en amont et en aval du barrage de Cipolletti (cf. *infra*).

- Les effluents urbains. Grâce au réseau d'*acequias*, l'eau circule en permanence dans la ville (même si chaque *acequia* est alimentée tous les 4 jours en moyenne). La finalité de ces

eaux est de rejoindre le Cacique Guaymallén, soit directement, soit par un collecteur (de crue (*zanjón*) ou agricole). Ainsi le Cacique Guaymallén est-il le réceptacle de presque toutes les eaux urbaines et les redistribue à la zone 4.

2-2- Distribution et évacuation de l'eau : une ressource bien gérée ?

Aux nécessités de distribution et de gestion de la quantité, se sont ajoutés des problèmes d'évacuation propres à chaque type d'usager. Or, la diversification des usages de la ressource avec l'accroissement parallèle de l'oasis agricole et de l'agglomération mendocina, a multiplié conjointement les organismes de gestion, de législation, de contrôle, de distribution et de collecte des eaux **(Fig. 26)**. Au départ, l'alimentation en eau de l'oasis était commune à tous les usagers avec d'une part un approvisionnement par pompages dans l'aquifère libre ou confiné, et d'autre part – et surtout – une dérivation des eaux du río Mendoza. Mais les réseaux d'irrigation (agricole et urbaine), les alimentations industrielles et énergétiques et les réseaux domestiques (AEP et assainissement) ne sont pas gérés par les mêmes organismes. Cependant, dans tous les cas, cette administration[26] de la ressource hydrique se fait à deux échelles : l'échelle provinciale et l'échelle locale, elle-même souvent subdivisée.

2-2-1- Le contexte politico-législatif

En matière de ressource hydrique, la Constitution Nationale argentine reconnaît aux Etats provinciaux tous les pouvoirs. Le domaine original des ressources naturelles existantes au sein du territoire d'une province lui appartient, et les eaux prennent le caractère de bien du domaine public. **Il n'y a pas de Code ou de Loi sur l'Eau au niveau national**.

Au niveau **provincial**, la *Ley de Aguas* (Loi sur l'eau) de 1884, impulsée par le Gouverneur BERMEJO, avait créé le *Departamento General de las Aguas* (DGA = Département Général des Eaux), devenu dix ans plus tard le *Departamento General de Irrigación* (DGI = Département Général d'Irrigation). Cette Loi de 1884 donnait à l'organisme gestionnaire de l'eau des prérogatives en ce qui concerne l'utilisation de l'eau pour la population et les entrepreneurs, dans le service d'aqueducs et dans les règles de distribution de l'eau. Le DGA chercha à garantir le maintien de la qualité de la ressource, il était en charge des évacuateurs (collecteurs) et des drains agricoles et se voulait être **LA** structure institutionnelle de l'autorité en matière d'eau.

Les Constitutions Provinciales consolidèrent l'autonomie du DGI. D'abord en 1894, puis en 1900 et 1916. La Constitution de 1916 imposa le principe d'inhérence, la décentralisation et la participation des usagers. Le DGI était en charge des grands travaux hydrauliques, **il gérait l'eau par BV et non par entité administrative** classique (municipalité) et garantissait les futures demandes en concessions et droits à irriguer. La Constitution de 1916 offrit au DGI une autonomie fonctionnelle et une autarcie budgétaire dans l'administration de l'eau.

[26] : Il s'agit ici de présenter sommairement les problèmes de gestion de l'eau afin de disposer d'une vue d'ensemble et de mieux cerner ensuite les conséquences que cette mal-gestion peut avoir sur la qualité. Deux thèses sont en cours sur ce sujet : A. AKHMOUCH, (de Paris 8, en sciences politiques, depuis 2004) sur l'eau potable et l'assainissement, et J-P. DAVID, (de Bordeaux 3, en géographie, depuis 2005) sur l'ensemble des problèmes de gestion de l'eau dans la province de Mendoza. Nous ne serons donc pas exhaustive sur les problèmes de gestion.

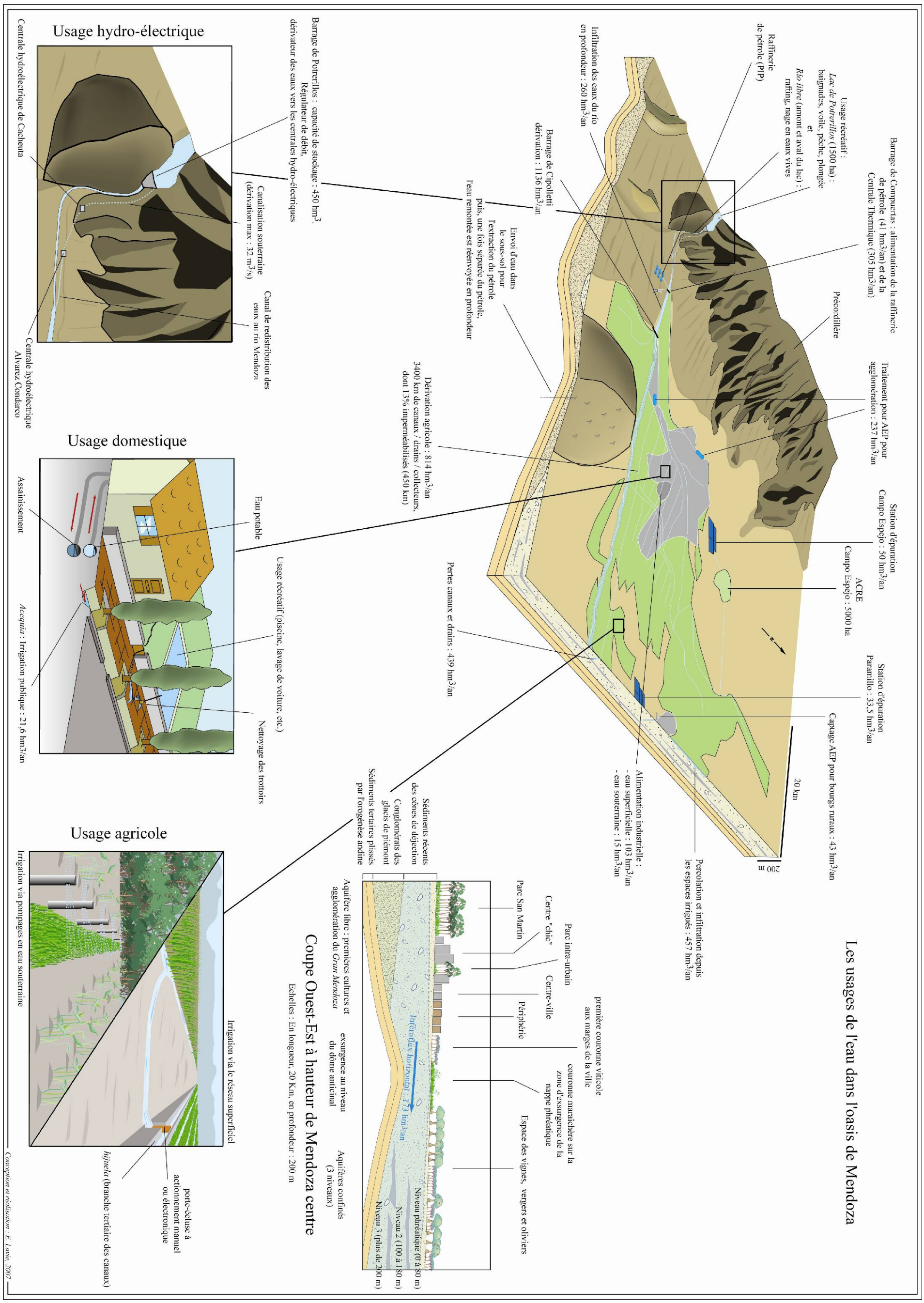


Fig. 21 : Les usages de l'eau dans l'oasis : des quantités qui augmentent

A la création du DGI, remplaçant le DGA en 1894, il fut décidé que cet organe, indépendant du Gouvernement de la province, deviendrait sujet à l'unique contrôle de *l'Honorable Tribunal des Comptes* de la province.

2-2-2- A l'échelon local, une surreprésentation du privé dans la pratique

Si le DGI est l'entité gestionnaire de l'eau dans la province, en matière de gestion locale, il délègue certains de ses pouvoirs à des assemblées d'usagers, à des agences publiques ou à des entreprises privées. Dans l'ensemble, il ressort que le gouvernement provincial n'a qu'un pouvoir très limité sur l'échelon local de distribution et de collecte des eaux. L'Argentine a plus ou moins calqué le système européen qui veut que la gestion soit faite par des Assemblées d'usagers mandatées par la sphère publique, tandis que la distribution et la collecte sont assurées par des entreprises privées sous contrat avec la sphère publique (FOURNIER et HERIN, 2001).

- **Irrigation et Industrie : Les *Inspecciónes de Cauce*, assemblées d'usagers**

En ce qui concerne la distribution, le DGI gère le réseau principal, c'est-à-dire les deux canaux principaux (Cacique Guaymallén et Matriz San Martín) et quelques canaux secondaires (Jocoli, Tajamar, Naciente…), mais aussi les canaux AEP (Canal Matriz appartenant au réseau commun, Civit (AEP et irrigation du parc San Martín) par exemple), **(Fig. 21)**. La distribution et surtout la répartition de l'eau dans les canaux secondaires, tertiaires et quaternaires se font au sein des *Unidades de Manejo* (UM) par les *Inspecciónes de Cauce* (IC)[27]. L'*Unidad de Manejo* est l'**unité spatiale** de gestion de la ressource, gestion assurée par un **échelon administratif** appelé *Inspección de Cauce*. Ces *Inspecciones de Cauce* sont en charge de l'entretien des infrastructures d'irrigation (distribution, collecte et drainage), du nettoyage des ordures présentes dans les canaux, ou encore des tours d'irrigation. En effet, **l'eau est distribuée aux agriculteurs au tour à tour** (*turnos de agua*), **en durée et non pas en volumes**. Par exemple, sur le même canal quaternaire (*ramo*), l'agriculteur le plus en amont irrigue de 17h à 20h, le suivant de 20h à 23h, et ainsi de suite ; la semaine suivante, l'agriculteur n°1 sera servi en dernier, la distribution commencera par l'agriculteur n° 2. Dans les faits, les agriculteurs s'échangent parfois leurs tours car toutes les espèces végétales n'ont pas besoin d'eau au même moment. De même, la zone du Cacique Guaymallén est alimentée en eau pendant quatre jours puis, les quatre jours suivants, l'eau est distribuée à la zone du Matriz San Martín, et ainsi de suite.

Les IC sont des administrations décentralisées, en principe démocratiques puisque chaque Inspecteur est élu pour un an. Ce système requiert donc une participation active des usagers, puisque l'élection a lieu lors de l'Assemblée des Usagers. Dans les faits, peu nombreux sont ceux qui se déplacent ; cependant **en théorie c'est l'usager qui est décisionnaire de la politique hydrique de son IC**. L'IC fixe la fiscalité, son budget étant lui aussi propre, il possède un certain pouvoir de police de l'eau et de réglementation. On peut voir sur la **Fig. 22** que les factures comportent quatre cadres de facturation, dont un pour les IC, différent de celui du DGI. Quelques IC travaillent à l'amélioration de la qualité de la ressource et procèdent à des mesures hydrochimiques dans les canaux. Les IC sont au nombre de cent cinquante six dans la province (contre huit cents au début des années 1980, le

[27] : Les *Inspecciónes de Cauce* (IC) se traduisent par Inspection de cours d'eau, tandis que les *Unidades de Manejo* (UM) sont les unités de gestion. Ces deux expressions n'étant pas usitées en français, nous utiliserons les termes castillans.

Superintendant Jorge CHAMBOULEYRON ayant voulu unir certaines IC pour une meilleure efficacité de la gestion de la ressource).

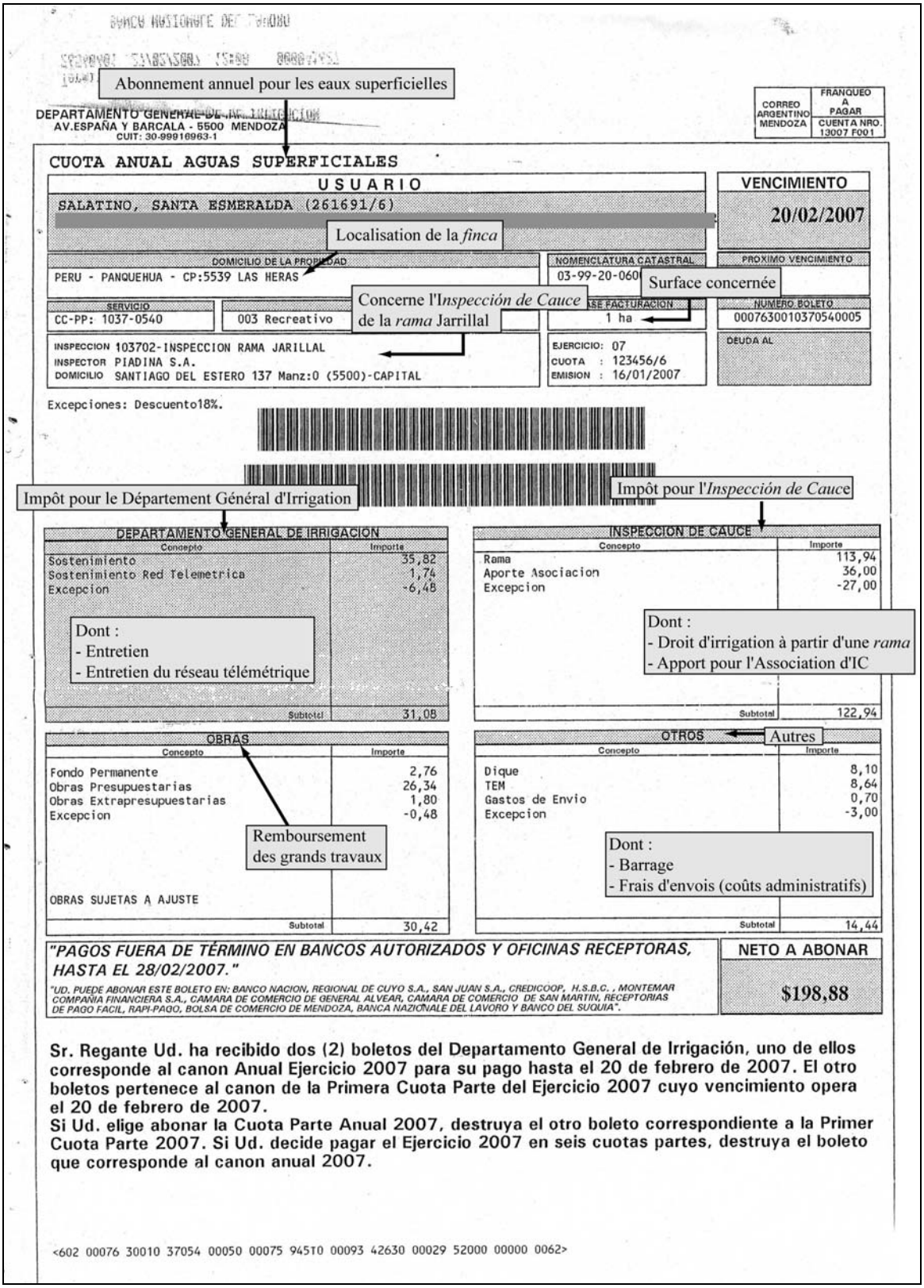


Fig. 22 : Exemple de facture envoyée aux agriculteurs par le DGI
Source : Gracieuseté Ing. Santa SALATINO

Sans véritable pouvoir, sinon celui de conseil et d'aide, les *Associations d'Inspecciónes de Cauce* se sont développées grâce à la loi 6405. Ces associations cherchent à valoriser les IC membres et font le relais entre les usagers à l'échelle locale et le DGI à l'échelle provinciale. Il faut savoir que le DGI, pour une gestion facilitée, a une antenne dans chaque zone agricole. Chacune de ces six zones a de fait un Directeur, dépendant non pas des IC, mais du DGI.

- **Eau domestique : des acteurs publics ou privés**

Selon le lieu de résidence, la distribution de l'eau courante potable et son évacuation ne sont pas effectuées par le même organisme. Cette double tâche en incombe à trois opérateurs publics ou privés **(Fig. 26)**. Ce sont :

- les **Opérateurs de Gestion Communautaire** qui se sont développés dans les années 1960 et sont sous la juridiction de l'EPAS[28] (cf. *infra*) depuis les années 1990 (création de l'EPAS en 1993). A eux tous, les opérateurs (172 dans la province entière) gèrent moins de 40 000 connections à domicile pour l'AEP et un peu moins de 270 clients pour l'assainissement *(epas.mendoza.gov.ar)*. Il s'agit en fait des petits forages privés qui n'ont pas été pris en compte (ou plutôt « oubliés ») dans le processus de pré-privatisation et de privatisation par la suite (cf. *infra*) ;

- les **municipalités.** Trois municipalités (Luján de Cuyo et Maipú en ce qui nous concerne, Tupungato pour l'oasis du Tunuyán Supérieur) font office d'opérateur d'AEP et d'assainissement. Luján gère 21 000 connexions AEP à domicile (15 000 pour l'assainissement), et 27 000 pour Maipú (16 000 pour l'assainissement) ;

- enfin, et c'est l'Opérateur principal, **OSM** (*Obras Sanitarias de Mendoza*) est une société privée, sous concession de l'Etat Provincial depuis juin 1998. Les *Obras Sanitarias de la Nación* (OSN = Œuvres Sanitaires de la Nation), se sont transformées dans le cadre d'une pré-privatisation en *Obras Sanitarias de Mendoza, Sociedad del Estado* (OSM.SE. = Œuvres Sanitaires de Mendoza, Société d'Etat), pré-société toute organisée pour devenir, une fois la privatisation opérée, *Obras Sanitarias de Mendoza, Sociedad Anónima* (OSM.SA. = Œuvres Sanitaires de Mendoza, Société Anonyme).

  C'est elle qui est propriétaire des deux usines de traitement des eaux (eau potable) de Luján de Cuyo (I et II), (municipalité qui pourtant gère seule son réseau AEP !), et de celle du Parc du Général San Martín dite Alto Godoy **(Fig. 18)**. Elle traite également, en aval de l'agglomération, les eaux cloacales dans les deux stations d'épuration de Campo Espejo et de Paramillo. Campo Espejo gère les effluents liquides de Capital et de Las Heras (Godoy Cruz et Guaymallén en partie) ; Paramillo reçoit les eaux domestiques de la plus grande partie de Guaymallén et de Godoy Cruz et l'ensemble des eaux de Maipú et Luján (municipalités qui gèrent leur réseau). OSM.SA. distribue et traite les résidus de 340 000 foyers dans la province, sur 1 500 000 habitants, autant dire que la majorité des Mendocinos (au niveau provincial) est cliente d'OSM.SA. Il existe deux petites stations d'épuration situées à Lavalle et inaugurées récemment (1999) : Villa Tulumaya et Costa del Araújo. Elles sont constituées de bassins elles-aussi, mais sans aucun traitement micro-bactérien (cf. *supra*).

[28] : EPAS : *Ente Provincial del Agua y de Saneamiento* : Agence Provinciale de l'Eau et de l'Assainissement.

Dans les faits, OSM.SA. **(Fig. 18** et **26)** traite les eaux urbaines. Les ménages ruraux ne reçoivent pas l'eau rendue potable des ríos de la province : les canalisations souterraines sont bien trop coûteuses, notamment dans cette zone à risques où toute tuyauterie doit être viabilisée de façon antisismique. Les Opérateurs de Gestion Communautaire prennent le relais dans les zones rurales via des pompages dans les nappes phréatiques, il existe également quelques Opérateurs de Gestion Communautaire en zone urbaine (quartier de Bermejo, Guaymallén, par exemple).

Selon ABIHAGGLE et DAY (2004), on estime la consommation d'eau potable à Mendoza à 384 litres par habitant et par jour. Dont 177 l pour une consommation à domicile (boisson, cuisine, lavage, machines, piscines…), 44 l de pertes intérieures (mauvaises canalisations…) et 163 l de consommation externe au foyer (irrigation publique, industries…). Un Mendocino consomment donc en moyenne plus d'eau qu'un Américain (Etats-Unis : 300 l/jr/hab.) ou qu'un Canadien (325 l/jr/hab.), ce qui s'explique par la quasi absence de pluies directes.

- **Ressource énergétique : le secteur privé assure production et distribution**

Parallèlement, l'accroissement démographique spectaculaire accompagné d'un développement technologique consommateur d'électricité, a obligé les pouvoirs publics à multiplier les sources énergétiques. L'énergie thermoélectrique a besoin d'eau pour la génération de vapeur, pour le refroidissement ou pour l'extraction des combustibles comme le pétrole ou le charbon ; elle est donc grande consommatrice d'eau. Les énergies renouvelables commencent à apparaître, mais elles coûtent cher. Cependant, si l'éolienne peut difficilement s'implanter dans ce secteur où les vents ne sont pas continus, le solaire est une alternative intéressante puisqu'à Mendoza la couverture nuageuse est très faible. Cela étant dit, la ressource électrique la moins coûteuse demeure l'hydro-électricité, relativement facile à produire dans cette province. C'est d'ailleurs une ressource financière non négligeable puisque la province de Mendoza fournit l'électricité à une grande partie du pays (Buenos Aires notamment) et peut même exporter ses surplus.

- Le thermique. Mendoza possède une centrale thermique installé dans le Parc Industriel Provincial (PIP) de Luján de Cuyo. La CTM (*Central Térmica de Mendoza*) est une entreprise privée, comme tous les producteurs d'électricité de la province, elle produit son électricité qu'elle revend ensuite, en général via EDEMSA (*Electricidad de Mendoza, Sociedad anónima,* concessionnaire principal de distribution de l'électricité de la province). La CTM approvisionne en priorité l'agglomération du *Gran Mendoza*.

- L'hydro-électricité. Les hautes vallées des ríos sont souvent encaissées (gorges) et permettent un établissement relativement aisé des barrages. L'encaissement des vallées limite également la taille de la surface ennoyée. Cela signifie moins de surface évaporatoire, moins de conséquence pour le biotope et plus de hauteur de chute pour l'alimentation des turbines. Les imposants **barrages** construits en montagne ou en plaine ont ainsi une **double fonction** : **réguler les débits des rivières afin de garantir une réserve d'eau** suffisante pour les oasiens et **alimenter les turbines des centrales hydro-électriques**.

Le río Mendoza **(Fig. 23)** est le plus important des quatre systèmes (ríos Mendoza, Tunuyán, Diamante et Atuel) puisque son débit atteint près de 46 m^3/s à son entrée dans la retenue. Un tunnel d'adduction transporte l'eau vers la centrale hydro-électrique de *Cacheuta*, qui à son tour renvoie l'eau à une seconde canalisation alimentant la centrale *Alvarez*

Condarco. Le río Mendoza fournit 48 % de l'hydro-électricité de la province. Les centrales, auxquelles on peut ajouter la petite de San Martín (non représentée), sont administrées par le CEMPPSA, (*Consorcio de Empresas Mendocinas Para Potrerillos SA*, soit Consortium d'Entreprises Mendocinas Pour Potrerillos S.A). Cette société anonyme prend également en charge le réseau du río Tunuyán.

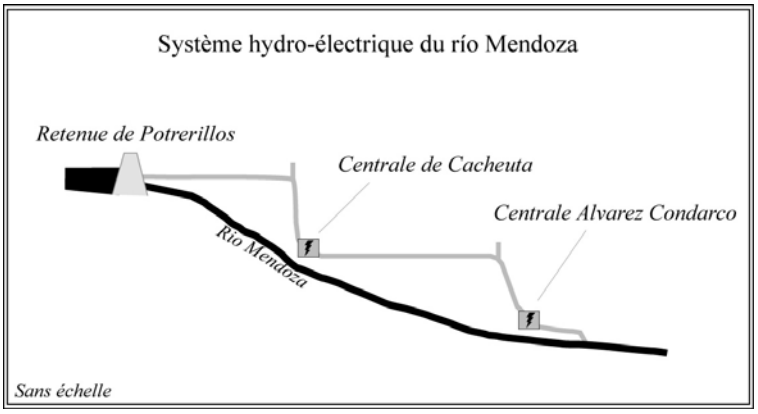


Fig. 23 : Le système de production hydro-électrique du río Mendoza / Potrerillos
Source : Lavie, 2007b

Par la suite, des entreprises concessionnaires prennent en charge l'ensemble de la distribution de l'énergie dans les foyers. Elles sont au nombre de onze, dont EDEMSA, la plus importante, les autres étant plus souvent de très petits coopératives pour les bourgs éloignés (villes-bourgs de la Cordillère, villages de Général Alvear par exemple)

- Les hydrocarbures. Ils sont dans leur très grande majorité extraits par YPF (*Yacimientos Petrolíferos Fiscales* soit Gisements pétrolifères fiscaux), succursale de Repsol (Espagne). La production d'essence, de gaz et de fioul, est faite depuis la raffinerie du PIP de Luján (le même que la CTM) où l'on trouve d'autres entreprises privées comme Exxon ou Total.

2-2-3- A l'échelon provincial, le public reste législateur

La Constitution de 1916 a accordé le principe d'inhérence de l'eau et du DGI. Mais dans les faits, ce département est loin de gérer seul la ressource principale de l'oasis. Deux agences publiques gèrent les questions d'assainissement et d'hydro-électricité. Enfin, le Ministère de l'environnement joue un rôle de coordinateur entre ces acteurs publics.

- **Pour le réseau domestique : l'EPAS**

Agence provinciale de l'eau et de l'assainissement, l'EPAS (*Ente Provincial del Agua y de Saneamiento*) est un service décentralisé et autarcique créé en 1993 par la loi de réaménagement du secteur n°6044. Sa mission est de réguler, de contrôler et de garantir les services d'alimentation en eau potable et d'assainissement dans tout le territoire de la province de Mendoza. Cela concerne les opérations structurelles, mais aussi ce qui touche au maintien et à la promotion de leur expansion, d'un niveau de qualité et d'efficacité et d'un usage rationnel de la ressource hydrique. Elle est l'organisme coordonnateur des trois acteurs de la distribution et de la collecte de l'eau domestique : les Opérateurs de Gestion Communautaires, les trois municipalités de Maipú, Luján et Tupungato, et la Société Anonyme OSM.SA. L'EPAS régule, contrôle et garantit également la protection de la santé publique et de l'environnement, la continuité des services, l'augmentation des

investissements, elle assure des régimes et des tarifs commerciaux raisonnables et équitables. Enfin, l'EPAS a comme mission d'incorporer de nouvelles technologies et de protéger les droits des usagers *(epas.mendoza.gov.ar)*. On peut citer comme exemple de règlement, l'interdiction de certains usages de l'eau de 9h30 à 22h en période estivale : arrosage des jardins et des rues non pavées, remplissage des piscines, lavage des voitures ou autres usages abusifs. En matière de contrôle, l'EPAS est habilitée à donner des amendes aux usagers contrevenants.

- **Pour le réseau électrique : l'EPRE**

L'*Ente Provincial de Regulación Eléctrica* (= Agence Provinciale de Régulation Electrique) est à l'échelon provincial le service de réglementation et de police de l'usage électrique, de la même manière que l'EPAS en ce qui concerne l'eau domestique. Si son rôle est avant tout celui de police et de contrôle, les modernisations des infrastructures sont à la charge du DGI. L'EPRE assure la signature des contrats de concessions entre l'Etat provincial, les entreprises de production et celles de distribution, tandis que celles-ci prennent en charge le maintien des infrastructures (barrages, turbines, centrales, pylônes, fils électriques…). Elle garantit également une tarification égalitaire.

- **Le DGI, organisme tout puissant**

Le Département Général d'Irrigation (DGI) est un organisme autarcique qui régit l'approvisionnement en eau de toute la province. D'une part il joue le même rôle de coordinateur que l'EPAS et l'EPRE, mais pour les secteurs agricole et industriel ; d'autre part il prend en charge toutes les décisions de grands travaux et se porte maître d'œuvre dans leur réalisation. Il dispose d'un budget propre et se veut complètement indépendant du Gouvernement provincial. Trois corps décisionnels le composent, avec des facultés et des attributions propres, à savoir :

- un Superintendant Général ;
- un Honorable Tribunal d'Administration (HTA) ;
- et un Honorable Conseil d'Appellations (HCA) **(Fig. 24)**.

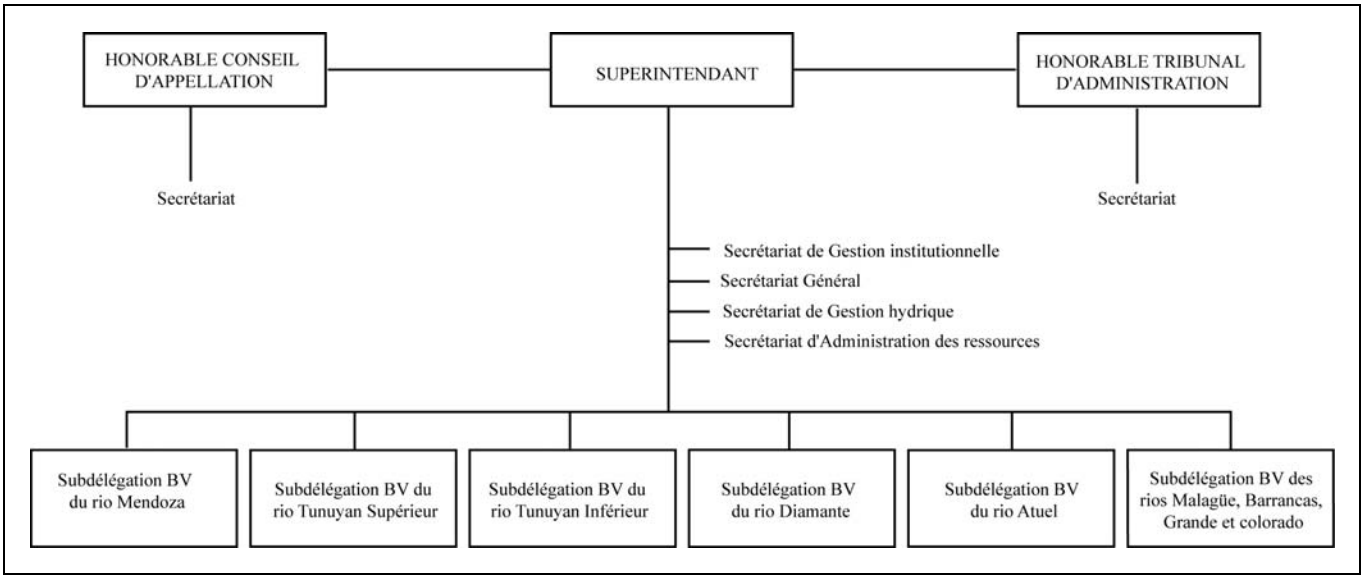


Fig. 24 : Organisation du DGI
Source : DGI, en ligne

Le Superintendant et les membres du HCA sont élus pour cinq ans et rééligibles. Dans les faits cette élection est avant tout politique. Le **DGI possédant un budget nettement supérieur à celui de la province**, le gouvernement de l'eau et celui des autres éléments de la vie publique peuvent ainsi être en cohabitation (le Gouverneur de la province a un mandat de 4 ans). Un Superintendant Radical peut être face à un Gouverneur Péroniste ou Libéral. L'avantage qu'a le DGI sur le Gouvernement de la province réside dans le fait que **celui qui gère l'eau dans une oasis est de fait plus puissant que l'entité politique provinciale**.

Le DGI impulse les grands travaux de distribution de l'eau, non seulement en ce qui concerne l'irrigation, mais aussi le réseau dit commun et les canaux d'approvisionnement des usines de traitement pour l'AEP. Il budgétise les travaux d'entretien des canaux et barrages, il imperméabilise les réseaux qui ne le sont pas (canaux et collecteurs), il met en place des puits et pompes pour les forages en nappe souterraine… mais joue aussi un rôle de police de l'eau, tant sur le plan quantitatif que sur celui de la qualité. Il est par exemple à l'origine du « Système Pescara », système de traitement des effluents industriels par dilution (cf. IIème partie). Par l'intermédiaire de son Honorable Tribunal Administratif, il règle les différents en termes de conflits d'usage de la ressource, ou encore exerce la police de l'eau auprès des usagers abuseurs (cf. DAVID, thèse en cours).

Le budget du DGI **(Fig. 25)** paraît particulièrement élevé quand on connaît la crise économique qui a touché l'Argentine au début des années 2000. Près de 50 millions d'euros ont été investis dans les infrastructures en 4 ans (2002-2006) alors que 20% de la population de l'oasis possède au moins une NBI[29]. Cela paraît un chiffre très lourd. Le budget du DGI n'est pas lié aux impôts provinciaux. Il s'agit d'un budget propre, imposé par cet organisme indépendant et autarcique aux agriculteurs et industriels qui utilisent la ressource **(Fig. 22)**. C'est un « droit à irriguer », mais aussi un droit à disposer d'une eau de bonne qualité.

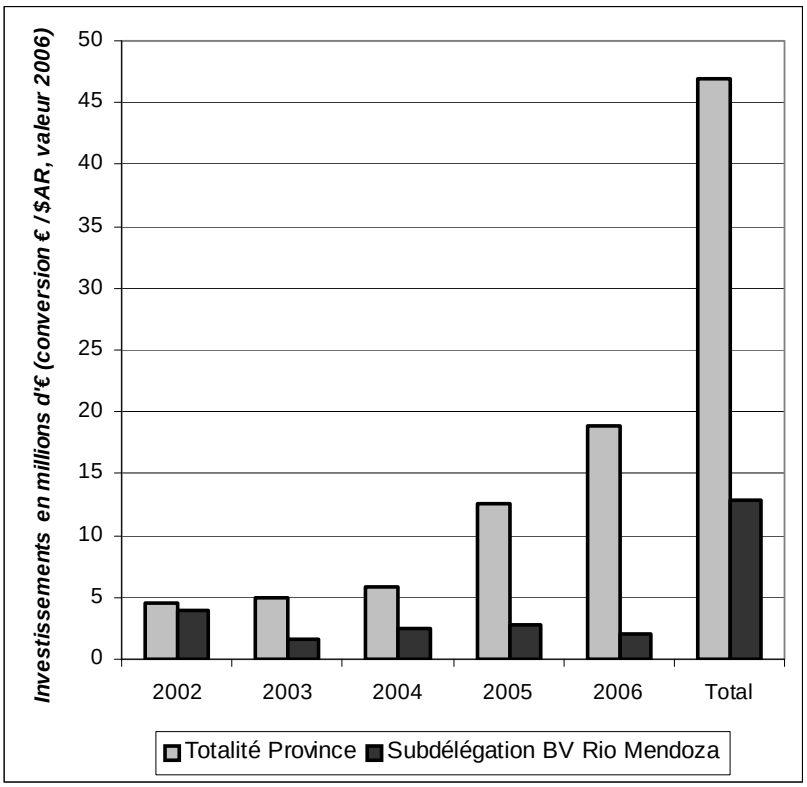


Fig. 25 : Investissements (en millions d'€) du DGI dans les travaux d'amélioration du réseau dans la province, et dans la Subdélégation du río Mendoza. Période 2002-2006
Ces investissements, en croissance constante, indiquent l'importance de la question de l'eau dans l'oasis
Source : DGI, 2006b

[29] : Les NBI ou Nécessités de Base Insatisfaites sont au nombre de cinq (pas de sanitaires, enfants non scolarisés….), si le foyer en compte au moins une, ses membres sont considérés comme très pauvres.

- **Un coordinateur : le MAyOP**

Le MAyOP, **Ministère de l'Environnement** et des Travaux Publics, est un secrétariat satellite du pouvoir exécutif provincial. Il fut créé en 1989, « *il doit élaborer la politique environnementale destinée à créer les conditions de prévention, de protection et de conservation de la nature et de l'habitat humain, comme l'usage et l'approvisionnement des ressources naturelles et la défense contre les catastrophes et accidents.* ***Il n'a aucune compétence en matière d'eau, mais il coordonne la gestion entre le Département Général d'Irrigation (DGI), l'Agence provinciale de l'eau et de l'assainissement (EPAS), l'Agence provinciale de régulation électrique (EPRE) et les municipalités*** » (***www.fao.org***).

Le MAyOP doit assurer la coordination entre les différents administrateurs de l'eau, qui eux-mêmes gèrent les liens entre les distributeurs (ou producteurs d'hydro-électricité), il n'a en revanche aucune compétence en matière hydrique. Autant dire que son rôle est mineur **(Fig. 26)**.

D'une part des organismes provinciaux (MAyOP, EPAS, EPRE) n'ont presque pas de financement et doivent légiférer sur les problématiques d'eau et coordonner les différents acteurs ; mais ils n'ont pas de pouvoir exécutif. D'autre part un organisme autarcique (DGI) et des sociétés privées distribuent l'eau et l'énergie hydro-électrique (but lucratif), et sont de fait dotés du pouvoir financier. Le DGI, par son double rôle de coordinateur / distributeur a usurpé les fonctions des organismes provinciaux. Il est, en pratique, l'organe principal de la gestion de la ressource en eau, alors que théoriquement ce rôle ne lui revient pas. Il existe un flou juridique dans cette province : la Constitution provinciale de 1916 garantit l'autonomie fonctionnelle et financière du DGI alors que le Gouvernement de la province, par l'intermédiaire du MAyOP doit coordonner, sans trop de moyens, des organismes publics et privés **(Fig. 26)**.

2-2-4- De nouvelles technologies au service d'une meilleure gestion des usages de l'eau

Devant une ressource renouvelable mais capricieuse et une demande quantitative toujours plus importante, le DGI se doit d'optimiser l'approvisionnement de l'eau dans l'oasis. Pour se faire, quatre étapes ont été déterminées. D'abord une caractérisation des ressources hydriques, une détermination des usages et de la demande, puis une gestion des ressources en amont (lacs de barrage…) et enfin une amélioration du système de distribution en aval. Ces quatre étapes, dans le fond, sont assez géographiques et répondent à une méthodologie « intégrée », à des niveaux humains et physiques complémentaires et avec des échelles d'action différentes.

- La caractérisation des ressources hydriques : le « Système d'information hydronivométéorologique ». Cent stations de mesures sont réparties dans toute la province, jusqu'à 2500 m d'altitude, munies, selon le lieu, de capteurs électroniques mesurant la hauteur d'eau, de neige, la température, la radiation solaire… Un réseau télémétrique a été mis en fonctionnement en 1996, avec des mesures en temps réel, permettant non seulement d'évaluer l' « offre » hydrique, en termes de quantités, mais aussi d'anticiper les ressources futures. Chaque mois d'octobre, le bulletin annuel est publié sur le site internet du DGI (2006a et b).

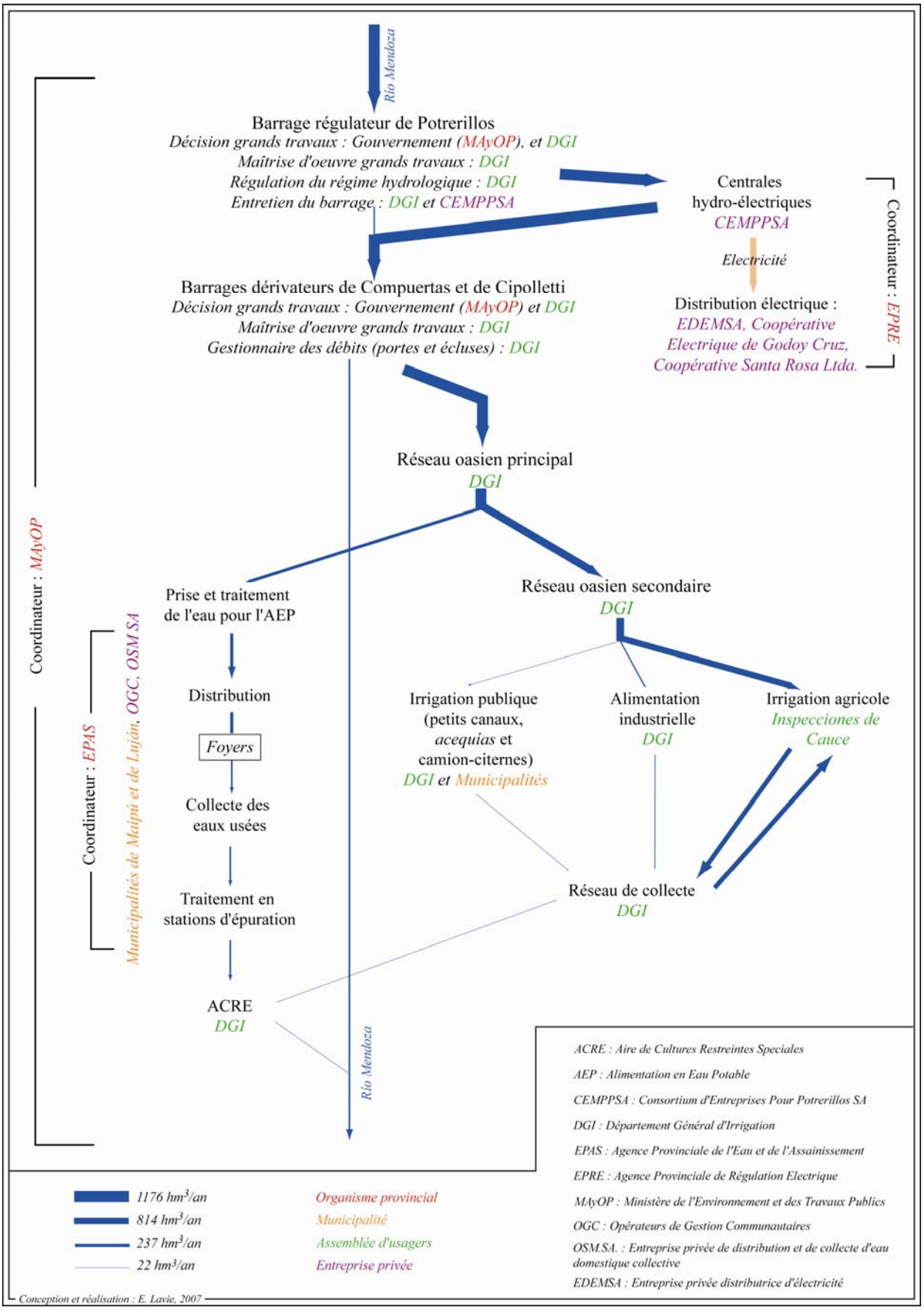


Fig. 26 : Organigramme des usagers et gestionnaires de la ressource en eau

- La caractérisation des usages et de la demande : le « Système d'Information pour la Planification Hydrique ». A partir d'un recensement des demandes en eau, des usages des terres, d'estimations sur les droits à irriguer et les futurs besoins en épuration… et par l'intermédiaire d'un Système d'Informations Géographiques (SIG), le DGI a développé le SIPH (Système d'Information pour la Planification Hydrique). Mis en service en 1999, le SIPH contient 800 GO d'informations, nous précise le DGI (RODRIGUEZ AGUILERA *et al.*, 2006). Des couches cartographiques et alphanumériques permettent à présent d'évaluer et de diagnostiquer la situation de chaque BV, de proposer des actions et de planifier les futures priorités dans la politique hydrique de la province.

- Le « Système de gestion des lacs de barrage et d'approvisionnement de l'eau au niveau primaire ». Grâce aux données disponibles dans les deux systèmes précédents, le DGI peut désormais mieux gérer sa ressource en amont. En effet, grâce aux lacs de barrage, et, notamment le barrage de Potrerillos, il est possible de réguler le débit des ríos, et de « lâcher » l'eau en fonction de la demande et des besoins de la population, (en particulier des agriculteurs) et non en fonction du régime hydrologique des bassin-versants comme c'était le cas auparavant. Les *Inspecciónes de Cauce* peuvent, au niveau local, relayer ces informations. Ainsi, d'abord en montagne, puis dans les canaux primaires via les écluses et barrages, le DGI peut optimiser la distribution de la demande et éviter le gaspillage de l'eau.

- Le système de distribution des eaux entrées dans les *Inspecciónes de Cauce*. Depuis de nombreuses années, l'imperméabilisation et la restauration des canaux primaires et autres infrastructures, a limité les pertes d'eau et nettement amélioré les conditions de la distribution. Cependant, seuls 5 % des IC possédaient une gestion moderne de la distribution en 1995. En effet, 95 % des IC n'avaient pas de listes d'irrigants, pas de tours organisés par ordinateur, pas de patrons cadastraux et conservaient ainsi les modèles de tours d'irrigation anciens, sans prendre en compte les changements. Aucune flexibilité et peu d'équité étaient donc de mise. Le DGI a de ce fait entrepris de former le personnel et de moderniser les IC. En 2006, les IC modernisées étaient au nombre de 37, soit 25% du total d'IC dans la province.

Ces supports techniques et méthodologiques permettent au DGI de se moderniser peu à peu, et surtout de limiter les gaspillages. Les pompages dans la nappe phréatique sont de moins en moins privilégiés. Et la ressource se voit distribuée de manière plus optimale, en moindre quantité et surtout plus équitablement. Cela ne suffit malheureusement pas. Les macro-déchets continuent à boucher les canaux d'irrigation **(Planche photos 8)**, et si l'eau est distribuée automatiquement, en fonction des informations dont dispose le DGI sur les besoins des usagers, dans les faits il y a souvent une différence entre le débit calculé par l'ordinateur central du DGI et distribué dans les canaux principaux, et le débit effectif reçu par l'agriculteur en aval.

***

La diversification des usages et usagers de l'eau a entraîné le développement spatial de l'oasis, mais aussi la multiplication des réseaux de distribution et des compétences des organismes, mêlant les sphères publiques et privées. Energie, tourisme, alimentation en eau potable et assainissement, irrigation agricole, besoins industriels pour l'agro-alimentaire ou pour les activités minières, de raffinerie… autant d'usages et d'usagers non exhaustifs, gérés par des organismes publics chapeautés par le gouvernement (EPAS, EPRE, MAyOP), des assemblées d'usagers (DGI) ou des entreprises privées (OSM.SA., EDEMSA…).

Planche photos 8 : Infrastructures bouchées par des macro-déchets, limitant ainsi les débits et donc l'approvisionnement en eau des irrigants

L'oasis est pour le novice un enchevêtrement de réseaux énergétiques, de canaux agricoles, industriels ou urbains (acequias), de collecteurs agricoles ou urbains (zanjones), de drains, de lagunes d'épurations, sans compter d'autres infrastructures de taille majeure (barrages) comme de dimension plus modérée (porte-écluses, puits…). Mais si la taille et les besoins ont augmenté au fil des siècles, la disponibilité de la ressource reste limitée. Tous les scientifiques s'accordent même à dire que le climat a d'ores et déjà changé sur l'oasis, comme dans les Andes, bassin d'alimentation du río. La croissance des débits des cours d'eau cache en réalité une fonte accrue des neiges éternelles et des glaces, ressources à long terme de cet espace.

En résumé, de façon schématique, l'oasis irriguée par le río Mendoza n'a pas su adapter sa demande à l'offre disponible, mais au contraire, a cherché par tous les moyens à adapter l'offre à la demande. De fait, la province cherche de nouvelles ressources, et a mis à profit au maximum les rares ressources en eau dont elle dispose.

***

Chapitre 3 :

… où l'eau se fait rare

Le développement de l'oasis et sa transformation depuis les 150 dernières années en un espace agricole de type méditerranéen, a eu pour principale conséquence une **surexploitation** de la ressource en eau. La demande en eau est devenue de plus en plus forte et malgré les efforts des organismes de distribution depuis quelques années pour limiter les quantités utilisées, la modernisation des équipements a facilité l'accès des Mendocinos à l'eau superficielle et souterraine. Cette trop grande facilité à disposer de l'eau a peut-être laissé penser que les capacités étaient illimitées. La gestion de l'eau n'est-elle pas basée sur un mythe d'abondance ?

3-1- Une offre en baisse à moyen terme

L'alimentation de l'oasis dépend ainsi de deux sources principales : d'une part une ressource superficielle, le río Mendoza alimenté par les glaciers de haute montagne, et d'autre part les deux aquifères (libre et semi-confiné) alimentés par les écoulements des ríos, des oueds du piémont et les pertes des canaux d'irrigation. De ce fait, puisque les pluies directes n'ont presque aucun effet sur l'agriculture, l'oasis est dépendante de sources extérieures. Ainsi la baisse de la ressource en termes quantitatifs est-elle en quelque sorte l'épée de Damoclès au-dessus de Mendoza.

La première crainte est évidemment une baisse des entrées d'eau dans le système, à savoir une baisse des précipitations neigeuses en haute montagne liée au réchauffement climatique actuel. Seulement, les phénomènes climatiques naturels ne sont pas seuls en cause car une trop forte pression humaine sur la ressource peut engendrer un grave appauvrissement de celle-ci.

3-1-1- Chaleur, sécheresses et baisse des précipitations neigeuses

Selon la *Sociedad de Arquitectos de Mendoza* (SAM, 2001), citant des articles parus dans le Journal *Los Andes*, le GIEC (Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat, ONU) prévoit que l'augmentation des températures et donc la remontée en altitude de l'isotherme 0°C, va limiter (voire empêcher) le gel des eaux nivales. Ainsi les chercheurs du GIEC pensent-ils assister d'ici quelques décennies à un changement dans le rythme hydrologique saisonnier. En effet, le gel devrait diminuer, le dégel s'accélérer et l'eau devrait s'écouler plus tôt dans l'année. **Ainsi le régime hydrique du río Mendoza pourrait-il évoluer, et il y aurait de l'eau en hiver dans le lit de cette rivière au régime nivo-**

glaciaire (BONINSEGNA et VILLALBA, sans date). Selon le météorologue et physicien argentin, spécialiste de l'effet de serre et consultant pour le GIEC, Osvaldo CANZIANI (SAM, 2001), les Mendocinos devront apprendre à s'adapter à une modification des fonctionnements hydrologiques connus depuis la fondation de Mendoza. Selon lui, « *à Mendoza on ne croit pas aux pluvionivomètres, parce qu'il y a une certitude de la disponibilité de l'eau. Il y a un problème de développement technique et il convient que le système d'alerte des précipitations se réactive* » (SAM, 2001).

Selon SALOMON (2003a), de manière générale on assiste déjà depuis quelques années à une nette remontée en altitude des neiges persistantes. D'après le Journal *Los Andes* (USACH, 2007), il y a une vingtaine d'années, seule la neige tombait à *Punta de Vacas*, à la confluence des trois rivières principales qui forment le río Mendoza. Aujourd'hui, il pleut non seulement dans la haute vallée du río, mais également plus en altitude, sur les versants, augmentant de fait le risque d'avalanches. Les études de l'IANIGLA[30] (*Instituto Argentino de Nivologia, Glaciologia y Ciencias Ambientales* de Mendoza, UNC) disponibles sur son site ou citées dans les journaux locaux, convergent toutes vers une seule conclusion : avec l'augmentation des températures, **il neige de moins en moins dans le bassin-versant du río Mendoza**. La conséquence directe pour l'oasis est l'**amaigrissement des glaciers** et des névés. Si les glaciers représentent la ressource à long terme pour le BV du río Mendoza, la neige constitue la ressource principale.

Il y a d'abord les neiges de l'année, celles qui tombent en hiver et qui fondent petit à petit en prenant de l'altitude (jusqu'à 5000 m). Elles composent la ressource principale de l'oasis puisque 85 % de l'eau du río proviennent de la fonte des neiges (les 15 % restant résultant des pluies directes et de la fusion des glaciers) (SALOMÓN *et al*., sans date b). Ces **neiges annuelles sont donc la ressource à court terme**, tandis que **les névés, comme les glaciers, composent la ressource à moyen et long termes**.

La baisse avérée des précipitations neigeuses constituant la réserve annuelle d'eau, pose de graves problèmes de disponibilité de la ressource, or c'est un phénomène qui ne se « voit » pas et qui donc n'est pas vraiment pris en compte, d'autant moins que les fontes accrues génèrent des débits importants. Au contraire, le recul des glaciers est un phénomène visible qui intéresse beaucoup les scientifiques de ce monde.

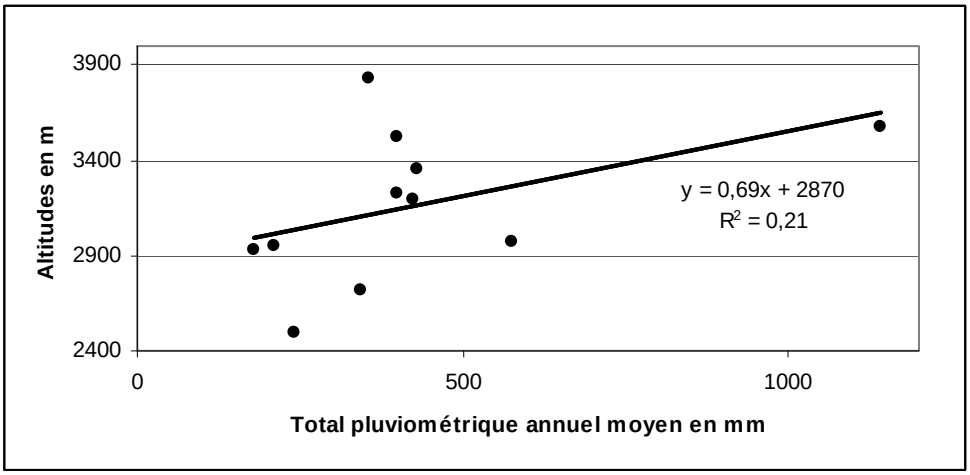
Au niveau de la haute vallée, trois stations météorologiques **(Fig. 7)** nous présentent un profil similaire : des précipitations peu abondantes (entre 240 et 360 mm par an) mais sous forme neigeuse, qui ne s'évaporent que peu, d'une part parce que la couverture nuageuse est plus importante qu'en plaine, mais surtout parce que les températures sont basses. BUSTOS (1977) considère le climat au *Cristo Redentor* (3829 m, **Fig. 11**) comme **péri-glaciaire** très actif puisque les températures peuvent atteindre -25 à -30°C ; « *ce qui a pour conséquence une intensité et une capacité de pénétration au gel très importante, à quoi il faut ajouter le fait que la neige balayée au sol par le vent n'exerce aucune protection* ». Certaines températures élevées (avoisinant les 10°C) produisent une fusion partielle, « *permettant des cycles localisés de gel-dégel, favorisant les phénomènes périglaciaires* » comme les sols polygonaux ou striés[31]. Ainsi l'humidité est-elle relativement élevée (entre 50 et 60 %) pour un site où les précipitations sont faibles. Les jours de gelées sont en outre nombreux (296 jours/an en moyenne) ce qui permet à l'eau précipitée sous forme de neige, de rester en altitude dans les glaciers.

[30] : Institut argentin de nivologie, de glaciologie et de sciences environnementales. L'IANIGLIA est un laboratoire du CONICET, l'équivalent de CNRS en Argentine.
[31] : 0n se reportera aux photographies de CAPITANELLI, 1967 (photo 2, p. 117 ; photo 3, p. 122).

Au *Puente del Inca* (2720 m), règne dans un **climat de montagne**, où les alternances de gel-dégel sont plus limitées qu'au *Cristo Redentor* puisque seuls deux mois d'hiver présentent des moyennes négatives. Dans les faits, on comptabilise en principe 142 jours de gel chaque année qui correspondent, comme pour la précédente station, à la période de plus fortes précipitations (mai à octobre, de la fin de l'automne au printemps).

A *Punta de Vacas* (2480 m), il n'y a pas de jour de gel, ce qui implique que la neige précipitée ne reste pas en altitude, elle est vite restituée au réseau superficiel bien que quelquefois stockée sous forme de névés en hiver.

Outre ces trois stations météorologiques complètes, on dénombre huit pluviomètres totalisateurs **(Fig. 7** et **Graph. 1)**



Graph. 1 : Gradient altitudinal des précipitations
Source : données multiples in Bustos, 1977

La lecture de ce **graph. 1** révèle une **quasi-absence de corrélation entre les altitudes et les quantités précipitées**, avec un coefficient de détermination de 0,20, ce qui est faible. D'ailleurs, si on excepte la dernière donnée (la *Plaza de Mulas*, sur le versant Ouest de l'Aconcagua), la droite est beaucoup plus « verticale » et le coefficient de détermination est alors de 0,13 seulement, ce qui signifie une absence de corrélation. Il faut d'ailleurs reconnaître que l'échantillonnage n'est pas très exhaustif. En effet, nous ne disposons que de peu de données. De plus, les précipitations sont irrégulières dans le temps et dans l'espace, ce qui limite le tracé d'une droite de régression. S'il est admis que les précipitations augmentent avec l'altitude, il est un seuil où les masses d'air humide sont vidées de leur eau et ne précipitent plus de pluie ni de neige (optimum pluviométrique). Ce seuil varie en altitude selon les massifs. Il ne faut donc pas expliquer les variations de précipitations par l'unique fait de la topographie. L'exposition des versants compte également (cf. *infra*).

La problématique principale n'est pas réellement les quantités précipitées mais la forme sous laquelle elles atteignent les versants et leur capacité à être stockées à long terme (Fig. 27). Ainsi, les températures importent bien plus que les précipitations. Selon BUSTOS (1977), l'isotherme 0°C est situé un peu en deçà de 2800 m en juillet, à près de 4400 m en janvier, et il l'estime en moyenne, sur une année, à l'isohyète 3600 m. Parallèlement, la limite pluie-neige est beaucoup plus basse, à 1700 m environ.

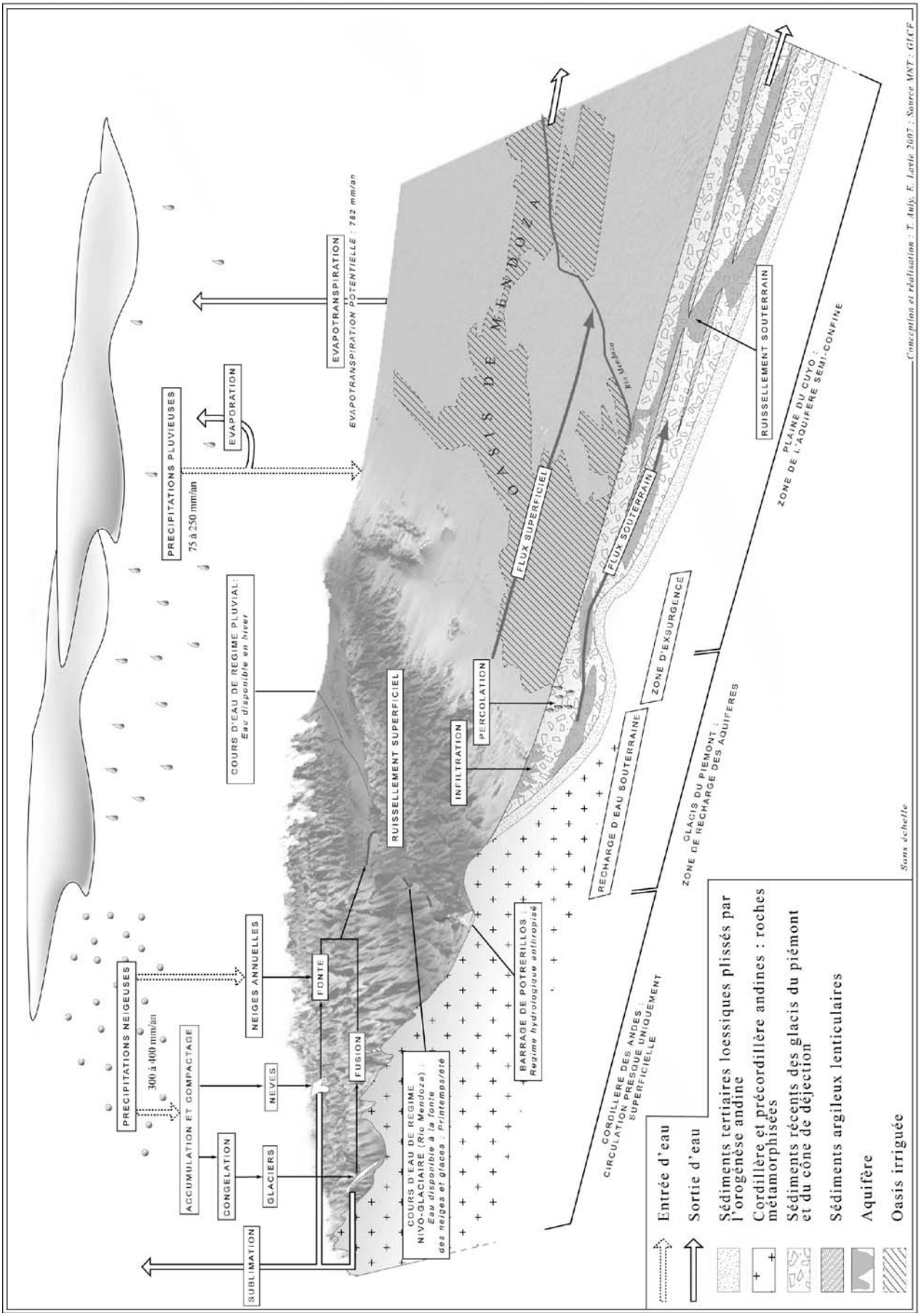
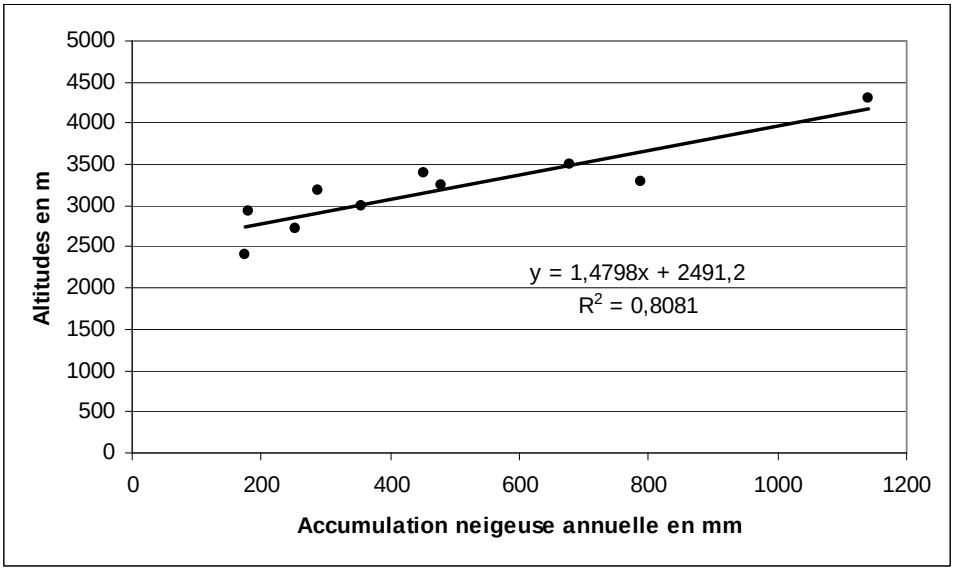


Fig. 27 : Entrées et sorties d'eau dans le BV du río Mendoza

La neige précipitée dans la moyenne et la haute vallée du río Mendoza constitue plus de 95 % des entrées d'eau dans l'oasis. Une première partie est restituée directement au réseau hydrographique, une seconde est stockée dans le manteau neigeux « annuel », une troisième dans les névés, la quatrième et dernière sous forme de glacier après congélation et compactage. Parce que les neiges persistantes sont rares, la grande majorité de la neige non congelée n'est stockée que pour une période inférieure à une année, ce qui fait du manteau neigeux la principale ressource à court terme.

Les apports de précipitations sous forme solide dépendent des fronts et des dépressions d'origine ouest et sud-ouest. Selon les spécialistes chiliens et argentins, les précipitations dans la haute vallée se concentrent en hiver, donc sous forme de neige (BUSTOS, 1977). De plus, « *le nombre de jours de précipitations est assez faible, ces derniers étant séparés par des jours à ciel complètement dégagé. L'épaisseur du tapis neigeux au moment de l'accumulation est faible ainsi que sa teneur en eau* » (*ibid*.). Le manteau neigeux est de fait très discontinu. La distribution de la neige dépend du vent et de l'exposition, ce qui crée un paysage de « taches » de neiges plutôt qu'un manteau neigeux continu.

Néanmoins, si ces deux faits climatiques (vents et exposition) influencent la distribution des neiges, leur accumulation et donc leur épaisseur dépendent avant tout de l'altitude. Au regard du **Graph. 2**, **la corrélation entre les altitudes et les épaisseurs de neige est nette**. En effet, les points de référence s'éloignent peu de la courbe de tendance et le coefficient de détermination est élevé (0,8).



Graph. 2 : Gradient altitudinal de l'accumulation neigeuse
Source : Données multiples in Bustos, 1977

Ainsi, en deçà de 2500 m, la neige ne s'accumule pas, elle se liquéfie très vite et ruisselle sur les versants de la Cordillère (BUSTOS, 1977). Entre 2500 et 3000 m, la neige cumulée pendant l'hiver (juin-août) disparaît en septembre et octobre. Entre 3000 et 4000 m, elle tient jusqu'en décembre. Elle fond plus lentement jusqu'à 5000 m où elle devient éternelle **(Fig. 27)**. La limite inférieure des neiges éternelle (5000 m) fixée par BUSTOS en 1977 avec beaucoup de réserves, varie selon les années.

Selon ABRAHAM *et al.* (2007), **85 % des débits du río Mendoza proviennent de la fonte des neiges saisonnières** (15 % viennent des pluies et de la fusion glaciaire). La neige de

l'année constitue donc la plus grande part de la ressource mendocina à court terme. L'eau solide de montagne est redistribuée sous forme liquide au système hydrographique de trois manières. D'une part, la fusion existe, même si la fonte est majoritaire. Cette eau de fusion « *ne s'écoule pas toujours librement mais s'infiltre sous une couverture de matériaux comportant une légère fraction argileuse, ce qui entraîne d'importantes conséquences morphologiques ainsi qu'un retard dans l'écoulement*[32] » (BUSTOS, 1977). D'autre part, une partie de l'eau s'écoule par sublimation, sous la forme de pénitents[33]. Ces « *pénitents sont dus à l'action prolongée du soleil dans une atmosphère sèche et froide. La sublimation de la neige permet aux crêtes de se maintenir au dessous de 0°C toute la journée, tandis que dans les couloirs entre pénitents, la température croît et la fusion fait son apparition dès le matin* » (*ibid.*). Les limites altitudinales de la formation des pénitents sont très variables. On estime qu'ils apparaissent entre 3500 et 4000 m en fonction de l'épaisseur de la neige et de la fusion dont l'action est très rapide ; ils disparaissent à partir de 5000 à 5400 m (sur les glaciers seulement). Enfin, la part la plus importante de la liquéfaction de la neige est assurée par la fonte de ces neiges annuelles.

En conclusion :

- **jusqu'à 2500 m, l'eau précipitée sous forme de pluie ou de neige, est instantanément restituée au réseau hydrographique** (une faible partie s'infiltre dans le sol détritique de la Cordillère), il s'agit de la réserve à très court terme ;
- **entre 2500 m et 4500 m, se situe la réserve à court terme**, c'est-à-dire les neiges de l'année ;
- **entre 4500 m et 5500 m** selon les expositions et les pentes, on trouve **la réserve à moyen terme.** Elle est constituée des névés et des fronts de glaciers ;
- enfin, **au-delà de 5500 m, c'est l'étage glaciaire avec la réserve à long terme (Fig. 27)**.

3-1-2- Des glaciers qui fondent

Les glaciers de Mendoza sont un héritage des glaciations quaternaires du Riss et du Würm. Autrefois les langues glaciaires ont atteint le site de *Punta de Vacas* ; aujourd'hui le complexe glaciaire mendocino se concentre dans une multitude de petits glaciers de cirque. On dénombre 980 corps de glace dans le BV, pour une surface de 664 km² (SAGPAN et DGI, 2006), mais seuls six glaciers sont vraiment importants en termes de quantités d'eau stockée et donc disponible (Gussfeldt, Vacas, Horcones Inférieur et Supérieur, cirque glaciaire du Plomo et celui du Cajón del Rubio) **(Fig. 28)**.

La majorité des glaciers est située en **exposition Est**. Les deux glaciers les plus importants (en termes de surface et non de volume), le glacier Gussfeldt et son voisin Vacas ont une exposition orientale. Ils représentent 3100 ha de glace, soit les ¾ **des glaces sans couverture du BV du río Mendoza** (en surface). Selon BUSTOS (1977), les vents d'ouest constants favorisent l'accumulation des neiges sur le versant Est, sous le vent de ligne de crête.

---

[32] : C'est d'ailleurs cette argile qui participait à l'imperméabilisation des canaux avant la construction du barrage de Potrerillos.

[33] : Pénitent : « *lames de neige granuleuse compacte grossièrement alignées est-ouest et penchées vers le soleil (c'est-à-dire le Nord dans l'hémisphère austral) qui couvrent tout un champ de neige en rangs serrés* ». Selon LLIBOUTRY, 1954, *in* BUSTOS, 1977.

La deuxième exposition est une question d'hémisphère. A 32° de lat. Sud, « *le soleil présente déjà une inclinaison au nord sur l'horizon* » (*ibid*.). L'**exposition Sud** est la moins ensoleillée et elle est alimentée par une provenance sud et sud-ouest des perturbations principales. Les complexes glaciaires du *Cajón del Rubio*, du *Plomo* ou d'*Horcones Inferior* comme *Superior*, connaissent une exposition Sud. Ce sont les réserves principales en termes de volume du BV.

Quelques glaciers se trouvent en **exposition Nord**, c'est le cas du glacier du versant Nord du *Tupungato*. Ils paraissent profiter de leur position sous le vent de ligne de crête des perturbations sud. Mais l'action du soleil est importante, ce qui explique la faiblesse de leur nombre et de leur surface. D'ailleurs, si les glaciers d'exposition Sud et Est se rencontrent dès 4000 m, les glaciers en versant Nord ont leur front à 4500 m.

Enfin, très rares sont les glaciers en **exposition Ouest**. Selon BUSTOS (1977), seuls quelques glaciers rocheux en bas de massif subsistent. L'absence de glaciers en exposition ouest en altitude s'explique par l'action combinée du soleil et des vents d'ouest réchauffés de l'après-midi (plus efficaces que le soleil et les vents matinaux), qui a pour conséquence d'accélérer la fusion sur les versants d'exposition ouest.

Ces généralités climatiques expliquent en grande partie la morphologie glaciaire de la haute vallée du río Mendoza. Cependant il est important de prendre en compte les dispositions des reliefs (lignes de crête, % de pente…) dans le paysage. Les glaciers représentent moins de 10 % de l'alimentation hydrique annuelle de l'oasis, la fonte des neiges de l'année assurant la plus grande part de la ressource. Néanmoins, **ces glaciers constituent la seule véritable ressource à long terme** dans un contexte où les précipitations diminuent d'années en années et où **le réchauffement climatique a accéléré la fusion des glaciers.**

Les études les plus alarmistes (Greenpeace, 2003) prévoient une disparition des glaciers non pas en 2100 comme les experts du GIEC le prétendent, mais en 2040, et donc une disparition de l'oasis de Mendoza, incapable de s'alimenter en eau, pour l'agriculture ou l'AEP. Selon l'auteur, l'Argentine ne peut régler seule la question de l'effet de serre aussi l'oasis doit-elle accepter dès maintenant l'idée que ses ressources hydriques vont baisser et s'adapter en conséquence. L'exemple péruvien, plus avancé dans cette dégradation, doit servir de référence (AMES MARQUEZ et FRANCOU, 1995, et POUYAUD *et al*., 1996).

Plus précisément, la rivière est alimentée principalement par deux glaciers, celui de los Horcones (glacier du Mont Aconcagua, à l'origine du río Horcones) et surtout les langues glaciaires dites du Plomo, donnant source au río Plomo, affluent du Tupungato, faisant du río Tupungato le principal bassin d'alimentation du río Mendoza **(Fig. 12)**.

Les études réalisées par l'IANIGLA (CONICET) sur le recul des glaciers du BV du río Mendoza permettent dans le détail d'évaluer le net recul des glaciers andins :

- **Le recul spectaculaire du glacier de los Horcones**

En 2005, les glaciologues de l'IANIGLA constatèrent qu'en seulement un an, ce glacier d'une largeur de 8 km **avait avancé de 4 km** ! En été, l'avancée était en moyenne de 30 m par jour ! (ICARDI, 2005). La cause incombe selon l'IANIGLA à l'effet de serre, qui a provoqué la hausse des températures en altitude. L'isotherme 0°C, permettant à la fois le gel et les précipitations sous forme de neige, s'est élevé en un an (2004-2005) de 700 à 1000 m ! Sur un même point, la température s'est élevée de 4°C.

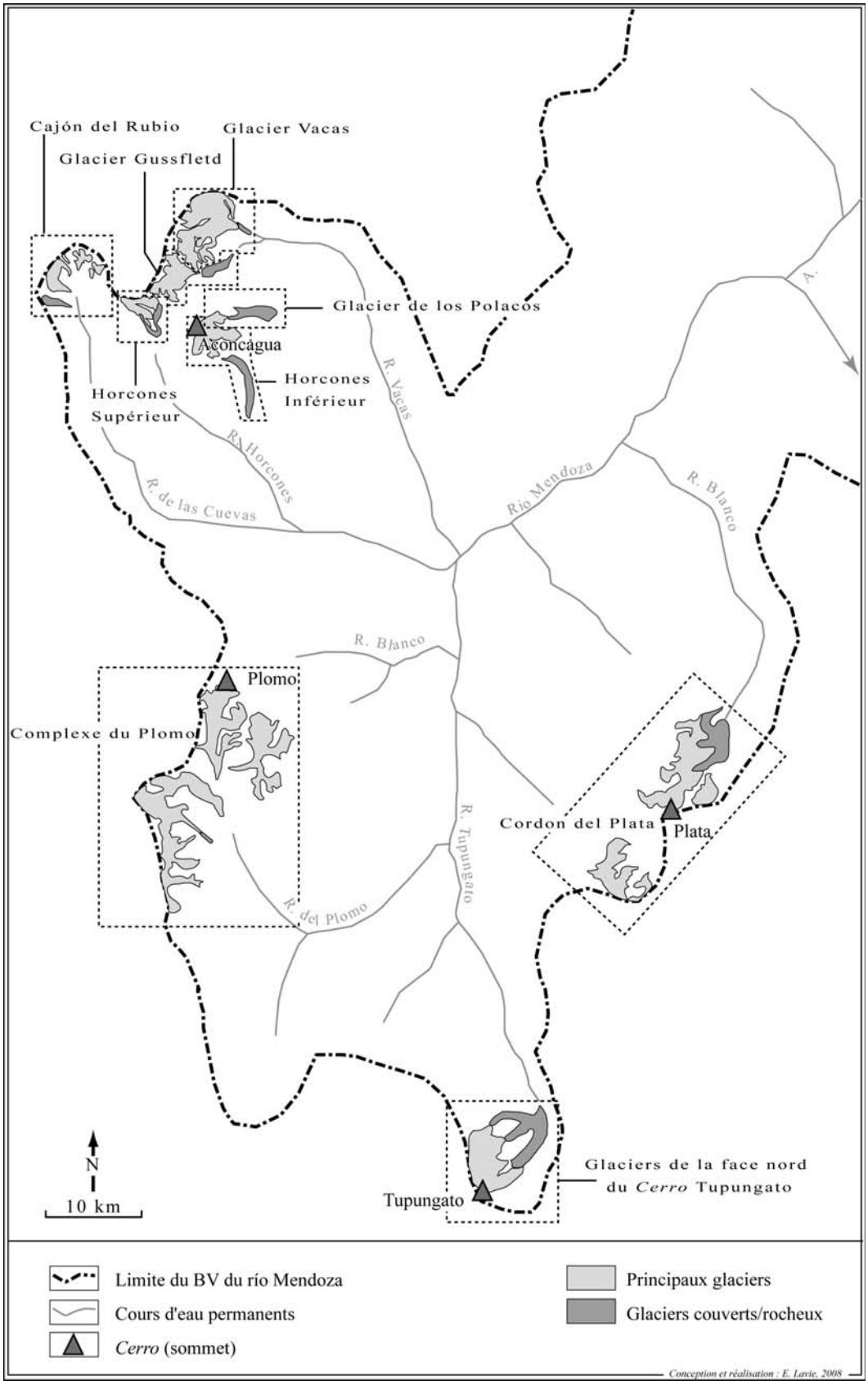


Fig. 28 : Localisation des glaciers du BV du río Mendoza

Les conséquences sont d'une part la fonte du glacier et donc son avancée brusque[34], sa perte en volume, mais aussi la hausse insolite du nombre d'avalanches de glaces tombant de la face Sud de l'Aconcagua, et l'augmentation du débit du río Horcones.

Aujourd'hui l'avancée s'est ralentie (USACH, 2007) et les glaciers de l'Aconcagua sont équipés d'un GPS permettant au CONICET de suivre de manière plus précise et plus régulière son évolution.

- **Le Cajón del Rubio**

Si on remonte le río de las Cuevas, d'aval en amont, on rencontre son affluent principal, le ruisseau de los Horcones **(Planche photos 9 photo b)**, 100 m après avoir passé le site du *Puente del Inca* **(Photo c)**, cette arche travertineuse d'origine thermale sur le río de Las Cuevas. Au village de Las Cuevas, la route nationale vers le Chili emprunte un tunnel passant sous la Cordillère Principale, c'est la limite de la zone accessible en hiver. Voilà pourquoi nous ne disposons que de relativement peu de données sur la partie amont du BV de las Cuevas, cette vallée n'étant accessible qu'à pieds qu'en été, et en hélicoptère selon les conditions météo le reste de l'année.

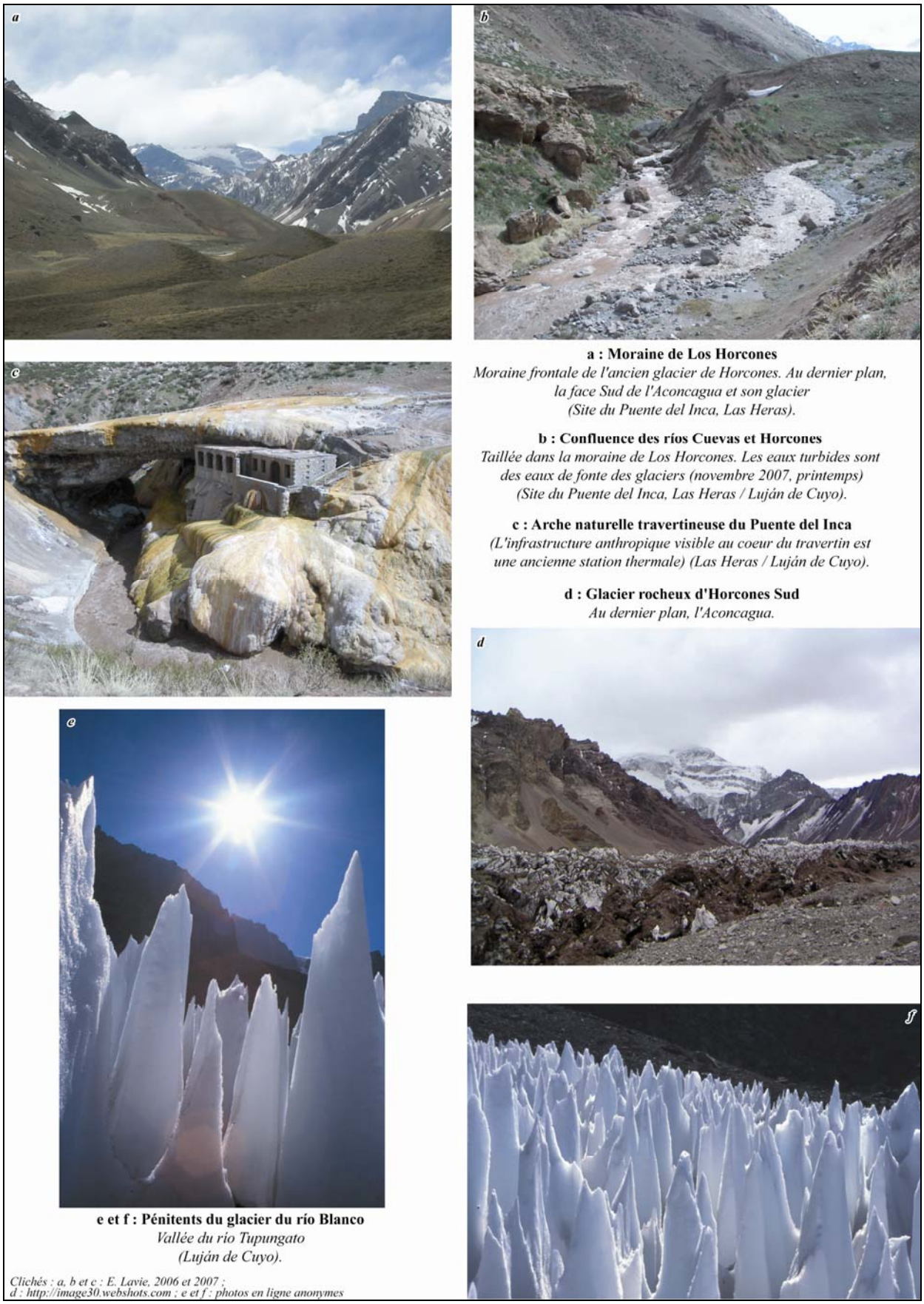
La vallée glaciaire porte le nom de *Quebrada de Matienzo* (Gorge de Matienzo). Il s'agit d'une vallée en auge dont les versants aux forts dénivelés (1000 m environ en moyenne) n'accueillent presque aucune végétation. Selon BUSTOS (1977), la forme de la *quebrada* « *est plus dépendante des hauts niveaux d'accumulation et de l'évolution post-glaciaire des versants, que le produit de l'érosion glaciaire, au sens strict* ». Cette vallée encaissée, de direction nord-sud, alignée sur la même faille que la vallée du Plomo (cf. *infra*), délimite l'ouest du horst de l'Aconcagua. Après 25 km de développement, la vallée s'ouvre en cirque glaciaire hérité du Pléistocène, où des reliques des glaciers quaternaires alimentent encore le río de las Cuevas : il s'agit d'un glacier rocheux (sans nom), des glaciers Piloto Ouest et Est, du glacier de los Indios, du glacier Alma Blanca, de celui del Olvido, et del Paso Norte **(Fig. 29)**. L'ensemble glaciaire, appelé *Cajón del Rubio* (Encaissement du Blond), est situé entre 4185 et 4900 m d'altitude (GREENPEACE, 2003). Ce cirque glaciaire, principal pourvoyeur d'eau du río de las Cuevas, est de fait un secteur important de stockage de l'eau sous forme de glace pour notre BV, quoique moindre par rapport aux glaciers d'Horcones (cf. *supra*) et del Plomo (cf. *infra*). Le *Cajón del Rubio* est néanmoins intéressant parce que son exposition Sud en fait un espace relativement peu ensoleillé, où des manifestations péri-glaciaires comme les sols polygonaux apparaissent à des altitudes plutôt basses, comme le notait BUSTOS en 1977.

Afin d'évaluer la progression des glaciers du *Cajón del Rubio*, nous nous sommes appuyée sur les travaux de l'IANIGLA, *in* LEIVA (1999).

A la lecture du graphique **(Fig. 29)**, il s'avère notable que sur l'ensemble des 20 années du suivi de l'IANIGLA (1979-1996), le glacier principal (Piloto Est) est en recul, notamment depuis 1992, malgré des phases d'avancées relativement courtes. Le glacier Piloto Est est pourtant celui qui, spatialement, a le moins perdu de glace. L'Alma Blanca, glacier principal sur la cartographie de 1996, est celui qui a subit le plus fort recul, avec pas moins de 200 m d'altitude, la base passant de 4000 m à 4200 m en 10 ans.

De fait, si certaines périodes ont vu l'augmentation de la masse glaciaire du Piloto Est, le bilan cumulé indique une perte de 636 cm d'eau, avec une moyenne annuelle de 117 cm d'ablation de glace.

[34] : La fonte provoque un accroissement de l'écoulement au contact du soubassement ce qui favorise le glissement de la glace.



a : Moraine de Los Horcones
Moraine frontale de l'ancien glacier de Horcones. Au dernier plan, la face Sud de l'Aconcagua et son glacier (Site du Puente del Inca, Las Heras).

b : Confluence des ríos Cuevas et Horcones
Taillée dans la moraine de Los Horcones. Les eaux turbides sont des eaux de fonte des glaciers (novembre 2007, printemps) (Site du Puente del Inca, Las Heras / Luján de Cuyo).

c : Arche naturelle travertineuse du Puente del Inca
(L'infrastructure anthropique visible au coeur du travertin est une ancienne station thermale) (Las Heras / Luján de Cuyo).

d : Glacier rocheux d'Horcones Sud
Au dernier plan, l'Aconcagua.

e et f : Pénitents du glacier du río Blanco
Vallée du río Tupungato (Luján de Cuyo).

Clichés : a, b et c : E. Lavie, 2006 et 2007 ; d : http://image30.webshots.com ; e et f : photos en ligne anonymes

Planche photos 9 : Paysages de haute montagne

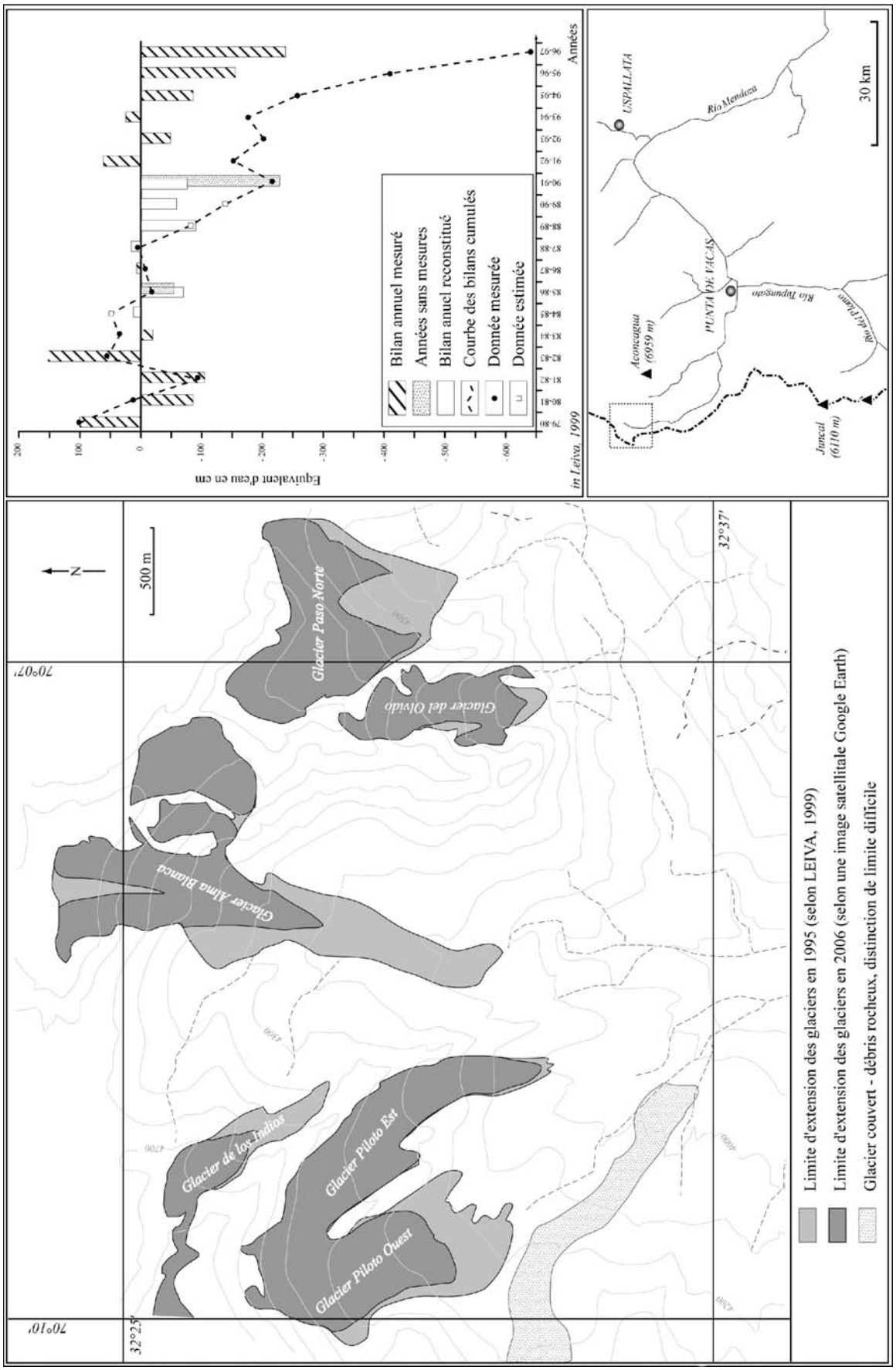


Fig. 29 : Fluctuations spatiales des glaciers du Cajón del Rubio
Sources : carte : en partie d'après Leiva, 1999 et image sat Google Earth ; graphique : Leiva, 1999

Selon LEIVA (1999), les courtes augmentations dans le temps, de la quantité de neige sur les glaciers, sont à mettre en rapport avec les phénomènes El Niño apparus ces années là. Un épisode El Niño se traduit par un affaiblissement des alizés ce qui permet à quelques perturbations d'origine marine d'affecter la Cordillère. Il pleut (ou neige) alors sur les Andes. De fait, même si ce phénomène affecte plutôt la zone intertropicale plus au nord, il semble que les côtes chiliennes à la latitude de Mendoza (32°S), soient concernées par une augmentation des quantités de neiges précipitées. Les vents transportent alors ces masses humides sur le versant argentin, permettant une accumulation d'eau neigeuse, puis glacée à hautes altitudes.

- **La masse glaciaire du Plomo en danger**

Le complexe glaciaire du Plomo constitue donc la **principale ressource hydrique solide** de l'oasis. C'est également celui pour lequel nous disposons du suivi le plus long et le plus précis par les glaciologues.

Les premières cartes dont disposent les Ingénieurs de l'IANIGLA ont été établies par HELBBLING et REICHER en 1912 (LEIVA, 1999), suite à une exploration de terrain dans la vallée du río del Plomo entre 1908 et 1912. La cartographie réalisée au 1 : 25 000 présente trois grands glaciers dans la zone : l'immense glacier du Plomo et les petit et grand glaciers du Nevado (Grande y Pequeño del Nevado) **(Fig. 30)**. Ces premières cartes ont été suivies d'une seconde campagne de terrain en 1933, puis les travaux se sont multipliés. Les ingénieurs disposent donc aujourd'hui de près d'un siècle d'informations, plus où moins régulières, auxquelles se sont ajoutées les photographies du début du XXème siècle, que l'on retrouve peu à peu et qui permettent de compléter les mesures de terrain. Ainsi, il résulte que 1909, date des données mesurées les plus anciennes, doit être considérée comme année de référence 0. Des études sur les fluctuations glaciaires au Quaternaire ont également été réalisées[35], à partir des témoignages morphologiques (en particulier les moraines). Mais il nous paraît plus pertinent de nous attacher à l'évolution très récente des glaciers de haute montagne puisque celle-ci a accompagné la mutation de l'oasis vers une méga-oasis à vocation commerciale.

Selon Juan Carlos LEIVA (1999), entre 1909 et 1933 le glacier Grande del Nevado a avancé jusqu'à atteindre le río del Plomo et le barrer. Un lac de 60 millions de m^3 s'était formé en amont de cette barrière de glace. Le poids de l'eau retenue fît céder cet embâcle provoquant une crue catastrophique qui a emporté l'ancien barrage de Cacheuta. Les cartographies de 1934 indiquent que le glacier Juncal I et ses tributaires Alfa, Beta et Gama, étaient clairement détachés du glacier del Plomo suite à leur recul. Ce dernier reculant encore, s'est divisé entre le glacier Juncal II et le glacier del Plomo (Alto del Plomo).

En 1955, à l'exception d'une légère avancée du Juncal I, les nouvelles observations de terrain indiquent un nouveau recul de tous les glaciers, même des tributaires Alfa, Beta et Gama de ce même Juncal I. Plus au nord, le Juncal II, en très net recul (3000 m en 20 ans), était totalement désolidarisé du glacier du Plomo (Alto). Celui-ci, malgré un recul très limité (une centaine de mètres), libéra des glaces la confluence entre la vallée nord (glacier Alto del Plomo) et son affluent est (Bajo del Plomo).

1963 marque le début d'une nouvelle avancée mesurée du Grande del Nevado, d'abord rapide (1000 m en dix ans (1963/1974)), puis très lente (quelques mètres entre 1974 et 1982). Puis, l'avancée entre 1982 et 1984 est impressionnante : presque 3 km en deux ans.

[35] : Notamment les travaux de Lydia E. ESPIZUA, chercheur au CONICET, dont *Glaciaciones cuaternarias en el valle del río Mendoza, Andes argentinos*, 2002, publication en ligne du CONICET.

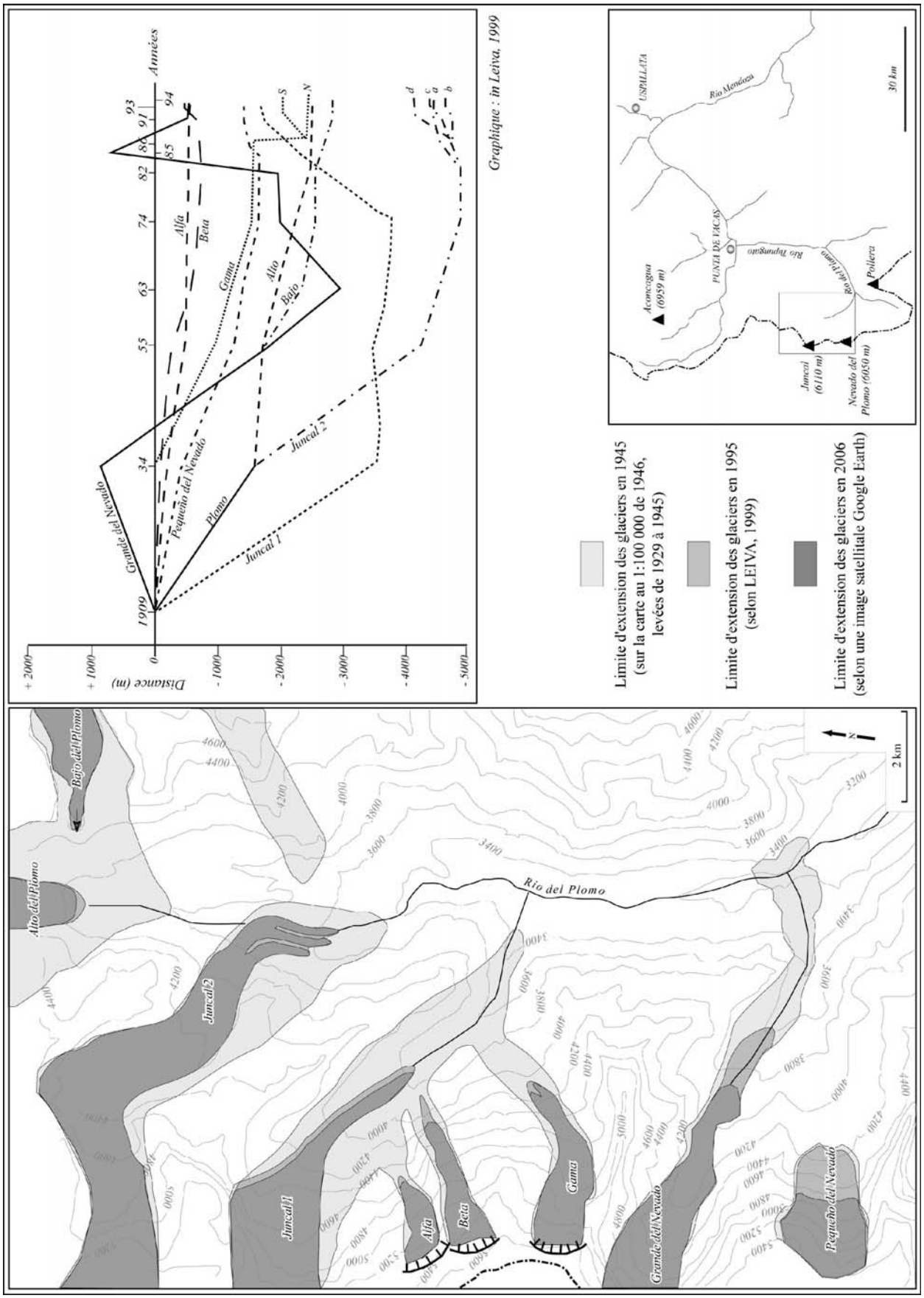


Fig. 30 : Fluctuations spatiales des glaciers du complexe du Plomo

Sources : carte : en partie d'après carte au 1/100 000 (Ministère des armées), Leiva, 1999 et image sat Google Earth ; Graphique : Leiva, 1999

En 1984 le glacier atteint de nouveau le río del Plomo et le barre, formant une nouvelle retenue. En février 1985, l'augmentation anormale du débit du río Tupungato (dont le río del Plomo est un affluent) a indiqué aux chercheurs que les eaux s'étaient libérées. Depuis cette date, le Grande del Nevado n'a cessé de reculer.

En 1999, on estimait que les glaciers semblaient ré-avancer très légèrement, à l'exception du Grande del Nevado. D'après LLORENS (2002), doctorante en géographie et rattachée au CONICET, l'absence d'information année par année masque en partie les variations plus ou moins marquées des avancées et reculs des glaciers. Cependant le travail de l'IANIGLA permet de connaître les grandes tendances des fluctuations glaciaires au cours du siècle dernier.

A partir d'une image satellitale de 2005 (Google Earth), nous avons pu délimiter le contour actuel des glaciers du complexe Plomo/Juncal/Nevado. Rapporté sur la cartographie établie par LEIVA en 1999, il est net que la masse glaciaire a de nouveau reculé **(Fig. 30)**.

Dans les faits, il résulte de ces études que **la tendance générale est au recul**, mais que les glaciers peuvent avancer de manière spectaculairement rapide. Or on sait que même avec un refroidissement important, un glacier ne peut pas avancer de 3000 m en deux ans (comme le Grande del Nevado ou l'Horcones inférieur) tout en gardant le même volume et la même épaisseur. Les études sur les fluctuations des glaciers en distance ne suffisent pas, elles doivent être complétées par des mesures de débit, de volume et d'épaisseur des langues glaciaires. En effet, il est de plus en plus admis que les avancées rapides des glaciers sont dues à un certain « réchauffement » de la glace. Celle-ci, moins froide, flue vers l'aval plus rapidement, souvent portée par un film d'eau liquide entre sa base et son soubassement. Il semblerait que ce soit le cas des variations du Grande del Nevado, mais également de l'avancée ininterrompue du Juncal I depuis une trentaine d'années maintenant.

Selon la *Nación*, (WALKNER, 2001) il s'avèrerait que les glaciers Juncal I et II auraient reculé de 7 km par rapport à 1914, soit une perte en surface de 25 km², et en volume de 1200 millions de m^3 (33 % de leur volume total), soit également l'équivalent de deux ans de débit moyen du río Tupungato. Le débit du río Plomo a augmenté, interdisant désormais sa traversée à pied. Selon le chercheur, la présence de pénitents **(Planche photos 9)** de grande hauteur formés par sublimation de la glace, manifeste un état de détérioration des glaciers.

Dans l'ensemble, il est admis que les glaciers, même s'ils ne reculent pas forcément, perdent de leur volume en glace et les réserves d'eau de l'oasis s'amenuisent d'année en année. D'après un rapport de l'association Greenpeace de 2003, citant les travaux du GIEC de 1998, les glaciers andins centraux disparaîtraient avant le XXIIème siècle !

Selon SALOMON (2003a), les avancées des glaciers peuvent également s'expliquer par des phénomènes de latence, en relation avec de fortes chutes de neiges tombées dans une période antérieure. Elles peuvent aussi être dues, et c'est par exemple le cas du Perito Moreno (Patagonie argentine, parc de los Glaciares), à un basculement du soubassement du bassin-versant, ce qui augmente les possibilités d'alimentation en glace.

3-2- Une demande en hausse

Dans un contexte où les usages se multiplient, où les mesures d'hygiènes se durcissent, et où le secteur privé de la gestion de l'eau surpasse le secteur public, il est logique que les besoins et la demande augmentent. Dans les faits, si l'offre paraît augmenter à court

terme avec la fonte des glaciers, l'efficacité des réseaux de distribution ne fait qu'accroître le phénomène.

3-2-1- Une infrastructure moderne sur le plan de la distribution…

Des ouvrages hydrauliques de plus ou moins grande ampleur permettent une alimentation plutôt efficace de l'oasis et donc un approvisionnement maîtrisé des usagers de la ressource **(Planche photos 10)**. Parmi eux, on peut notamment citer les infrastructures lourdes comme les barrages et les canaux, ou plus petites comme les écluses et les pompes.

- **les barrages**

Les barrages sont les ouvrages publics qui impressionnent le plus de par leur taille et leur importance, seulement ils ne sont que le premier chaînon du système de distribution de l'eau superficielle. Les plus gros sont situés dans les autres oasis de la province. Celle qui nous concerne, l'oasis du río Mendoza, possède deux ouvrages de grande ampleur, complétés par une multitude de petits barrages sur les canaux et des écluses. Ces deux barrages sont celui **de Potrerillos**, en haute montagne, dont la finalité est de constituer une réserve, permettant de réguler les arrivées d'eau dans l'oasis et donc le régime hydrologique (nivoglaciaire) du río en aval du barrage et, une cinquantaine de kilomètres en aval, le **barrage de Cipolletti**. On citera pour information un troisième barrage, celui de Compuertas situé un kilomètre en amont de la prise de Cipolletti, mais dont le rôle est secondaire pour l'oasis puisqu'il n'alimente qu'une petite zone agricole en amont de l'agglomération, le complexe pétroléo-gazier de Luján (PIP) et la centrale thermique de Mendoza-Luján.

Le barrage de Potrerillos, entièrement rempli en 2004, a une capacité de 420 hm^3. Le lac de retenue est profond (107 m) et mesure 12 km de long sur 3 de large, créant une surface ennoyée de 1500 ha. Appuyé sur deux collines dans la Précordillère, ce barrage de 114 m de haut pose des problèmes au niveau sismique car il est situé sur une zone faillée. Il est donc particulièrement surveillé par les hydrogéologues. Précisons qu'outre une fonction première de régulation du régime hydrique du río Mendoza, l'ouvrage a aussi une finalité hydroélectrique (760 GW par an) et le lac de retenue revêt une fonction touristique non négligeable. Cette œuvre a beau être récente, elle a néanmoins été pensée dès 1909 par l'Ingénieur DUCH qui avait réalisé cette année là un rapport sur la nécessité de construire un barrage sur le río Mendoza à la hauteur d'Uspallata.

Quand le río Mendoza entre dans la plaine, parcourant son cône de déjection, il est coupé dans toute sa largeur par le barrage de Cipolletti. Cet ouvrage n'a pas pour vocation à créer un lac de retenue même si dans les faits il s'est formé, mais seulement à dévier les eaux vers le canal Matriz. Ce barrage, voulu par le Gouverneur ORTEGA et construit par l'Ingénieur CIPOLLETTI à la fin des années 1880, a été remodernisé en 1947 et aujourd'hui le DGI estime qu'il dérive en moyenne 80 m^3 d'eau par seconde (données 1995)[36]. Dès son entrée dans le canal Matriz, une partie de l'eau est déviée vers un immense siphon, qui transporte l'eau vers les espaces irrigués de la rive droite du río, de manière souterraine, sous le lit même du río Mendoza **(Planche photos 1, photo h)**.

[36] : Le problème c'est que la même source estime que le débit moyen du río Mendoza à hauteur du barrage avoisine les 50 m^3/s **(Fig. 12)**, et qu'une partie des eaux n'est pas déviée mais poursuit sa route dans l'immense lit majeur du río. La discordance des chiffres mis à notre disposition par les services argentins fut régulière.

- **Les canaux et écluses**

L'approvisionnement en eau de l'oasis se fait donc par une série de canaux, selon une hiérarchie plutôt bien organisée. En 1995 (DGI) on recensait 4920 km de canaux, dont seulement 90 imperméabilisés (soit 1,8 %) d'où une perte nette d'eau conséquente.

Des écluses coupent ces canaux et permettent de rediriger l'eau dans les canaux secondaires, soit de manière automatique pour les plus gros, soit de manière manuelle pour les autres. On citera à titre d'exemple : la porte-écluse Mayor Drummond qui sépare le canal Gran Matriz en deux canaux matriz, le Cacique Guaymallén et le Matriz San Martín ; et la porte-écluse Carrodilla qui dérive les eaux de Cacique Guaymallén vers le canal Civit, qui alimente la station d'épuration Alto Godoy dans le parc San Martín.

- **Les pompes**

Dans la période qui s'étend de 1967 à 1972, le contexte politico-économique a autorisé la multiplication des forages dans la nappe souterraine (tous niveaux d'aquifère confondus). La sécheresse hydrique fréquente, un secteur primaire de haute rentabilité et des aides fiscales ou des déductions d'impôts, favorisaient les investissements dans cette zone aride. Au total, on dénombre aujourd'hui dans l'oasis du río Mendoza 10 880 puits dont 5 540 en activité (DGI, 1999). Les forages dans l'aquifère libre ont de 100 à 200 m de profondeur **(Fig. 21)**. Dans la zone de décharge (exsurgence) certains puits dépassent 80 m de profondeur, mais il n'est pas rare de trouver de l'eau à 5 m du sol. La nappe phréatique de la zone de semi-confinement n'est pas loin de la surface mais son exploitation a été abandonnée pour des questions de salinité. Des études sur la qualité hydro-chimique des aquifères ont défini deux autres niveaux d'exploitation, un situé entre 100 et 180 m de profondeur et un second qui dépasse -200 m.

3-2-2- … mais pas toujours efficace mais sur plan qualitatif

Nous verrons en Quatrième Partie que ces infrastructures de distribution, bien que modernes dans l'ensemble, ne sont pas vraiment efficaces sur le plan qualitatif. Il reste cependant important de préciser qu'en termes de quantités, des difficultés subsistent.

- **Les macro-déchets abaissent les débits**

La thématique des macro-déchets[37] est de plus en plus médiatisée à Mendoza, puisqu'en termes de pollution, elle prend une place de plus en plus importante. La gestion de leur devenir et leur prolifération en ville et dans l'oasis inquiète. Cela dit, en matière de gestion de la quantité de la ressource en eau, ce sujet est assez peu relayé dans les journaux ou à la télévision. En effet, seul le monde agricole est véritablement gêné. Les canaux et autres drains ne sont pas couverts, permettant aux déchets d'y « tomber ». C'est particulièrement le cas des *acequias* du centre-ville, réceptacle d'une grande partie de la pollution urbaine (cf. *infra*).

Ces déchets circulent dans les canaux et se trouvent bloqués par les écluses ou les ponts **(Planche photos 8)**. Les eaux ainsi bloquées débordent, abaissant les débits des canaux

[37] : Macro-déchets. Nous nommerons macro-déchets les résidus solides, plus communément appelés « poubelles » ou « détritus » que les Argentins nomment RSU, soit *Residuos Solidos Urbanos*, résidus solides urbains. Nous utiliserons également le terme de macro-polluant, en opposition au micro-polluant, celui qui ne se voit pas à l'œil nu (chimique, physique (particule) ou biologique).

à vocation agricole. De ce fait, on estime que la perte d'efficience de la distribution des eaux dans l'ensemble du réseau de canaux, drains et collecteurs de l'oasis peut atteindre 40 %. Ce chiffre, très élevé pour un milieu où l'on manque d'eau, a été déterminé suite à une dizaine d'années de suivi des débits des canaux par l'INA de Mendoza (MORÁBITO, 2003).

- **Le barrage de Potrerillos ou la fin du pouvoir imperméabilisant des eaux de fonte des neiges**

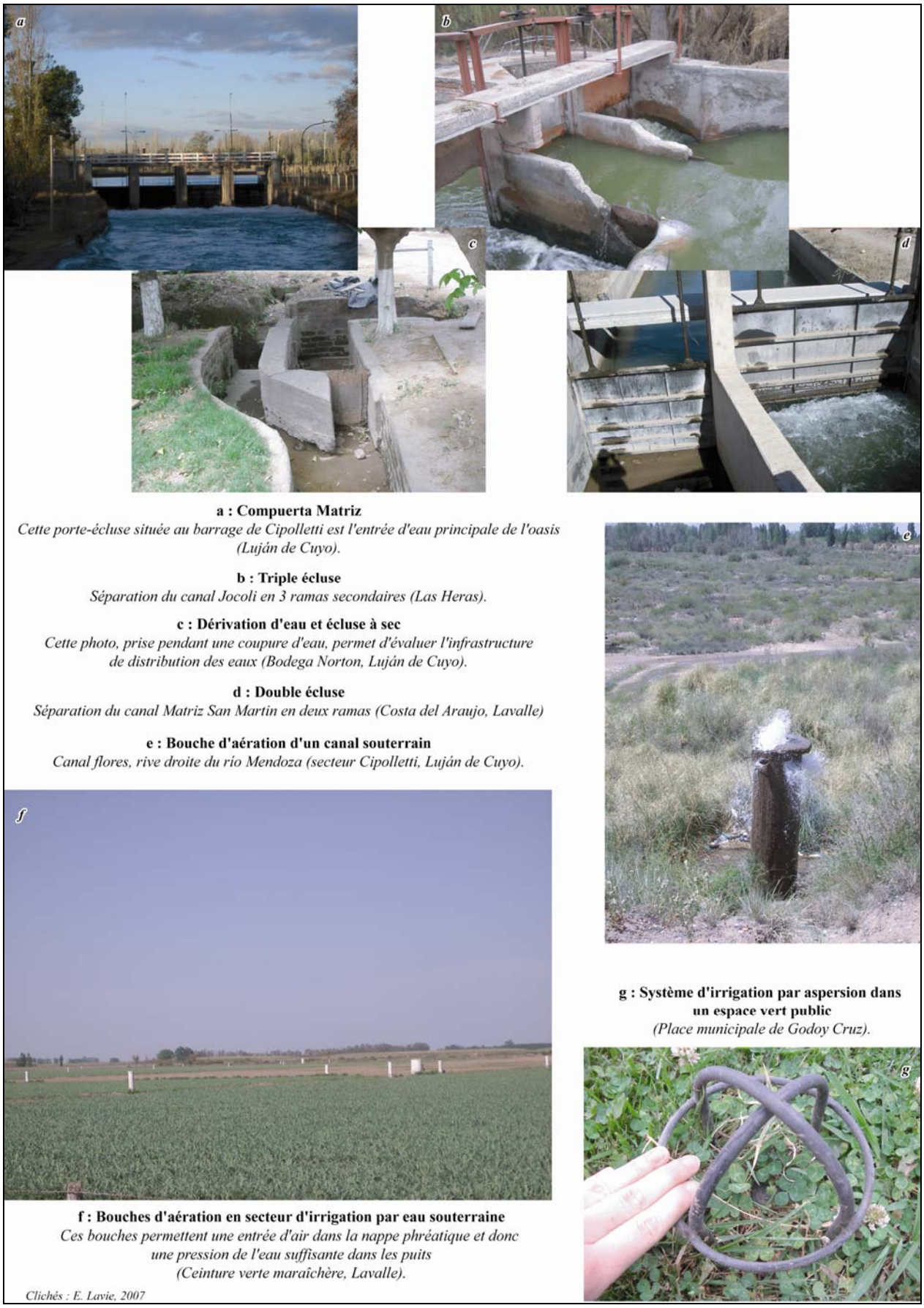
Les eaux de fonte des neiges, qui représentent quelques 85 % de la ressource en eau de l'oasis (cf. *supra*) sont des eaux troubles, chargées de sédiments, de couleur marron, dont la particularité était une capacité à imperméabiliser le fond et les côtés des canaux de distribution non imperméabilisés artificiellement. Les sédiments sablo-argileux colmataient les parois des canaux, limitant les pertes en eau par infiltration, estimées en 2003 à 36 à 40 % dans l'ensemble de 3500 km de canaux de l'oasis (MORÁBITO, 2003). Mais aujourd'hui (depuis fin 2004), le barrage de Potrerillos retient les eaux de fonte des neiges et des glaciers en altitude, retenue au fond de laquelle se précipitent les sédiments. C'est ainsi une eau particulièrement claire qui quitte le barrage, soit pour alimenter les deux centrales hydro-électriques de Cacheuta et d'Alvarez Condarco, soit pour rejoindre le lit naturel du río. Toujours est-il que nous avons mesuré par deux fois une turbidité d'une centaine de FNU[38] sur la rive du lac de Potrerillos, en sa partie amont, contre à peine 2,5 FNU dans le río Mendoza en aval de la centrale Alvarez Condarco.

Les eaux qui entrent dans le réseau d'irrigation au niveau du barrage de Cipolletti sont limpides (entre 1 et 4 FNU selon notre base de données). Or, les eaux claires sont un problème majeur pour le Département d'Irrigation (DGI) puisque la fin du pouvoir imperméabilisant a accru les pertes en eau par infiltrations. Le chiffre de 36 à 40 % de pertes en 2003 est donc aujourd'hui bien en deçà de la réalité. Malheureusement, aucune étude à long terme n'a pu être menée, le DGI n'ayant pas assez d'années de recul pour une telle évaluation.

En ce qui concerne les eaux superficielles, le débit annuel moyen dérivé du río Mendoza au niveau du barrage de Cipolletti est de 1 136 hm^3. Selon l'INA (MORÁBITO, 2003), entre 36 et 40 % de ces eaux s'infiltraient avant 2004, soit 450 hm^3 environ. Sur les 686 hm^3 restants, jusqu'à 40 % (*Ibid.*) des débits sont perdus par débordements des canaux bouchés par les macro-déchets. Il ne demeurait donc que 410 hm^3 d'eau disponibles pour les agriculteurs et les autres usagers avant 2004, bien moins aujourd'hui. L'efficience de la distribution de l'eau évaluée à 36 % en 2003 par José MORÁBITO avoisine en 2007 les 30 %. Deux-tiers des eaux superficielles distribuées au réseau commun industriel, agricole et domestique sont perdus par débordement ou infiltrations. Les infrastructures de distribution, aussi modernes soient-elles, révèlent une efficacité réellement basse, voire inquiétante pour l'avenir de l'oasis.

La question qui se pose alors est celle du recours à l'utilisation de la ressource souterraine. Est-elle pour autant plus intéressante ? En effet, les pertes en eau du réseau superficiel alimentent les nappes souterraines, permettant de récupérer cette eau par forages. Néanmoins, la question qui se pose, outre la disponibilité quantitative de cette ressource souterraine, est celle de sa qualité et de son intérêt économique, étant donné le coût des forages.

[38] : FTU : *Formazine Turbidity Unit*, unité internationale de mesure de la turbidité de l'eau, équivalente au NTU : *Nephelometric Turbidity Unit*.



a : Compuerta Matriz
Cette porte-écluse située au barrage de Cipolletti est l'entrée d'eau principale de l'oasis (Luján de Cuyo).

b : Triple écluse
Séparation du canal Jocoli en 3 ramas secondaires (Las Heras).

c : Dérivation d'eau et écluse à sec
Cette photo, prise pendant une coupure d'eau, permet d'évaluer l'infrastructure de distribution des eaux (Bodega Norton, Luján de Cuyo).

d : Double écluse
Séparation du canal Matriz San Martin en deux ramas (Costa del Araujo, Lavalle)

e : Bouche d'aération d'un canal souterrain
Canal flores, rive droite du río Mendoza (secteur Cipolletti, Luján de Cuyo).

f : Bouches d'aération en secteur d'irrigation par eau souterraine
Ces bouches permettent une entrée d'air dans la nappe phréatique et donc une pression de l'eau suffisante dans les puits (Ceinture verte maraîchère, Lavalle).

g : Système d'irrigation par aspersion dans un espace vert public
(Place municipale de Godoy Cruz).

Clichés : E. Lavie, 2007

Planche photos 10 : Quelques équipements de distribution

- **Des pompes mal entretenues**

De études réalisées par l'INA (CRA, CRAS ou CELA) ont démontré que de nombreux puits destinés au pompage de l'eau souterraine étaient mal entretenus, voire cassés, facilitant la salinisation des eaux en profondeur, notamment dans ce que l'on appelle la zone centrale du bassin nord, soit entre les ríos Tunuyán inférieur et Mendoza, au niveau de la zone agricole 6 et de l'oasis du Tunuyán inférieur où 80 % des puits sont cassés. Ces infiltrations d'eaux salées, bien que problématiques sur le plan qualitatif puisqu'ils accélèrent la salinisation des nappes (cf. *infra*), n'en demeurent pas moins inquiétantes sur le plan des quantités. Malgré nos recherches, nous n'avons pu nous procurer de chiffres d'évaluation des pertes en eau dues au mauvais entretien des forages, mais cette réalité est à prendre en compte.

Néanmoins, les infrastructures de distribution et leurs pertes en eau ne sont pas seules en cause dans la raréfaction de la ressource, puisque toutes les études réalisées à Mendoza ces dernières années concluent à une très nette augmentation de la demande et donc des prélèvements.

3-2-3- Des prélèvements en hausse

Les usages de l'eau à Mendoza sont donc nombreux et il faut distinguer les usages consomptifs des non-consomptifs. Les usages non-consomptifs sont ceux dont les activités utilisent l'eau en n'en restituant qu'une partie, voire pas du tout. Les usages non-consomptifs n'ont en théorie aucune incidence sur la quantité de la ressource hydrique. Ce sont par exemple les activités nautiques (voile, baignade, rafting), l'hydroélectricité ou l'usage par la centrale thermique pour le refroidissement des machines. Que ce soit pour l'hydro-électricité ou la centrale thermique, plus de 99,5 % de l'eau sont restituées.

En revanche, les usages consomptifs, comme leur nom l'indique, consomment l'eau, et revêtent donc un impact anthropique sur le plan de la quantité. Il s'agit de l'alimentation en eau potable des populations, l'usage industriel, mais avant tout l'agriculture.

- **La ressource superficielle est surexploitée**

Parmi les usages **consomptifs**, celui qui prévaut pour l'homme (mais pas forcément dans l'esprit des Mendocinos (cf. *infra*)) est le **réseau domestique**. Il ne représente que 17 % des volumes distribués (190 hm^3 annuels) mais doit être régulier sur toute l'année (DGI, 1999), **(Tab. 1)**. On s'attend naturellement à des besoins plus importants en été, mais le déficit hydrique a obligé les autorités à restreindre l'eau, via des coupures en journée (10h-22h), des interdictions d'usage pour les piscines ou les lavages de voitures, arrosages des jardins, etc. Le réseau domestique est alimenté à 16 % (les sources diffèrent souvent) par pompages dans les aquifères, et donc à près de 85 % par dérivation des eaux du río Mendoza. La population du *Gran Mendoza* est alimentée pour plus de 80 % par l'eau potable courante et est couverte à plus de 60 % par le réseau d'assainissement collectif (AKHMOUCH, 2004). Cette zone urbaine est quasi exclusivement approvisionnée via le réseau superficiel. A l'inverse, les bourgs ruraux de ces mêmes municipalités (hors Capital) et de Lavalle ne sont, eux, reliés qu'à moins de 60 % au réseau domestique, l'eau étant à l'origine souterraine.

Le problème premier en ce qui concerne le réseau domestique est, outre la raréfaction des ressources superficielles, sa pollution. En effet, les stations de traitement des eaux crues

du río Mendoza pour l'AEP n'ont que trois heures d'autonomie et ne sont pas indépendantes du réseau commun. Si un polluant vient à contaminer durablement le río Mendoza en amont de la prise d'eau, les gestionnaires auront peu de temps et de moyens pour se retourner, d'autant plus que les aquifères se minéralisent de plus en plus et que des traces de métaux lourds y ont été décelées. Ces nappes ne constituent plus une ressource sûre, c'est donc la ressource superficielle (qui se renouvelle plus rapidement) qu'il faut savoir ne pas gaspiller.

Par ailleurs, afin de rendre supportables les chaleurs étouffantes d'un été qui dans les faits dure près de six mois, les Mendocinos ont planté sur les bords de toutes les rues des arbres visant à ombrager chaussées et trottoirs. Ces arbres, généralement des platanes, sont alimentés par les *acequias* : c'est ce que l'on nomme l'**irrigation publique**. Le plan de l'agglomération est en damier, ponctué de parcs, places, espaces verts assez nombreux, où le voisinage se retrouve pour danser (danses traditionnelles), faire du sport (fitness, stretching), assister à des représentations de cirque ou de théâtre ou encore faire la sieste. Ces parcs constituent un centre social et culturel pour chaque quartier. Seulement les espaces verts aménagés requièrent un entretien régulier et un approvisionnement en eau conséquent. Le plus grand parc de l'agglomération, le parc *General San Martín* à l'ouest du centre-ville de Capital, est irrigué depuis un des canaux principaux, le canal Civit. Les parcs et grandes places sont irrigués via les *acequias*, tandis que les petites places, les ronds-points, les allées centrales des boulevards, etc. sont arrosés par des camions citernes. Au total, via les *acequias* comme ou par l'irrigation par eau potable des parcs et jardins, quelques 22 hm^3 sont détournés chaque année du río Mendoza, soit près de 2 % du total des volumes distribués pour les usages consomptifs.

	Offre (Volumes distribués)		**Besoins actuels**		**Demande**	
	hm^3	%	hm^3	%	hm^3	%
AEP	191,73	17				
Agriculture	916,3	81				
Industrie	1,68	0,1				
Irrigation publique	21,6	1,9				
TOTAL	**1131,31**	**100**	**1436,28**	**127**	**2189**	**193,5**

Tab. 1 : Offre, besoin et demande en eau superficielle pour les usages consomptifs
Source : données DGI, 1999

L'industrie à Mendoza est dotée d'un rôle économique phare. En effet, les matières premières sont nombreuses et relativement abondantes dans le BV du río Mendoza, et les entreprises de transformations se sont de fait multipliées dans la banlieue de l'agglomération mendocina. L'oasis a vu fleurir de nombreuses zones industrielles spécialisées dans la raffinerie des hydrocarbures, le traitement des minerais (industries du plâtre, du charbon…), la vinification (*bodegas*), la mise en conserve des fruits et légumes ou encore les produits dérivés de l'élevage comme les abattoirs et les tanneries. Le DGI (1999) comptabilise seulement 1,7 hm^3 annuels destinés à l'industrie, soit 0,15 % du total.

L'usage consomptif le plus important est sans commune mesure l'**irrigation agricole**. 80 % de l'eau sont voués à l'approvisionnement agricole et ce secteur est considéré comme

prioritaire. L'agriculture mendocina est orientée vers les cultures méditerranéennes vigne-vergers-oliviers, auxquelles on peut ajouter une ceinture verte maraichère. Ces produits ont tous une finalité de transformation. Bien que certains produits soient consommés frais, la majorité des volumes récoltés est envoyée vers des industries de transformation. Les *bodegas* sont les plus nombreuses, suivies des conserveries. Environ 75 % de l'eau destinée à l'agriculture viennent du réseau de canaux superficiels **(Tab. 2).** Dans les 25 % restant, la plus grosse partie est d'origine souterraine, les parcelles agricoles les plus éloignées (vers le nord-est) sont autorisées à pomper les volumes nécessaires dans les aquifères. Enfin, un infime pourcentage vient des rejets des stations d'épuration. Dans des aires ACREs[39], les effluents domestiques une fois traités par simple lagunage sont utilisés pour l'irrigation des cultures non-alimentaires comme les forêts d'exploitation ou le lin **(Fig. 18)**.

L'usage agricole est de fait le plus important, mais nous pensons que les chiffres de l'industrie et de l'irrigation agricole sont biaisés. On sait effectivement que la modernisation des industries, en particulier la normalisation des mesures d'hygiène, a contribué à une explosion des besoins en eau des industries agro-alimentaires. Nous avons pu remarquer sur le terrain, que les volumes apportés aux zones industrielles passaient tous par le réseau agricole, à l'exception du Parc Industriel Provincial de Luján (raffinerie de pétrole et centrale thermique de Mendoza, **(Fig. 19)**). Nous sommes de fait amenés à penser que **les volumes distribués aux industries agro-alimentaires** (*bodegas*, conserveries, abattoirs, tanneries) **sont comptabilisés dans les 80 % de l'usage agricole.**

Le développement à la fois démographique et spatial de l'oasis et sa modernisation ont contribué à une explosion de la demande en eau. Selon le DGI (1999), 1 130 hm^3 sont distribués chaque année, mais les besoins réels atteignent 1 435 hm^3, soit environ 15 % de plus. En outre, la demande est estimée à 2 200 hm^3, soit le double de ce qui est actuellement possible de distribuer. Il faut savoir qu'outre un problème de raréfaction de cette ressource en eau, un problème secondaire non négligeable se pose : celui de la **saisonnalité des besoins**. De fait, si l'usage domestique est relativement régulier, les usages industriels et agricoles sont estivaux. Les besoins apparaissent dès le début du printemps (fin août, début septembre) pour atteindre leur maximum en été (décembre, janvier). Ils décroissent régulièrement jusqu'à la fin de l'automne (en mai). Les volumes distribués les plus importants sont donc **concentrés sur une période allant de novembre à janvier**, quand les plantes en ont le plus besoin (printemps-été). Mais il faut noter par ailleurs que les industries de transformation des produits agricoles sont le plus actives en automne, quand les récoltes ont été faites et que la vinification et les activités de mise en conserves commencent. Les quantités distribuées restent donc importantes alors que les besoins des agriculteurs ont baissé.

Le problème de la saisonnalité des besoins se heurte à celui de la **saisonnalité de l'offre.** Le río Mendoza est alimenté par des affluents qui diffèrent par leur débit, leur climat, et, de fait, leur régime (cf. *supra*). Ainsi les cours d'eau de régime pluvio-nival voient-ils leurs débits augmenter quand il pleut le plus, en hiver. Les lits sont en étiage en été, quand l'oasis a le plus besoin d'eau. La chance pour Mendoza est que la grande majorité des débits est apportée par les trois grands ríos de haute montagne, le Tupungato, le Cuevas et le Vacas, alimentés par les fontes glaciaires (cf. *supra*) et le régime est donc nivo-glaciaire. Le río Mendoza, dans son ensemble, répond plutôt bien aux besoins des populations puisque son offre connaît une saisonnalité relativement proche de celle des besoins de l'oasis.

[39] : ACRE : *Área de Cultura Restringidas Especiales* = Aires de cultures restreintes spéciales.

Néanmoins, les débits totaux demeurent très faibles (en moyenne 50 m^3/s) et insuffisants. Il paraît admis dans l'inconscient collectif que presqu'aucune goutte ne doit se perdre dans le lit du cours d'eau, la quasi-intégralité des eaux du río Mendoza doit être distribuée à l'homme. Il fallait donc pouvoir stocker l'eau, ce qui a été rendu possible en 2004 par la construction de l'immense retenue de Potrerillos.

L'accroissement de la demande en ce qui concerne les usages consomptifs est jumelé d'un intérêt grandissant pour les usages **non consomptifs**. Les usages non consomptifs ont besoin d'eau, mais ont l'avantage non négligeable de la restituer en quasi-totalité.

Or, d'une part, avec un accroissement démographique et une modernisation des industries, la demande en énergie se fait de plus en plus pressante. C'est pourquoi les travaux de construction de barrages **hydro-électriques** se succèdent. Le barrage de Potrerillos est l'un d'entre eux. L'usage hydro-électrique n'amaigrit pas la quantité d'eau, mais il nécessite des débits constants et conséquents, afin que les turbines tournent au maximum de leurs capacités. C'est donc une retenue de 1 500 ha, pour 420 hm^3 d'eau qui a été réalisée. De fait, l'équivalent de 37 % des volumes distribués annuellement est disponible à n'importe quel moment dans la retenue.

Or, d'autre part, la société a évolué, elle est demandeuse en **loisirs**, lieux de villégiature, de **tourisme**. L'été est long, l'océan est éloigné, aussi les lacs de barrage sont-ils devenus des centres balnéaires où l'eau doit être en quantité. On y pratique la voile, la baignade, le pédalo, entre autres. Parallèlement, le río Mendoza « libre » (dans le canyon en aval du barrage de Potrerillos) doit garder un débit conséquent pour la pratique du rafting ou de la nage en eau vive. Il faut savoir que la crise économique qu'a vécue l'Argentine en 2000-2001 et la chute du peso se sont accompagnés d'un afflux touristique chilien. Le tourisme n'est pas le secteur économique principal à Mendoza, mais il tend à se développer, et la pression de ce secteur se fait de plus en plus forte sur les gestionnaires de la ressource pour disposer durant l'été d'une ressource suffisante à la fois dans le barrage et dans le río « libre », alors que les besoins en eau dans l'oasis sont les plus forts.

- **La ressource souterraine, une exploitation en baisse**

Selon Armando LLOP (2002), c'est à partir de la décennie 1950 que les prélèvements dans les nappes sont devenus notables. A partir de cette date et jusqu'à 1972, une lente augmentation du nombre de perforations commence. Entre 1967 et 1972, ont été creusés presque 50 % des puits qui existent aujourd'hui dans la province. Plusieurs facteurs sont en cause dans cet accroissement des prélèvements dans l'aquifère : d'abord des hausses des prix et des investissements dans le secteur agricole, jumelés à des baisses d'impôts conséquentes ; enfin c'est dans ces années que l'on a connu le cycle hydrologique le plus sec du siècle.

A partir de 1972, le développement des puits a été plus lent, affecté par des crises vitivinicoles successives, ce qui n'a en rien freiné le processus d'intensification de l'usage de l'eau souterraine observé entre 1975 et 1980. Il faut savoir que jusque dans les années 1990, l'eau de l'aquifère n'a pas été considérée comme un bien public mais privé (propriété de celui qui a les terres en surface) et sur simple demande de concession au DGI, les agriculteurs pouvaient puiser dans les nappes **sans limite quantitative**. Depuis (début des années 1990), le DGI a pris certaines dispositions et l'eau souterraine est gérée de la même manière que l'eau de surface, avec des droits à irriguer. Ces dispositions ont été prises pour freiner le processus de salinisation de la nappe. A cette salinisation, on a d'abord donné des causes

agricoles[40]. En effet, la mauvaise gestion de l'irrigation conduit à des remontées de sels dans les sols par capillarité d'abord, sels entraînés dans les nappes ensuite par un drainage intensif (LLOP, 2002 ; SALOMON, 2006). Par ailleurs, le mauvais entretien des puits a entraîné des flux de sels minéraux depuis le premier horizon (nappe phréatique) vers les horizons inférieurs (LLOP, 2002).

Il nous apparaît, à la lecture des publications scientifiques ou techniques des spécialistes Mendocinos (agronomes et hydrogéologues en particulier) que le problème qualitatif est vu de manière analytique. Selon HERNANDEZ et MARTINIS (2006), « *les bilans hydrologiques ne paraissent pas montrer une tendance négative de l'emmagasinement de l'eau souterraine, excepté pour le sous bassin-versant du Carrizal* [sud-ouest de l'oasis], *qui, de plus, se trouve menacé par la pollution aux hydrocarbures* ». Aucune étude ne fait mention d'un rapport direct entre baisse de quantité et baisse de qualité. **La salinisation est considérée comme une pollution à la fois naturelle et agricole et non pas une comme une conséquence possible d'un abaissement des quantités consécutif à une surexploitation de la ressource**. Les prélèvements moyens annuels oscillent entre 250 et 600 hm^3 (moyenne de 380 m^3) (HERNANDEZ et MARTINIS, 2006), ce qui est estimé comme correct alors que le volume économiquement exploitable de l'aquifère est de 80 200 hm^3 seulement.

	Surface totale irriguée	**Alimentation superficielle**	**Alimentation souterraine**	**Utilisation des deux sources**
Surface concernée (en ha)	79000	26	22	27
Surface concernée (en %)	100	51	21	28

Tab. 2 : Répartition des différentes sources d'alimentation en eau de l'oasis irriguée
Source : DGI, 1999

La situation de la salinisation des aquifères est telle qu'elle empêche aujourd'hui d'exploiter une grande partie de la nappe phréatique. L'extraction plus en profondeur implique des coûts que peu peuvent assumer. Et l'approvisionnement agricole via les nappes souterraines diminue peu à peu. Ainsi, sur 10 880 forages recensés en 1995 (DGI, 1999) dans l'oasis du río Mendoza, seuls 50 % seraient actuellement en fonctionnement. Nous avons d'ailleurs été surprise par ces paysages de puits au milieu d'anciens champs abandonnés et regagnés par le désert.

L'alimentation de l'oasis via l'eau souterraine concerne ainsi avant tout l'irrigation agricole **(Tab. 2)**. Sur les 118 hm^3 utilisés par les industries de Mendoza chaque année, seuls 13 % proviennent des aquifères. De même pour l'approvisionnement domestique, moins de 16 % sont issus de pompages dans les nappes.

Les réserves des aquifères pourraient ainsi grossir à long terme avec la baisse des prélèvements, cependant nous préférons rester prudente. En effet, le barrage de Potrerillos a pour finalité de limiter les gaspillages d'eau, surplus qui auparavant s'infiltraient et alimentaient les nappes souterraines. De même, l'imperméabilisation pratiquée au fur et à mesure sur les canaux impliquera une baisse de l'approvisionnement des nappes. Il est clair que le choix des gestionnaires s'est porté sur du « tout superficiel ». Tous les investissements

[40] : Le processus de salinisation des différents niveaux d'aquifères est décrit en Partie IV.

(du DGI et du MAyOP[41]) se portent sur le réseau superficiel et l'aquifère est considéré comme une ressource annexe qu'il n'est pas primordial de protéger.

3-2-4- Le mythe de l'eau inépuisable

L'absence de conscience de la périssabilité de la ressource est un problème central à Mendoza. Des agriculteurs aux urbains, en passant par les industriels et les touristes de passage, tous les usagers de la ressource voient l'eau circuler en tous points de l'oasis. La présence de canaux d'irrigation le long de tous les grands axes routiers, des *acequias* dans toute la ville et du grand lac de Potrerillos, à une heure et demie de route donc parfaitement accessible, donne une impression d'une quantité d'eau relativement importante. Il est difficile d'imaginer que dans un milieu où il ne pleut que rarement, autant d'eau soit disponible. Arrêtons-nous un instant sur certaines causes et conséquences de ce mythe.

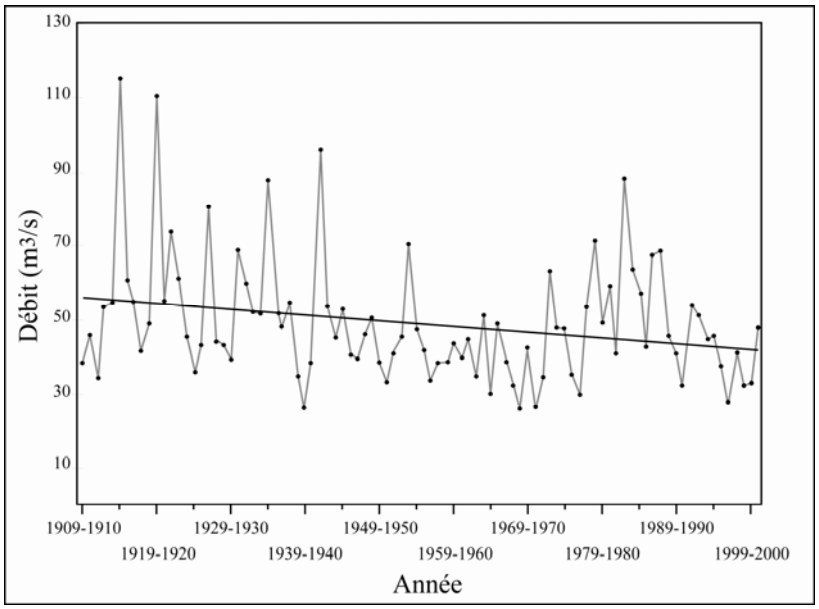
- **La fonte des glaciers : une illusion d'abondance**

Depuis une trentaine d'années, mais plus encore dans la dernière décennie, la fonte des glaciers s'est accélérée, les précipitations qui tombaient sous forme neigeuse et stockable en haute montagne, sont plus souvent pluvieuses aujourd'hui. Il y aurait donc dans les faits, plus d'eau disponible à l'usage qu'auparavant, bien que les usagers se soient multipliés. Il faut savoir en outre que la retenue de Potrerillos permet aujourd'hui de stocker l'eau et de la restituer en fonction des besoins. Toujours est-il que l'on a réellement une impression d'une eau à profusion. Or, cette impression est fondée sur un mythe. Il semblerait en effet que dans l'oasis il y ait plus d'eau, mais cela ne signifie en rien que le débit naturel soit plus important. Malgré une fonte accélérée des glaciers et une augmentation du débit du río Tupungato, à la station Guido, en amont du lac de barrage de Potrerillos, les débits mesurés dans le río Mendoza au cours du dernier siècle, ont nettement baissé **(Graph. 3)**. On observe des variations assez importantes dans le profil interannuel, dues aux passages d'El Niño à La Niña (cf. *supra*), mais dans l'ensemble, la quantité d'eau disponible baisse. La fonte des glaces en très haute montagne (Plomo, Cuevas, vacas, Horcones), ne compense pas la baisse des précipitations neigeuse et pluveuse en haute en moyenne montagne. Les glaciers fondent, mais les débits en aval baissent. Pourquoi alors cette impression d'eau en quantité ? Une réponse possible réside dans la régulation du système par le barrage de Potrerillos. En effet, celui-ci peut retenir un tiers des écoulements annuels moyens (SALOMÓN *et al*., sans date b). Ce qui permet par exemple d'allonger le temps de coupure de l'eau en hiver (jusqu'à 45 jours), pour augmenter les débits le reste de l'année.

Pourtant, la fonte des glaciers est une illusion à court terme. Si la société poursuit son développement en fonction de la disponibilité actuelle de la ressource, c'est en quelque sorte « reculer pour mieux sauter ». Dans une quarantaine d'années selon l'association Greenpeace, les glaciers auront, pour leur plus grande partie, disparu et les précipitations en haute montagne seront exclusivement pluvieuses. Le salut de l'oasis est donc compromis (cf. Chapitre 11) puisque son eau baisse en quantités, et que, nous le verrons, sa qualité s'est également dégradée. Néanmoins, le Réchauffement climatique, ou, pour être plus correct, le Changement climatique global, entraîne dans les faits une augmentation des précipitations pluvieuses dans le Cuyo. En effet, tous les indicateurs indiquent des pluviométries en

[41] : MAyOP. *Ministerio de Ambiente y de Obras Públicas*. Ministère de l'environnement et des travaux publics.

augmentations depuis une dizaine d'années sur le piémont (BONINSEGNA et VILLALBA, sans date et MOREIRA, 2005).



Graph 3 : Des débits qui baissent dans le río Mendoza : station Guido
Salomón *et al*., sans date b

Enfin, le mythe de l'abondance n'est pas uniquement fondé sur une illusoire augmentation des débits du río Mendoza. En effet, la politique tarifaire de la province alimente cette impression de quantité.

- **Le prix de l'eau, un sentiment de quantité**

Le prix de l'eau à Mendoza est calculé en fonction du distributeur. A Luján et Maipú, la distribution de l'eau domestique et son évacuation sont comprises dans les charges dues par les habitants à la commune (impôts locaux). Chaque locataire ou propriétaire règle tous les mois (ou tous les deux mois selon le secteur) un impôt prenant en compte l'éclairage public, le ramassage des ordures domestiques, l'irrigation publique (*acequias*), comme dans les autres municipalités. Mais à Maipú et Luján, cette taxe locative prend aussi en charge l'eau domestique. Nous reviendrons en Quatrième Partie sur la gestion tarifaire de l'eau à Mendoza, mais afin de donner un ordre d'idée, pour Maipú, dans le quartier *Agua y energia*, une famille de cinq personnes, dans une maison avec jardin paie environ 17 $AR par mois, soit moins de 5 € (ordures, éclairage et eau publiques, eau domestique et assainissement)[42] !

En ce qui concerne la concession OSM.SA., le tarif est plus élevé, mais calculé en fonction de la surface de l'habitation et du terrain, et du secteur. En fait, le centre-ville de Capital et le « huppé » quartier *Bombal* de Godoy Cruz, qui disposent d'infrastructures en bon état, paient leur eau plus chère que les habitants des autres départements tels que Guaymallén ou Las Heras. Ajoutons que certaines habitations disposant d'un compteur d'eau paient une taxe sur ce compteur alors qu'il ne sert pas. En effet, les habitations disposant d'un compteur sont bien trop rares pour leur imposer un tarif en fonction de la consommation. Cela doit être une demande de l'abonné.

[42] : Prix donné par un technicien de l'INA-CRA, habitant de ce quartier.

Ce tarif, calculé en fonction du quartier et de la surface, est considéré comme plus juste par les Mendocinos qui estiment qu'ainsi les riches paient plus que les pauvres. Or cette situation est parfaitement biaisée parce que tous savent que l'eau, bien qu'impossible à payer pour les populations indigentes (par exemple à Las Heras et Lavalle, 30 % des foyers ne règlent pas leurs factures (AKHMOUCH, 2004)), serait pour tous bien plus chère si elle était calculée en fonction de la consommation. On estime (OSM.SA. notamment), que les tarifs doivent augmenter de 20 % pour que la distribution et la collecte des eaux domestiques soient rentables (cf. Partie IV).

Outre une inégalité frappante (certains commerçants du centre-ville règlent l'eau sans avoir de robinet !), le problème est surtout celui de la surconsommation. Un usager qui ne paie pas l'eau en fonction de sa consommation ne peut avoir conscience du gaspillage. De fait, c'est tous les jours que l'on voit des citadins arroser les trottoirs et les jardins vers 11h ou 12h, quand le soleil tape haut et fort et que l'évaporation est forte ; c'est en moyenne 2 à 3 douches par jour et par habitant de 15 à 20 minutes chacune qui sont prises en été (selon nos propres observations et aux dires de nombre de nos collègues). Le gaspillage de l'eau domestique à Mendoza est particulièrement « étonnant », voire « choquant » pour nous, Européens, habitués à limiter nos usages de l'eau pour des questions financières évidentes, plus que par fibre écologiste.

Sans émettre de jugement sur la manière dont l'urbain utilise son eau, il est important de noter ce gaspillage incessant, ces robinets qui coulent ou ces conduites qui fuient et qu'on ne répare pas car l'eau est moins chère que la réparation **(Planche photos 11)**. Cela dit, comment en vouloir aux Mendocinos de gaspiller une eau qui arrive chez eux quand les fontaines et les bornes d'eau potable coulent en permanence dans la ville ? Mendoza est quadrillée de petites places et de parcs, destinés à aérer un peu le centre-ville, à couper la continuité du bâti, et sont autant de lieux culturels de rencontres… Ces espaces verts sont la plupart du temps agrémentés d'un bassin ou de fontaines **(Planche photos 11)** où l'eau (potable) coule en permanence. Si les plus récentes (comme la Plaza Italia, juste rénovée) ont des fontaines à eau disposant d'un bouton poussoir, sur d'autres places comme la Plaza Chile ou la Plaza San Martín, les fontaines à eau coulent en permanence, toute l'année, créant de petites mares sur les pelouses. Les municipalités paient l'eau publique (*acequias*, citernes ou eau potable des fontaines et de l'arrosage des arbres et pelouses) en fonction de contrats passés avec OSM.SA. (eau potable) et le DGI (eau « crue ») et non en fonction des quantités effectivement consommées. Les fuites et les gaspillages, sont, sans catastrophisme aucun, fréquents.

***

Ce Chapitre 3 peut apparaître catastrophiste, il est néanmoins résolument réaliste : l'eau se fait rare. Les glaciologues s'accordent tous sur un point : la hausse des températures dans les Andes a entraîné l'augmentation du nombre d'avalanches, la transformation des précipitations neigeuses en précipitations pluvieuses et l'accélération de la fonte de la ressource à long terme : les neiges et glaciers. Selon les auteurs, on attend une disparition complète de la ressource solide dans 40 à 90 ans, ce qui laisse plus ou moins de temps aux autorités et à la population pour se retourner.

Il s'avère de fait nécessaire de gérer la ressource en aval, là où elle est utilisée, à savoir dans l'oasis. Les infrastructures, quoique modernes, ne sont pas toujours adaptées aux usages faits de l'eau. Les prélèvements et les gaspillages sont assez éloquents pour une population qui se réclame d'une civilisation du désert ayant une culture de l'eau

particulièrement respectueuse de celle-ci. De nombreuses contradictions apparaissent entre des Mendocinos fiers de leur milieu anthropique, de leurs aménagements et de la modernité de leur espace, et les chiffres réels qui manifestent une hausse spectaculaire des prélèvements sur le réseau superficiel. Seule la ressource souterraine paraît relativement épargnée grâce aux coûts élevés que son exploitation implique, mais ce n'est pas pour autant qu'elle est protégée des impacts anthropiques sur le plan qualitatif.

Dans l'ensemble, l'usage de l'eau à Mendoza est plus ou moins fondé sur un mythe selon lequel l'eau est suffisante. La fonte engagée des glaciers donne une impression d'abondance, sentiment exacerbé par une politique tarifaire favorisant les gaspillages.

***

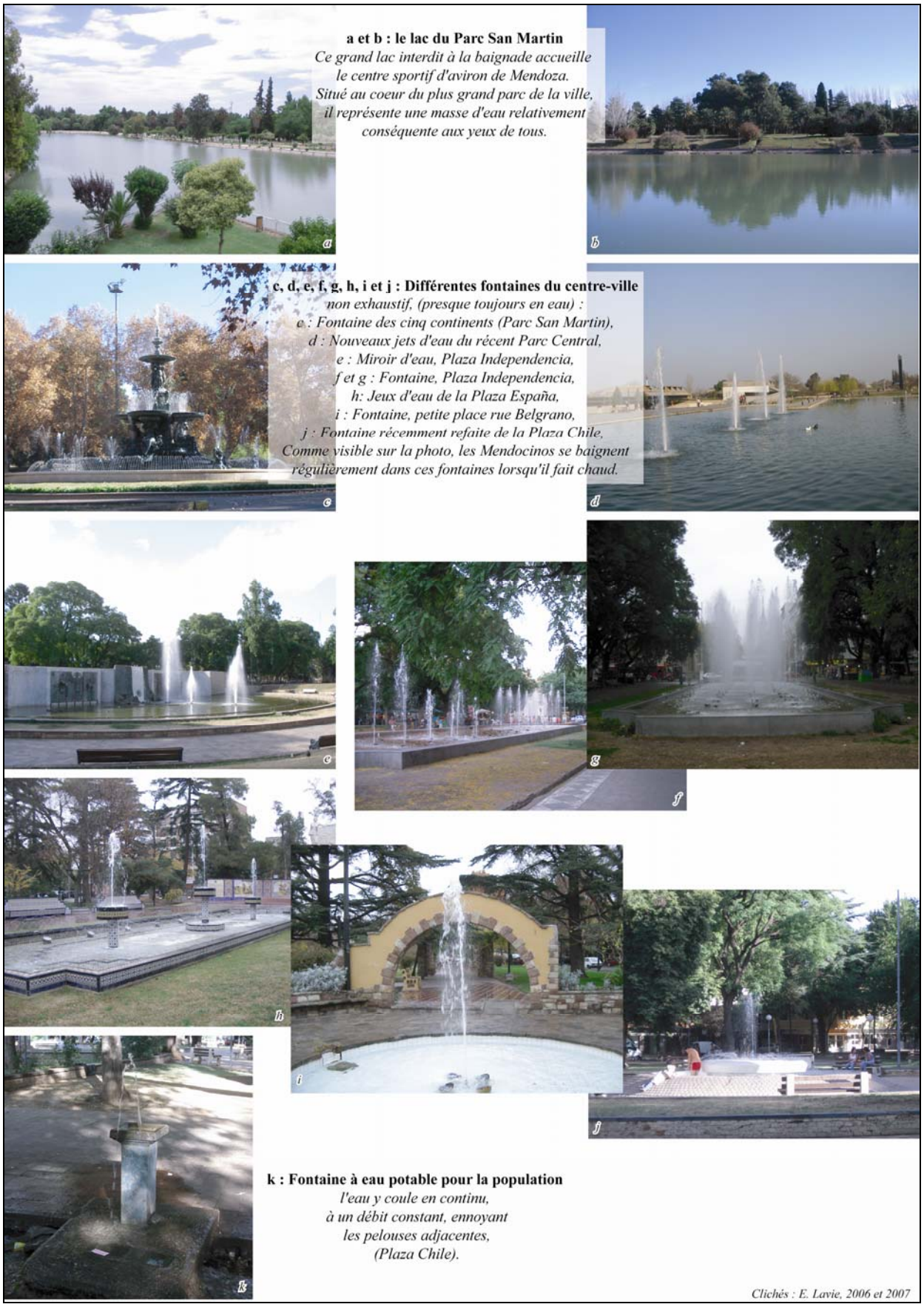


Planche photos 11 : L'eau dans la ville de Mendoza

CONCLUSION DE LA PARTIE 1

Le Cuyo était il y a quelques millénaires un désert d'abri, une plaine d'effondrement enserrée entre Sierras à l'est et Andes à l'ouest. Dans ce milieu aride, deux types de cours d'eau circulaient. D'une part, quelques ríos nés de la fonte des neiges et glaciers de la Cordillère, affluents du río Desagüadero, dont l'exutoire se trouvait en baie de Bahia Blanca sur l'Atlantique ; d'autre part de rares oueds de piémont de la Précordillère. Si les oueds sont à l'origine des glacis qui forment la douce pente de direction sud-ouest / nord-est, les ríos andins ont créé d'immenses cônes de déjection successifs, donnant au Cuyo des sols fertiles.

Il y a 4000 ans, les premiers Indiens dérivaient les eaux des rivières et créaient les oasis, notamment à Mendoza et à Media Aguas (province de San Juan). Mais jusqu'en 1481, date approximative de l'arrivée des Incas à Mendoza, l'oasis n'était qu'une toute petite cité agricole installée sur le premier cône de déjection du río. Les Incas, connus pour leurs techniques hydrauliques, aidèrent les Huarpes à construire des *acequias* afin d'alimenter en eau les zones les plus éloignées de la rivière. A l'arrivée des premiers Espagnols en 1561, Mendoza comptait quatre *acequias*.

Si les Indiens vivaient par groupes de cent à cent-cinquante personnes, les Espagnols habitaient plus « groupés » dans des bourgs. Mendoza fut donc le centre-ville colonial, alimenté en eau par les *acequias* indiennes et en fruits et légumes par la campagne voisine. Il y avait alors un petit secteur d'élevage ovin, permettant de nourrir la ville et de commercialiser la viande et les peaux vers la capitale Santiago et le port de Valparaíso, Mendoza étant sous protectorat chilien jusqu'à la création du Vice-Royaume de la *Plata*. Mais le commerce d'élevage fut vite supplanté par celui du vin. En effet, il fallait du vin de messe et de boisson, et Mendoza disposait d'un climat relativement sec, parfait pour la vigne, à la condition qu'elle soit irriguée. De même, les besoins en blé et maïs se multiplièrent avec l'accroissement de la population et des moulins à eau furent construits. Jusqu'à la fin de la IIème Guerre Mondiale et le dernier afflux de migrants, l'oasis se modernisa, les canaux, écluses, *acequias*, drains et autres infrastructures hydrauliques se multiplièrent, jusqu'à transformer complètement l'hydrosystème du Cuyo : en effet, les barrages construits sur les ríos andins ont vidé les cours d'eau, faisant du río Desagüadero (récepteur des eaux des ríos Mendoza, Tunuyán, Diamante et Atuel) un cours d'eau endoréique. Ces mêmes barrages régulent les régimes des rivières. Ce ne sont donc plus des cours d'eau de régime nivo-glaciaire, mais de régime anthropisé où l'offre est sensée être adéquate avec la demande.

Aujourd'hui, l'oasis de Mendoza, la plus vaste de tout le Cuyo, est un espace irrigué de plus de 1 150 km². Au départ conçu pour les besoins de l'agriculture et par les agriculteurs, le réseau d'irrigation n'a plus les champs comme seule finalité. Les industries agro-alimentaires se sont développées, tout comme le secteur des hydrocarbures. De même, la population a nettement augmenté et la ville a grandi. L'espace rural est donc en conflit avec l'agglomération qui, d'une part, grandit et « grignote » l'espace agricole, et d'autre part, fait accroître les besoins en eau potable, en eau pour l'hydroélectricité et pour la centrale thermique (CTM). De fait, l'agriculture a perdu sa place de secteur économique principal et doit apprendre à partager l'eau.

Mais le plus gros problème à Mendoza, c'est que justement, il n'y a que très peu d'eau. Les besoins d'une ville-oasis, moderne, industrialisée, accueillant au total près d'un million d'habitants, dépassent l'offre en eau du milieu. En effet, les glaciers et les neiges persistantes fondent assez rapidement, faisant augmenter les débits des ríos, laissant croire à une disponibilité de la ressource. Or, la réserve solide s'amenuise nettement et on estime que la fonte totale de tous les glaciers à cette latitude sera effective dans une centaine d'années. La ressource souterraine s'avère être une alternative intéressante. Or, c'est une réserve de plus en plus polluée (cf. *infra*), peu à même de répondre aux exigences des activités de l'oasis, d'autant que l'aquifère le plus protégé de la pollution anthropique est profond (> 180 m) et donc économiquement peu exploitable.

Deux solutions sont alors envisageables :

- d'une part, il faudrait commencer à prendre en compte le cas des nombreux gaspillages et repenser les besoins en fonction de l'offre et non pas l'offre en fonction des besoins comme c'est le cas aujourd'hui ;
- d'autre part, si le peu d'eau qui reste est pollué, elle est inutilisable. **La question de la quantité est donc inévitablement liée à celle de la qualité**, ce sera la problématique principale des deuxième et troisième parties.

DEUXIEME PARTIE :

Le diagnostic qualitatif biologique et physique : une pollution concentrée et contenue ?

La « qualité » est un terme neutre : « *manière d'être, bonne ou mauvaise, de quelque chose, état caractéristique* » explique le Petit Larousse de 2009. Seulement, dans le langage courant, sa signification connaît une acceptation plutôt positive : en effet, même si on lui attribut quelquefois un adjectif, « *bonne qualité, mauvaise qualité* », dans la majorité des cas, lorsque l'on parle de « *qualité des eaux* », on pense d'abord « *bonne qualité des eaux* ».

Dans le dictionnaire européen de l'environnement *Envearthonary* (GROZAVU et KOCSIS, 2005), le terme « pollution » est défini comme la « *présence de matière ou d'énergie dont la nature, la localisation ou la quantité provoquent des effets environnementaux négatifs* ». SALOMON (2003) définit le même terme comme étant à l'origine « *une profanation, une souillure* » et note que « *polluer, c'est rendre malsain ou dangereux un milieu en répandant des matières toxiques. La pollution c'est un changement brusque ou à long terme de composants de l'air, de l'eau ou du sol, par une activité humaine qui provoque la dégradation de l'environnement humain, celui-ci étant souvent construit et ressenti* ».

Ainsi, pour le grand public, la pollution serait-elle l'inverse de la qualité.

En ce qui concerne la bibliographie argentine, selon POLIMENI de ESCUDERO (*in* ROMAY, 2005) « *la qualité de l'eau* » [est] « *le lien de caractéristiques physiques, chimiques et bactériologiques qui présentent l'eau telle qu'on la rencontre en mers, rivières, lacs, sources et sous-sols. Le concept de qualité de l'eau est lié à l'usage qu'on lui donne ».* En revanche, selon BOLEA (*in Ibid.*) on pourrait définir la pollution de l'eau *« comme l'altération de sa qualité naturelle par l'action de l'homme, qui fasse qu'elle ne soit pas, partiellement ou totalement, adéquate pour l'application ou usage à laquelle elle se destine ».*

Cette partie ne se veut pas une réflexion sur les termes en soi, mais il paraît important de s'accorder sur la définition du vocabulaire utilisé.

Nous faisons de fait le choix d'utiliser la notion de « ***qualité*** » dans son sens littéraire, c'est-à-dire **neutre**, et le terme de « ***pollution*** », voire de « *contamination* », quand la **qualité est altérée**, mauvaise.

Ces seconde et troisième parties seront ainsi un diagnostic[43], une évaluation si possible objective, de l'état de la ressource. Nous avons recensé un certain nombre d'études réalisées à Mendoza et ailleurs (en Argentine et à l'étranger), traité des données mesurées (mais jamais analysées ou publiées) et assuré nous-même une partie des mesures. Par soucis clarté, nous avons scindé le diagnostic qualitatif en deux parties. Ainsi la seconde partie s'intéressera-t-elle aux rapports entre pollution bactériologique et solides dissous, tandis que la troisième partie établira un état des lieux de la ressource sur le plan physico-chimique. La distinction s'est avant tout faite par le caractère de la pollution. En effet, il est des pressions sur la ressources concentrées dans l'espace (sur un canal ou une zone par exemple, ou encore sur un type de cours d'eau), tandis que d'autres sont diffuses sur le plan spatial (cf. phosphates et nitrates en Partie III). Il existe aussi des types de pollution que l'on peut contenir, comme les macro-déchets dont on peut facilement empêcher la progression, et d'autres qui se propagent à la fois dans le temps et dans l'espace, vers la nappe phréatique par exemple. De fait, la

[43] : Il s'agira ici (Parties II et III) d'un diagnostic hydro-chimique/physique/biologique. Le terme **hydro-qualité** sera réservé à la qualification de l'ensemble de ces trois diagnostics.

partie II sera consacrée au diagnostic des pollutions concentrées dans l'espace : la biologie (éléments du vivant) et les paramètres physiques. Une question principale se pose : une pollution concentrée dans l'espace est-elle pour autant contenue ? En troisième partie, nous présenterons les pollutions diffuses.

Néanmoins, si les résultats des données diffèrent selon l'optique biologique, physique ou chimique, de nombreux points de méthodologie sont communs. De fait, nous présenterons la méthodologie d'ensemble en seconde partie, pour la préciser ensuite dans la troisième.

La difficulté principale a été la **fiabilité des données** : en effet, il arrive qu'il y ait des lacunes dans le suivi, pour des raisons naturelles (hydrologiques, climatiques) ou humaines (fermeture des laboratoires pendant les vacances, arrêt des financements). Par ailleurs, les protocoles de mesures peuvent n'avoir pas été suivis rigoureusement et les réactifs avoir été abîmés. Nos propres mesures dépendaient de notre présence sur le terrain. Un autre problème récurrent est celui de la non-concordance des analyses faites entre les ressources superficielles et souterraines. Par exemple, les métaux lourds mesurés dans les canaux et drains ne sont pas les mêmes que ceux analysés dans les aquifères. Il nous est donc quelquefois impossible d'évaluer les rapports entre les systèmes hydrologiques.

Enfin, les différences d'utilisation des termes plutôt que la traduction, nous ont posé de sérieux problèmes. En effet, les Argentins utilisent le mot *salinisación* à la fois pour *salinisation* (physique) et *minéralisation* (chimie) alors que nous faisons une certaine différence entre les deux termes (cf. *infra*). De même, le terme *basura* (poubelle) peut être traduit en français aussi bien par *macro-déchets*, *décharges*, que dans son sens premier de *poubelle*. Enfin, le terme *contaminación* est traduit en français plus généralement par *pollution* et quelquefois par *contamination*. **Or la *pollution* apparaît comme un phénomène plus chronique, diffus, alors que la *contamination* est plus ponctuelle**.

Au final, nous avons pris le parti de **hiérarchiser ces chapitres en fonction des polluants et non des hydrosystèmes**, de manière à comparer les différents espaces de circulation de l'eau, et à évaluer les flux verticaux et horizontaux.

Une introduction nous permettra d'exposer les différentes méthodologies avec d'une part des études référencées, et d'autre part des analyses que nous avons nous-mêmes effectuées. Cette mise au point nous apparaît comme primordiale, puisqu'il a fallu faire un tri dans les très nombreuses études qui étaient à notre disposition.

Le **Chapitre 4** présentera le diagnostic réalisé sur les éléments du vivant, à savoir les bactéries, paramètre le plus classique lorsque l'on aborde la biologie, mais aussi les nouvelles menaces, OGM, produits pharmaceutiques et hormones, alors que le **Chapitre 5** s'intéressera aux paramètres physiques, des solides dissous vecteurs de bactéries, aux macro-déchets, la seule pollution véritablement « visible » par les habitants.

Sans le préciser à chaque fois, **la relation entre diagnostic qualité et rareté de la ressource** sera faite le plus souvent possible. Parmi les objectifs que nous nous sommes fixés dans l'écriture de cette thèse, la relation qualité – quantité nous intéresse particulièrement. Mais par manque de moyen et de données, il n'a pas été possible de réaliser un parallèle systématique et il nous est apparu bien lourd de traiter dans un même travail la qualité, la quantité et les problèmes plus humains de gestion, administration de l'eau, conflits d'usages, d'intérêts, etc. Cependant, pour conclure, si nous traitons la question de l'état des lieux qualitatif, il ne faut jamais oublier que nous sommes dans un **espace aride** où la dilution, tout autant que l'épuration par la végétation rivulaire, de marais… sont extrêmement limitées.

Méthodologie

Dans les chapitres de cette seconde partie, nous allons présenter le diagnostic de la qualité de l'eau physique et bactériologique de l'oasis irriguée du río Mendoza, réalisé dans le cadre de cette thèse. Or, cet état des lieux recense non seulement les résultats consécutifs à nos propres analyses hydro-qualitatives (hydrochimie, hydrobiologie, hydrophysique), mais aussi les études récentes sur les états qualitatifs des différents horizons hydrologiques (surface, sols, aquifères). Ces études sont extrêmement **diverses**, non seulement sur les **paramètres analysés**, mais aussi dans la **représentativité spatiale**, sans oublier une très forte disparité dans la **représentativité temporelle**, tant sur le plan de la **longueur des suivis** dans le temps, que sur le plan des **fréquences des prélèvements**. Ces données ne sont donc pas comparables entre elles, mais elles permettent une complémentarité des approches très riche. On peut par exemple observer le comportement hydrochimique/physique/biologique d'un point donné dans le temps long (quelques années de suivi à fréquence mensuelle), comme d'une manière très précise (par exemple sur une saison avec des analyses hebdomadaires).

La question des seuils

Mesurer le niveau d'altération de l'eau pour tel ou tel paramètre est une chose ; déterminer si elle est polluée, et en quelles proportions, en est une autre. Afin de déterminer la qualité (bonne, moyenne, mauvaise) qui est une notion assez subjective, il est nécessaire de proposer un classement qui servira de base à notre argumentaire. Or, ce classement se fonde sur un certains nombre de seuils, c'est-à-dire de valeurs planchers et plafonds, délimitant les classes entre elles. Comment alors déterminer ces seuils ? Cela se fait à partir du niveau de concentration en tel ou tel élément à l'état naturel, sans pression anthropique. Cette valeur naturelle est appelée « bruit de fond ». Elle dépend du milieu dans lequel le cours d'eau circule ou dans lequel la nappe est contenue (types de roches, de sols…). Or, il existe deux types de classements :

- Les classements en fonction des usages et des aptitudes. C'est-à-dire de **normes** et des dispositions légales déterminant les possibilités d'usage de l'eau pour l'AEP, l'industrie, l'irrigation, l'abreuvage animal… Ces normes diffèrent selon les pays, elles n'ont aucune valeur universelle. Au cours de nos recherches, il nous est apparu qu'elles évoluaient vers une tolérance vis-à-vis de la pollution (et donc des pollueurs), de plus en plus généralisée. Selon les Etats, elles sont choisies par des juristes, des assemblées d'usagers (Agences de l'Eau en France), ou des médecins. Par exemple, la limite de potabilité de l'eau en France de 50 mg/l de nitrates a été déterminée dans les années 1950 via un test de souris, rapporté au poids moyen d'un être humain. Les effets à long terme d'une eau polluée par ce nutriment sur l'organisme interrogent de plus en plus. La plupart des pays européens ont une norme établie à 25 mg/l, les Etats-Unis ont choisi le seuil de 15 mg/l, la Pologne celui de 20 mg/l et la Nouvelle Zélande de 10 mg/l. L'Argentine quant-à-elle a une norme officielle de 45 mg/l, ce

seuil étant le même que celui de l'Organisation Mondiale de la Santé. Nous avons choisi l'exemple des nitrates, mais il faut savoir que cette incohérence des normes entre les pays concerne tous les polluants, et chaque type d'usage. Nous nous interrogeons de fait assez fortement sur la crédibilité des chiffres ainsi avancés (SALOMON, 2008a).

- Le classement de l'altération de l'eau. Il s'agit avant tout de **propositions** car aujourd'hui, aucune norme ne définit le degré d'altération de l'eau. Les seuils proposés sont donc des norme-guides.

Il semble évident que déterminer la qualité de l'eau revient à évaluer son degré d'altération par tel ou tel paramètre, non sa capacité à être utilisée par l'homme. De plus, proposer un classement pour chaque type d'usage s'avèrerait fastidieux pour la lecture et la compréhension des données présentées ci-après. **Notre grille de lecture des mesures** recensées ou effectuées par nos soins, **s'appuiera donc sur des propositions** et non sur des normes. Cependant, ces propositions ne sont pas très nombreuses contrairement aux normes, et peuvent varier, d'une source à l'autre, du simple au quadruple. Selon HOFFMANN et TARRISSE (2000), les « *propositions peuvent paraître contraignantes, mais elles répondent à une double logique : une logique de conservation de la qualité des ressources en eau et une logique d'appréciation de la pression de l'homme sur son milieu. Celles-ci nécessitent donc des seuils nécessairement bas* ». Nous avons choisi d'appliquer la règle suivante : **nous prendrons la valeur publiée la plus basse**

Quatre sources ont été retenues **(Tab. 3** et **4)** :

- Les SEQ Agences de l'Eau (Agences de l'Eau, 1999 et 2003). Il s'agit des normes-guides françaises officielles de classement de l'altération de l'eau. Ces Systèmes d'Evaluation de la Qualité des Eaux (nommés SEQ-Eau et SEQ-Eau souterraines) sont présentés pour les eaux de surface (1999) et pour les eaux souterraines (2003). C'est le classement **le plus tolérant** que nous ayant trouvé, mais c'est **aussi le plus complet**. Il recense presque tous les paramètres sur lesquels nous avons des données.

- Le classement de l'EEA. L'*European Environment Agency* (Agence Européenne de l'Environnement) a recensé sur la base du volontariat, les bases de données sur l'eau souterraine de 37 pays d'Europe. A partir de ces données et après de longues recherches, en particulier sur les nitrates et les pesticides, certaines valeurs-guides ont été publiées, classant les polluants en 4 à 5 classes. Nous avons retenu les classes sur les pesticides, les chlorures et la conductivité électrique des eaux souterraines.

- Le classement « nitrates et phosphates/eaux souterraines » LGPA/DDAF. A partir de très nombreuses mesures des polluants traceurs des systèmes karstiques du Lot et de la Dordogne, HOFFMANN et TARRISSE (2000) ont déterminé un classement des hydrosystèmes souterrains pour les nitrates et les phosphates. Seuls deux éléments ont été classés mais il s'agit des niveaux de détermination de la pollution les plus bas que nous ayons rencontrés.

- Enfin, en ce qui concerne la bactériologie, la norme du *Código Alimentario Argentino* (CAA), Code Alimentaire Argentin. Il s'agit bien ici de norme et non de proposition, pour la simple raison que les bactéries aérophiles mésophiles ne sont pas un paramètre couramment utilisé dans l'évaluation de la qualité bactériologique au niveau international, et que c'est le seul chiffre dont nous disposons.

Comme le précise SALOMON (2008a), « *la « bonne qualité des eaux » devrait se définir selon les critères relatifs à la bactériologie, la physico-chimie et la turbidité, pris dans leur ensemble. Or, souvent, seuls quelques-uns sont pris en compte* ». Il est effectivement dommageable que la plupart des études s'attachent à présenter des résultats partiels, distinguant paramètres biologiques, physiques ou chimique, le plus souvent par manque de moyens, plus que par manque de volonté. De fait, nous avons tenté ici de proposer un diagnostic le plus complet possible, en prenant en compte les relations entre physique, chimie et biologie. **Les seuils de dégradation que nous proposons ci-après sont néanmoins fonction de chaque paramètre, puisqu'aucun indicateur composite n'a été proposé par les scientifiques jusqu'ici.**

Les études recensées

En matière d'hydrochimie, la méthodologie utilisée est très importante : la manière de prélever, les conditions de transport (maintien au froid) et de conservations des échantillons et des réactifs peuvent varier. Les conditions de travail en laboratoire comme sur le terrain importent également. Ainsi, les résultats peuvent-ils être différents. L'intérêt est donc pour le chercheur de connaître les conditions exactes de traitement des échantillons et du matériel. Or dans les faits, si nous maîtrisons toute la chaîne depuis l'achat du matériel jusqu'aux résultats en ce qui concerne nos propres données, nous ne savons pas comment sont analysés les échantillons et les résultats lorsqu'il s'agit des travaux d'autrui. Il convient donc d'observer une certaine une réserve, un certain recul par rapport aux données collectées ou mises à notre disposition.

De même, en ce qui concerne le diagnostic des aquifères, les données précises ne sont pas publiées : nous ne disposons que des études finales. Les cartes présentées dans les sous-chapitres suivants sont soit copiées en l'état, soit redessinées pour des questions de lisibilité, mais jamais modifiées (en dehors des couleurs). Les moyennes réalisées sur les différents points n'ont de fait pas pu être vérifiées. De même, la quantité de points de mesure est souvent inconnue ce qui fait que l'extrapolation de résultats ponctuels sur quelques puits en courbes d'égales conductivités au niveau cartographique est à prendre avec prudence.

Enfin, en ce qui concerne les mesures en rivières, drains ou canaux, elles sont extrêmement diverses, tant pour les polluants que pour les lieux de prélèvement et les fréquences… L'avantage en ce qui concerne cette masse d'eau superficielle, réside dans le fait que nous disposons de deux études sur les mêmes points. L'INA prélève et analyse depuis 2003 (avec des lacunes) dans 16 points de l'oasis, avec une fréquence mensuelle. De notre côté, nous avons réalisé des mesures aux mêmes points, sur des périodes plus courtes (deux saisons) mais avec une fréquence hebdomadaire qui nous permet de mieux préciser le comportement hydrologique du système (cf. *infra*).

Nous préciserons les méthodes utilisées au fur et à mesure des chapitres à suivre, mais il est bon de garder à l'esprit que nous avons dû faire un tri dans les études dont nous disposions et que nous avons délibérément mis de côté certaines données. Les paragraphes suivants apparaîtront donc sous la forme d'un catalogue, indispensable pour que chacun puisse retrouver une source rapidement, au moment de la lecture des chapitres 4 et 5.

Eaux superficielles								
NOM	**SYMBOLE**	**Unité de mesure**	**Très bonne qualité**	**Bonne qualité**	**Qualité moyenne**	**Mauvaise qualité**	**Très mauvaise qualité**	**Source ?**
Minéralisation								
Conductivité électrique	CE	µS/cm à 25 °C	<2500	2500-3000	3000-3500	3500-4000	> 4000	AEAG
Chlorures	Cl^-	mg/l	< 1,76	1,76-3,52	3,52-5,35	5,35-7,04	> 7,04	AEAG
Sulfates	SO_4^{2-}	meq/l	< 1,3	1,3-2,6	2,6-3,95	3,95-5,2	> 5,2	AEAG
Calcium	Ca^{2+} Min	meq/l	1,2	1,2-1,35	1,35-0,9	0,9-0,6	< 12	AEAG
	Ca^{2+} Max	meq/l	8	8-11,5	11,5-15	15-25	> 25	AEAG
Magnésium	Mg^{2+}	meq/l	< 4,11	4,11-6,17	6,17-8,22	8,22-32,9	> 32,9	AEAG
Sodium	Na^+	meq/l	< 8,6	8,6-9,8	9,8-10,9	10,9-32,6	> 32,6	AEAG
Potassium	K^+	meq/l	< 0,3	0,3-0,34	0,34-0,38	0,38-1,8	> 1,8	AEAG
Nitrates	NO_3^-	mg/l	<2	2-10	10-25	25-50	> 50	AEAG
Phosphates	PO_4^{3-}	mg/l	< 0,05	0,05-0,1	0,1-0,25	0,25-0,5	> 0,5	AEAG
Autres paramètres chimiques								
Oxygène dissous	OD	mg/l	>8	8-6	6-4	4-3	<3	AEAG
taux de saturation	OD%	%	> 90	70-90	50-70	30-50	<30	AEAG
Demande Chimique en Oxygène	DCO	mg/l d'O_2	<20	20-30	30-40	40-80	> 80	AEAG
pH	Min		6,5	6,5-6	6-5,5	5,5-4,5	< 4,5	AEAG
	Max		8,2	8,2-8,5	8,5-9	9-10	> 10	AEAG
Métaux lourds								
Zinc	Zn	µg/l	< 14	14-140	140-330	330-1200	> 1200	AEAG
Plomb	Pb	µg/l	< 10	10-23	23-37	37-50	> 50	AEAG
Cadmium	Cd	µg/l	< 0,09	0,09-0,85	0,85-3	3-5	> 5	AEAG
Cuivre	Cu	µg/l	< 2,7	2,7-27	27-40	40-110	> 110	AEAG
Arsenic	As	µg/l	< 10	10-40	40-70	70-100	> 100	AEAG
Chrome	Cr	µg/l	< 3,6	3,6-36	36-43	43-50	> 50	AEAG
Paramètres physiques								
Températures	T°C	° Celsius	< 21,5	21,5-23,5	23,5-25	25-28	> 28	AEAG
Matières en suspension	MES	mg/l	< 5	5-25	25-38	38-50	> 50	AEAG
Turbidité	Turb.	NTU	< 2	2-35	35-70	70-105	> 105	AEAG
Paramètres biologiques								
Bactéries aérophiles mésophiles	BAM	u/100 ml	100					CAA
Coliformes totaux	CT	u/100 ml	< 50	50-500	500-5000	5000-10000	> 10000	AEAG

Tab. 3 : Tableau de référence des classes choisies pour le diagnostic qualitatif de la ressource en eau

AEAG : Agence de l'Eau Adour Garonne ; EEA : European environment Agency ; TLGPA 18 : HOFFMANN et TARRISSE, 2000 ; CAA : Code Alimentaire Argentin

Eaux souterraines								
NOM	**SYMBOLE**	**Unité de mesure**	**Très bonne qualité**	**Bonne qualité**	**Qualité moyenne**	**Mauvaise qualité**	**Très mauvaise qualité**	**Source ?**
Minéralisation								
Conductivité électrique	CE	µS/cm à 25 °C	< 200	200-500	500-1000	1000-2000	> 2000	EEA
Chlorures	Cl^-	meq/l	< 0,7	0,7-1,4	1,4-2,8	2,8-7	> 7	EEA
Sulfates	SO_4^{2-}	meq/l	< 0,5	0,5-2,1	2,1-3,6	3,6-5,2	> 5,2	AEAG
Calcium	Ca^{2+} Min	meq/l	1,6	1,6-1,1	1,1-0,6		< 0,6	AEAG
	Ca^{2+} Max	meq/l	8	8-11,5	11,5-15	15-25	> 25	AEAG
Magnésium	Mg^{2+}	meq/l	< 2,5	2,5-3,3	3,3-4,1	4,1-32,9	> 32,9	AEAG
Sodium	Na^+	meq/l	< 0,9	0,9-3,5	3,5-6,1	6,1-8,7	> 8,7	AEAG
Potassium	K^+	meq/l	< 0,26	0,26-0,28	0,28-0,31	0,31-1,79	> 1,79	AEAG
Nitrates	NO_3^-	mg/l	< 2	2-10	10-20	20-25	> 25	TLGPA 18
Phosphates	PO_4^{3-}	mg/l	< 0,05	0,05-0,1	0,1-0,25	0,25-0,5	> 0,5	TLGPA 18
Bore	B	mg/l	< 0,05	0,05-0,35	0,35-0,7	0,7-1	> 1	AEAG
Autres paramètres chimiques								
pH			6,5	6,5-6,2	6,2-5,8	5,8-5,5	< 5,5	AEAG
			8,5	8,5-8,8	8,8-9,2	9,2-9,5	> 9,5	AEAG
Pesticides	µg/l			< 0,1			> 0,1	EEA
Métaux lourds								
Zinc	Zn	µg/l	< 100	100-1700	1700-3400	3400-5000	> 5000	AEAG
Plomb	Pb	µg/l	< 5	5-7,5	7,5-10	10-50	> 50	AEAG
Cadmium	Cd	µg/l	< 1	1-2,5	2,5-3,5	3,5-5	> 5	AEAG
Cuivre	Cu	µg/l	< 100	100-150	150-200	200-4000	> 4000	AEAG
Arsenic	As	µg/l	< 5	5-7,5	7,5-10	10-100	> 100	AEAG
Chrome	Cr	µg/l	< 25	25-30	30-40	40-50	> 50	AEAG
Paramètres physiques								
Matières en suspension	MES	mg/l	< 2	2-3,5	3,5-5	5-5000	> 5000	AEAG
Turbidité	Turb.	NTU	< 0,4	0,4-1,2	1,2-2	2-3750	> 3750	AEAG
Paramètres biologiques								
Coliformes totaux	CT	u/100 ml	0	< 25	25-50	50-50000	> 50000	AEAG

Tab. 4 : Tableau de référence des classes choisies pour le diagnostic qualitatif de la ressource en eau souterraine

AEAG : Agence de l'Eau Adour Garonne ; EEA : European environment Agency ; TLGPA 18 : HOFFMANN et TARRISSE, 2000 ; CAA : Code Alimentaire Argentin

- **DGI-OIKOS, 2006**

Une étude commune réalisée par l'*Association de la Première zone Agricole* de l'oasis, et l'Association *OIKOS Red Ambiental*, ONG mendocina de l'environnement, a porté sur l'évaluation des quantités de déchets urbains (macro-déchets) présents dans les canaux d'irrigation. Cette étude, a été publiée en partie dans les journaux locaux, mais est restée aux mains des auteurs (l'Association de la première zone a affirmé à notre collègue Marisa FEIJÓO ne pas l'avoir ; OIKOS nous a affirmé l'avoir laissée à la première). Nous ne sommes pas parvenue à la lire. Le Président d'OIKOS, Eduardo SOSA, nous a également fait part de ses doutes quant à la méthodologie de cette étude, réalisée par des membres d'OIKOS, mais de manière externe à l'Association. Deux hypothèses s'offrent à nous : soit l'étude dérange les autorités qui font pression sur les deux Associations (la première zone appartenant au DGI), soit les résultats sont à mettre en doute et les Associations préfèrent les taire pour ne pas que l'on mettre en doute leur sérieux et leur crédibilité. Nous penchons personnellement pour la seconde hypothèse puisque l'Association OIKOS n'a pas éprouvé de difficultés à nous confier des documents qui dérangent, et nous a souvent demandé nos travaux pour les médiatiser. Les seuls extraits publiés dans les journaux locaux seront donc utilisés, mais aucune méthodologie n'y est spécifiée ; il faudra donc prendre les chiffres proposés avec une certaine distance.

- **MASTRANTONIO, 2006**

En 2006, Leandro MASTRANTONIO, professeur à la FCA (Faculté d'Agronomie) a publié un rapport sur les conséquences de la réutilisation des effluents domestiques et industriels sur la qualité des eaux et des sols. Notre propos ne concernant que l'eau, nous n'avons utilisé que les cartographies réalisées à partir de mesures effectuées dans la nappe phréatique. Les sites d'études choisis sont ceux où les cultures sont exclusivement irriguées par des effluents domestiques (ACRE Paramillo et Campo Espejo) ou industriels (Hijuela Sanchez, recevant une partie des eaux du collecteur Pescara). A partir de points de prélèvements (10 pour Campo Espejo, 23 pour Paramillo), l'auteur a cartographié les concentrations en coliformes fécaux de l'ACRE Campo Espejo, entre octobre 2005 et mai 2006 et de l'ACRE Paramillo, mais avec un seul prélèvement en mai 2006. Le problème de cette étude est que les seuils choisis pour cartographier les résultats ne correspondaient pas à ceux que nous avions délimités dans ce chapitre. Leandro MASTRANTONIO nous a offert ses bases de données ainsi que les géoréférences des points de mesure, nous permettant de refaire les cartographies. De nouveau, ces données ne nous appartiennent pas.

- **FEIJÓO *et al.*, 2007**

En 2007, Marisa FEIJÓO, Maître de conférences de l'Université de Saragosse a disposé d'un congé de recherche, afin de travailler sur la gestion des macro-déchets urbains de Mendoza et ses conséquences sur les infrastructures d'irrigation. Cette étude, avant tout d'ordre économique, a consisté en l'évaluation des « *pertes économiques et environnementales pour la province, particulièrement pour le secteur agricole* », consécutifs à la prolifération des déchets dans les canaux. Les résultats sont constitués d'un diagnostic financier (cf. *infra*, partie IV), mais le rapport final dispose de certaines données quantitatives sur la pollution physique des canaux.

La méthodologie employée est basée sur une série d'entretiens, ayant permis de récolter de nombreuses informations sur ce sujet. Elle a ainsi rencontré des acteurs du DGI, dont Mario LURASCHI, responsable de la Police de l'eau, les responsables des quatre

premières zones agricoles, Gabriela VICENCIO, responsable du service environnement de la municipalité de Guaymallén, le sub-secrétaire à l'environnement de la province (MAyOP), et a visité le centre d'enfouissement des déchets d'El Borbollón et de nombreux points à problèmes de l'oasis. Notez que nous avons effectué une partie des entretiens ensemble. Son travail s'est axé sur les quatre premières zones agricoles car ce sont celles qui reçoivent les eaux urbaines. Les zones 5 et 6 sont protégées de la pollution de l'agglomération.

- **ZAMORANO *et al*., 2006 et 2008**

En 2005, lors de la visite de Mrs. SALOMON (Directeur de thèse) et HOFFMANN (Directeur du LGPA) à Mendoza, un accord avait été engagé entre le LGPA, l'INA-CRA et l'Institut de Géographie de l'Université du Cuyo (cf. Avant-propos). C'est d'ailleurs à partir de cette collaboration que cette thèse a été engagée. Parmi les axes de recherche de chacun, l'Institut de géographie de l'UNC prévoyait un diagnostic qualitatif des macro-déchets dans le réseau superficiel.

Ce travail a été séparé en deux parties. En 2005-2006 d'abord, la finalité consistait en l'évaluation de la pollution dans les *zanjones*, ces collecteurs de crue qui parcourent la ville d'ouest en est, tandis qu'en 2007-2008, les chercheurs ont étudié la pollution des *acequias* de l'agglomération.

La première étude (ZAMORANO *et al*., 2006) concernait donc les collecteurs de crues (ou *zanjones*), installés depuis le piémont à l'ouest de la ville, jusqu'au canal-collecteur Cacique Guaymallén. Il a s'agi dans un premier temps de recenser les types de déchets et leur volume, avec une représentativité spatiale et temporelle suffisante. Ainsi, trois séries de mesures ont été effectuées : en novembre 2005, mars et juillet 2006, soit au printemps, à l'automne et en hiver (l'université est fermée l'été). Afin de parfaire la représentativité spatiale, des points d'observation ont été choisis tous les 200 m, et géoréférencés par GPS de manière à automatiser la cartographie. Ont été mesurés : la disposition des résidus dans les *zanjones* (souvent vides, ce ne sont pas des canaux d'irrigation), leur densité, les types… Dans un second temps, l'équipe a effectué une série d'enquêtes (auxquelles nous avons participé), auprès des riverains de ces *zanjones*. Tous les 200 m, nous interrogions les habitants vivant directement au bord de ces collecteurs de crue, et ceux à environ 300 m des collecteurs. A cela il faut ajouter des entretiens avec une quinzaine de responsables de la gestion de l'eau. Les résultats de ce travail ont été présentés aux Journées de la Société chilienne de sciences géographiques à Santiago du Chili en novembre 2006.

La seconde étude (ZAMORANO *et al*., 2008) a concerné les *acequias*. A partir de données socio-économiques sur les types de quartiers des municipalités de Capital, Guaymallén et Godoy Cruz, l'équipe a choisi cinq quartiers-types de chaque commune : un quartier de haute catégorie socio-économique, un quartier de classe moyenne-haute, un quarter de classe moyenne-basse, un quartier de classe basse, et un quartier mixte, d'usages divers. Le **Tab. 5** présente les caractéristiques et les quartiers choisis.

Pour chaque quartier **(Fig. 31)**, un enquêteur devait, tous les 100 m, noter le volume, le type de déchets, la disposition dans l'*acequia*, le type d'*acequia* (traditionnel, en béton, couvert…), de manière à permettre une cartographie d'ensemble des déchets en fonction de l'emplacement du quartier sur la pente de direction NNE du glacis, et en fonction du niveau socio-économique de ses habitants. Ce travail était censé être réalisé sur les quatre saisons de l'année. Au moment de la publication, lors des X° Journées de géographie de l'UNC

(ZAMORANO *et al*., 2008), seules les observations de printemps et d'été avaient été effectuées.

Catégorie socio-économique	**Caractéristiques**	**Secteurs choisis**
HAUTE	- Habitat non conventionnel avec confort. - Superficie du logement > à 150 m² - Services extras et spéciaux - Haute superficie couverte/habitant - Terrains > 400 m²	Capital : Barrio Maristas Godoy Cruz : Barrio Arizu Guaymallén : Barrio Alto Dorrego
MOYENNE-HAUTE	- Habitat conventionnel avec quelques aménagements - Superficie de 80 à 149 m² - Services communs - Relation superficie/habitant moyenne - Terrains de 200 à 400 m²	Capital : Quinta Sección Godoy Cruz : Barrio Trapiche Guaymallén : Barrio Luz y Fuerza (Dorrego)
MOYENNE-BASSE	- Habitat conventionnel à finalité sociale, sans détails de constructions spécifiques - Superficie de 50 à 79 m² - Services communs limités - Relation superficie couverte/habitant faible - Terrains < 200 m²	Capital : Quarta Sección Godoy Cruz : Barrio Bella Vista Guaymallén : Barrio Bombal (Dorrego)
BASSE	- Habitat réalisé avec du matériel traditionnel, sans équipement ni conforts - Superficie de 30 à 49 m² - Services communs limités - Relation superficie couverte/habitant déficitaire - Terrains < 200 m²	Capital : Barrio San Martín Godoy Cruz : Barrio Parque Sur Guaymallén : Barrio Los Ceibos
MIXTE	- Edifices d'usages multiples autour de la place centrale de la municipalité (commerces, administration…)	Capital : Plazza Independencia et alentours Godoy Cruz : Place centrale et Barrio Pouget Guaymallén : Place del Encuentro et alentours

Tab. 5 : Choix des secteurs de référence selon la catégorie socio-économique
Source : Zamorano *et al*., 2008.
NB : Les caractéristiques des habitats sont celles de l'INDEC (Institut National des Etudes Statistiques et du recensement). *Barrio* : quartier

L'étude présentée revêt des biais de méthodologie, en particulier par une fréquence des observations assez faibles (une fois par saison), une absence de méthode stricte de pesage des déchets, ou d'évaluation du volume à défaut du poids. **Mais elle demeure la seule étude faite à l'échelle des *zanjones* et des *acequias***, la majorité des recensements étant effectuée dans les canaux et collecteur agricoles. Cette étude ne s'appuie donc pas sur un comptage en aval, dans l'oasis agricole, mais en amont, dans la zone urbaine, et en cela elle est très intéressante.

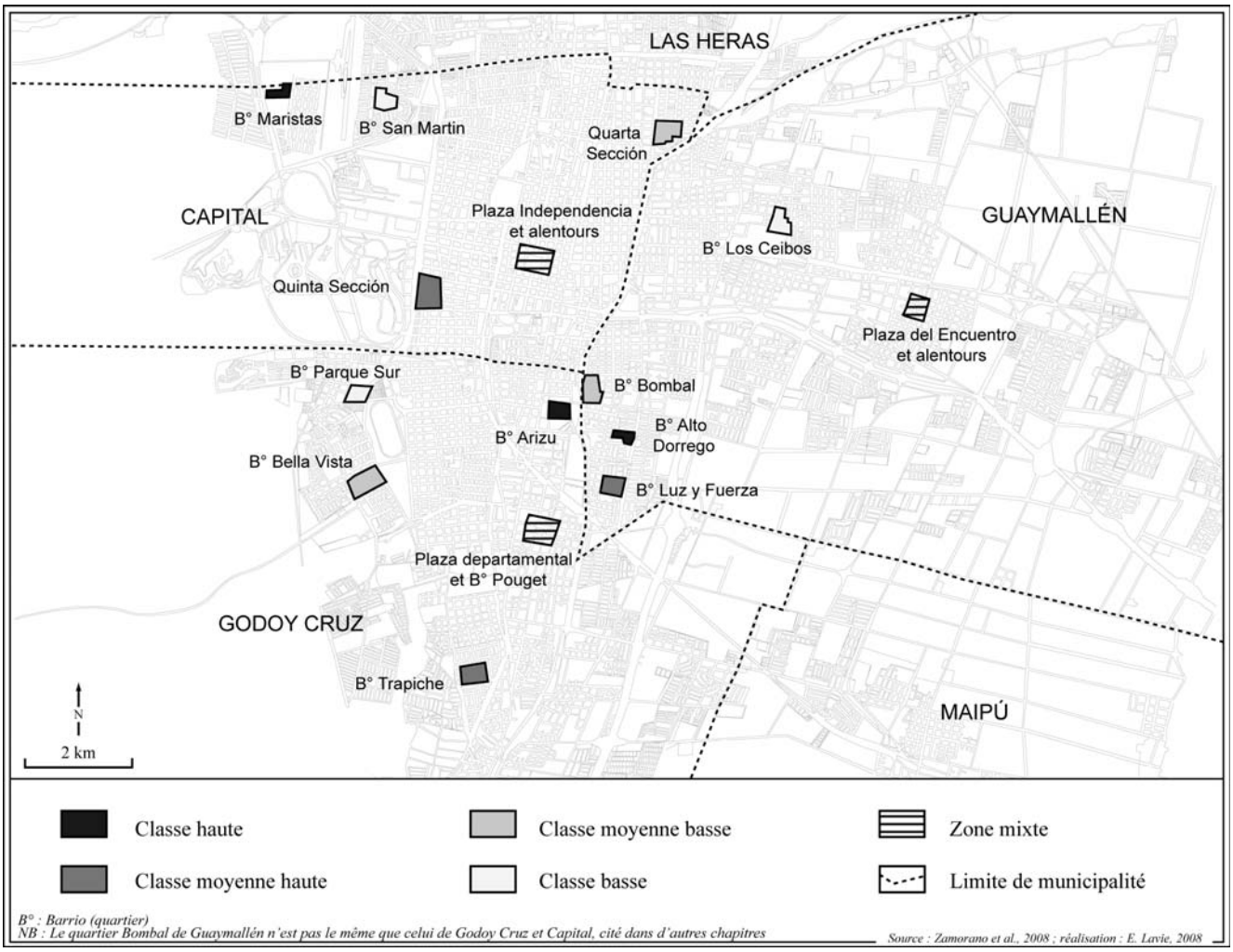


Fig. 31 : Localisation des secteurs-tests pour le recensement des macro-déchets dans les *acequias*
Source : en partie d'après Zamorano *et al*., 2008,
Fond de carte : Service statistique, Gouvernement de Mendoza

- **Qualité INA-CRA 2003-2008**

En 2002, le Centre Régional Andin (CRA) de l'Institut National de l'Eau (INA), s'est allié avec la *Facultad de Ciencias Agrarias* (Faculté d'Agronomie) pour présenter un projet commun sur la qualité de l'eau de l'oasis. Le financement accordé par un fond de recherche national a permis à ces équipes de réaliser un long travail de recueil de données sur la qualité de l'eau. D'une part, les ingénieurs de l'INA, depuis février 2003, vont tous les mois[44] prélever des échantillons d'eau de seize points. Ces seize points sont répartis sur le río Mendoza, sur les canaux d'alimentation, et sur les collecteurs et les drains **(Planches photos 12 a** et **b)**. D'autre part, chaque laboratoire de l'Université effectue les analyses en fonction de sa spécialité (métaux lourds, salinité, bactériologie…). Cette base de données a contribué à l'écriture de quatre articles sur la qualité de l'eau de l'oasis (MORÁBITO *et al*., 2005a et 2007). Cette base a dans l'ensemble assez peu été exploitée, malgré l'abondance de données

[44] : A l'exception de janvier où les laboratoires d'analyses sont fermés pour la coupure estivale, et en juin ou en juillet où il n'y a pas d'eau dans l'oasis pour la coupure hivernale.

pour un pays émergent et une partie de ce travail de thèse, outre la réalisation de notre propre base de données, consiste dans le traitement plus en profondeur de celle-ci[45].

De fait, seize points ont été choisis **(Fig. 32)**, dont trois sur le río Mendoza. Le premier, RI, est situé au niveau du barrage de Cipolletti, donc à l'entrée dans le système irrigué, et constitue en quelques sortes notre témoin, notre site de référence. Bien sûr, il existe des activités anthropiques en amont de ce point (raffinerie d'hydrocarbure, tourisme, hydroélectricité, et en partie agriculture), mais ce point est un passage obligé pour presque toute l'eau utilisée dans l'oasis, il reste donc une référence. Le point RII, situé en aval sur le río, est intéressant car il correspond à la zone d'exsurgence de la nappe phréatique. Si en aval du barrage de Cipolletti, il n'y a presque plus d'eau dans la rivière, on peut remarquer au niveau de RII un cours d'eau avec un débit constant et moyen. Le río est donc réalimenté par des sources souterraines et par les eaux de ruissellement du Cordón del Carrizal. RII est aussi intéressant car situé quelques kilomètres en amont du rejet de la station d'épuration de Paramillo et sert donc de point de référence de l'état des eaux avant rejet de la station d'épuration des effluents domestiques. RIII est donc le dernier point du río, situé en aval des rejets de la station, il est aussi en quelques sortes le point de mesure de l'eau à la sortie de l'oasis. Les activités anthropiques sont faibles en aval de RIII et ce point nous donne une indication sur la qualité des eaux à leur entrée dans le désert.

Les porteurs du projet ont aussi référencé cinq points dans les canaux d'alimentation. Le point CIV est situé en rive droite du río, au sud de l'oasis, dans une zone rurale, agricole, mais en aval des activités de la raffinerie. Le point CIII est aussi un point à l'écart de la zone urbaine. Il est situé en aval de l'oasis, sur le canal San Martín, à son entrée dans la Zone agricole 5. En théorie, aucun rejet anthropique ne doit être effectué dans ce canal en amont de CIII. CI quand-à-lui est un point de référence en sortie de l'agglomération, tandis que RI était en entrée de la zone urbaine. En CI, sur le Cacique Guaymallén, on trouve les eaux du río, les eaux des collecteurs de crue (les *zanjones*), les eaux des *acequias*, les effluents domestiques des populations non reliées au réseau collectif d'assainissement… et des eaux agricoles. Mais si CI est un point de référence en sortie d'un système (le système urbain amont), il est aussi le point d'entrée d'un autre système, le système agricole aval. En effet, en CI, les eaux du canal Cacique Guaymallén se séparent en deux branches. Au nord part le canal *rama* Jocoli, à l'est le canal *rama* Auxiliar Tulumaya. Le canal Jocoli est d'ailleurs le réceptacle des eaux de la seconde station d'épuration des eaux domestiques, Campo Espejo, et le point CII est situé en aval de ce rejet. CI et CII nous permettent donc de disposer d'un point en amont du rejet, et d'un autre en aval. L'Auxiliar Tulumaya est connu pour être le récepteur de branches du collecteur Pescara, collecteur des eaux usées industrielles de la *Zona alcoholera* (cf. *supra*). Pour cette raison, le point CV a été choisi sur ce canal, en aval des rejets, afin de distinguer là encore la qualité de l'eau en amont (CI) et en aval (CV) des rejets des eaux industrielles.

Enfin, parce qu'il est aussi important d'évaluer la qualité de l'eau en sortie du système de manière à connaître l'impact sur l'environnement, huit points ont été choisis sur des drains et collecteurs. Le point DI est situé sur le collecteur Pescara en amont du Système de traitement des eaux industrielles (en fait une dilution des eaux polluées, cf. *infra*).

[45] : La période entre le moment où le prélèvement est effectué et celui où le résultat d'analyse revient à l'INA est relativement variable et longue. De fait, nous n'avons reçu les résultats des prélèvements de septembre 2007 à mai 2008, qu'à la fin 2008. Au moment de l'impression de cette thèse, nous ne disposions toujours pas des données postérieures à mai-2008, ce qui explique la date de fin du diagnostic.

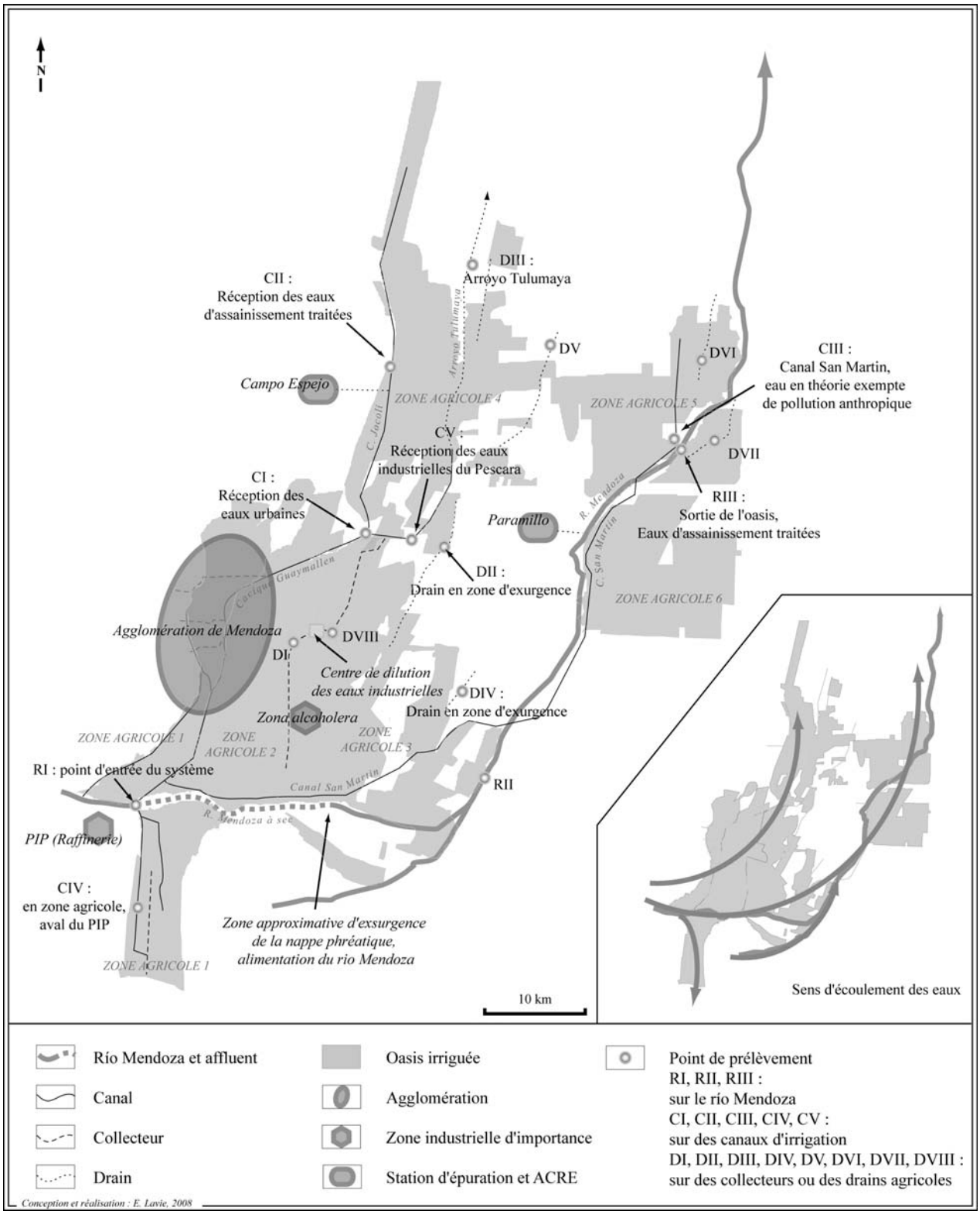


Fig. 32 : Localisation des points de prélèvements
(base de données de l'INA et Lavie)

Ce point existait avant la mise en place du Système en 2004, ce qui nous a permis d'évaluer l'efficacité de cette infrastructure. En 2005, après l'inauguration du Système Pescara, un second point a été choisi en aval de la zone de traitement, c'est le point DVIII. Là encore, nous disposons d'un point en amont et d'un autre en aval des rejets industriels. Le point DII

est situé dans la zone saline centrale. C'est un drain de collecte des eaux agricoles, dans le secteur d'exsurgence de la nappe phréatique, qui crée à ce niveau une lagune. DIV est un point analogue. Situé lui aussi en sortie de zone agricole, il est néanmoins très souvent à sec et nous disposons donc de peu de mesures. Le point DIII a lui été choisi sur l'arroyo Tulumaya (à ne pas confondre avec le canal *rama* Auxiliar Tulumaya). C'est un drain naturel, qui transporte les eaux de la zone d'exsurgence de la nappe phréatique vers le désert, au nord. Or, ce ruisseau a été anthropisé, servant aujourd'hui de drain agricole, et de réceptacle des eaux du canal Auxiliar Tulumaya. Il est intéressant car c'est sur ses rives qu'est implanté le bourg de Lavalle, appelé Villa Tulumaya, mais aussi parce qu'il est le drain naturel de la zone centrale saline. DV est un drain agricole, toujours en eau, en sortie de la Zone agricole 4, celle qui est alimentée par les canaux *ramas* Jocoli et Auxiliar Tulumaya. Enfin, deux drains ont été choisis dans les Zones agricoles 5 et 6, n'accueillant que quelques bourgs ruraux et des zones agricoles. Les quelques rares industries ont décliné. Bien qu'à 70 km de Mendoza, le secteur de Gustavo Andre, de Costa del Araújo ou de Nueva California est considéré comme du rural profond. Beaucoup de familles indiennes ou boliviennes y vivent. Les deux points que nous avons choisis sont DVI, en rive gauche, et DVII, en rive droite.

Les apports personnels

L'intérêt de cette thèse, consistait dans un premier temps à recenser les études réalisées par les Argentins sur la qualité de l'eau de leur oasis ; cependant il apparaissait également intéressant d'effectuer notre propre base de données.

Comme nous l'avons vu, la méthodologie de l'INA est basée sur une sortie mensuelle. Elle a l'avantage de proposer un suivi de plusieurs années, mais **la fréquence ne permet pas de connaître en détail le fonctionnement du système**, en particulier l'influence des cycles des végétaux, ou la réactivité à un stimulus pluvieux. Nous avons ainsi pensé effectuer plusieurs séries de plusieurs mois chacune, avec des prélèvements hebdomadaires. La première série s'est déroulée pendant l'hiver 2006, à savoir de juin à août. Mais la coupure annuelle de l'eau dans les canaux a duré plus longtemps que prévu et les prélèvements ont été limités aux seuls drains pendant tout le mois de juillet. Le suivi a réellement été réalisé en août. Le second suivi s'est déroulé au printemps 2007, de septembre à mi-décembre. L'intérêt de cette date se révélait être **l'évaluation de l'incidence du réveil végétal sur l'épuration des polluants**. Pour des questions financières (et par notre activité d'enseignement en France), le suivi s'en est arrêté là. Les tours d'irrigation nous ont posé d'importants problèmes de régularité du suivi. En effet, les zones irriguées par le canal Cacique Guaymallén sont alimentées 4 jours, puis 4 jours pour le canal San Martín. La majorité des points est située en zone San Martín, mais lorsque celle-ci est irriguée le weekend, cela limite les possibilités de sorties, sachant qu'une demi-journée de laboratoire est nécessaire suite à chaque prélèvement, et que cela n'est pas faisable le week-end non plus puisque le laboratoire est fermé. De fait, la fréquence entre chaque analyse au niveau de chaque point est assez variable, d'une semaine à 15 jours en moyenne.

En conséquence, nous avons fait le choix de prendre les mêmes points de prélèvement que l'INA, afin de pouvoir comparer les résultats et d'affiner la méthodologie… Les prélèvements ont été effectués selon la méthode du LGPA (HOFFMANN et PELLEGRIN, 1996) que nous avons adaptée aux impératifs du terrain. Chaque échantillon a été prélevé dans une bouteille (toujours la-même), rincée à l'eau du site, et transportée dans une glacière. Par manque de temps puisqu'une journée est nécessaire pour faire le tour des points (300 km), seule la température a été mesurée *in situ*. L'oxymétrie (mg/l et %) était systématiquement

mesurée le jour-même des prélèvements, le soir. En laboratoire, au plus tard 36 h après le prélèvement (les échantillons ayant été maintenus au frais), nous avons mesuré la conductivité électrique, les taux de sels (TDS), la salinité et le pH, et analysé la turbidité, les concentrations en nitrates et en phosphates.

Le pHmètre/oxymètre/conductimètre est un appareil de la marque Consort, qui mesure directement les paramètres dans l'eau, en trempant une sonde dans l'échantillon, en faisant bien attention à nettoyer la sonde entre chaque échantillon, au moyen d'eau distillée, et de l'essuyer avec du papier absorbant.

Le spectrocolorimètre/turbidimètre est un appareil photolab WTW. Les nitrates ont été mesurés au moyen de tubes à réaction, les phosphates par une méthode simple de réactifs, et la turbidité est mesurée directement par l'appareil.

Chaque résultat a été saisi dans un tableur Excel pour le traitement statistique.

Parallèlement à ces sorties hebdomadaires, nous avons effectué deux séries de prélèvements dans la moyenne vallée du río Mendoza, afin de connaître l'impact anthropique sur la qualité de l'eau, avant sa prise au barrage de Cipolletti. Ces séries ont été faites sur cinq points (dont le point RI), en octobre et novembre 2007. Le point le plus en amont est situé sur le río Mendoza en amont de sa confluence avec l'arroyo Uspallata **(Fig. 42)**, soit en amont des pressions de ce village de montagne. On considère que la pression anthropique en amont de ce point est relativement limitée aux eaux de ruissellement de la route internationale menant à Santiago du Chili, et à quelques villages de haute montagne. Le second point a été choisi en aval de cette confluence, afin d'évaluer la pression d'Uspallata sur la qualité de l'eau du río. Le point 3 est situé sur la rive du lac de Potrerillos, tandis que le suivant est situé en aval de ce barrage au niveau de la centrale hydroélectrique d'Alvarez Condarco, ceci afin d'évaluer l'impact du barrage. Enfin, le point RI nous donne une indication sur l'hydro-qualité en entrée dans l'oasis (cf. *infra*).

Enfin, via la même méthode, nous avons réalisé un diagnostic qualitatif des eaux du robinet des habitations de l'agglomération, dont les résultats sont présentés en partie IV, mais dont la méthodologie est celle utilisée pour nos mesures dans le réseau d'irrigation.

***

De fait, les résultats présentés ci-après dans les Chapitres 4 à 7 sont issus pour la plupart de nos bases de données conjointes. Les graphiques sont issus du traitement sur Excel, les cartographies via Excel et Philcarto, puis retravaillées sur Illustrator. Il ne nous paraissait pas indispensable de travailler sur SIG. Par contre, un petit point méthodologique s'impose quant à la représentation cartographique. En effet, nous avons présenté, dans la mesure du possible, pour chaque paramètre, les valeurs minimales, maximales et moyennes du suivi. Afin de s'affranchir des éventuels artefacts de mesure (appareil ou humain), les « minima » sont en fait une moyenne des trois valeurs minimales du suivi ; de même, les « maxima » sont une moyenne des trois valeurs maximales. Or, que ce soit ces minima et maxima, ou la moyenne du suivi, il s'agit de données relatives, qui devraient, au regard de la sémiologique graphique, être présentées en aplats de couleur et non en figurés ponctuels et proportionnels entre eux. Or, les points de prélèvements sont ponctuels et ne se réfèrent pas à une surface, il nous apparaît donc inopportun de les cartographier en couleur lorsqu'il s'agit de présenter les valeurs. Elles seront donc en figurés ponctuels. En revanche, lorsque nous avons cartographié le classement qualitatif des points en fonction des seuils de pollution, nous avons choisi une cartographie par couleurs, en respectant le classement des **Tab. 3** et **4**.

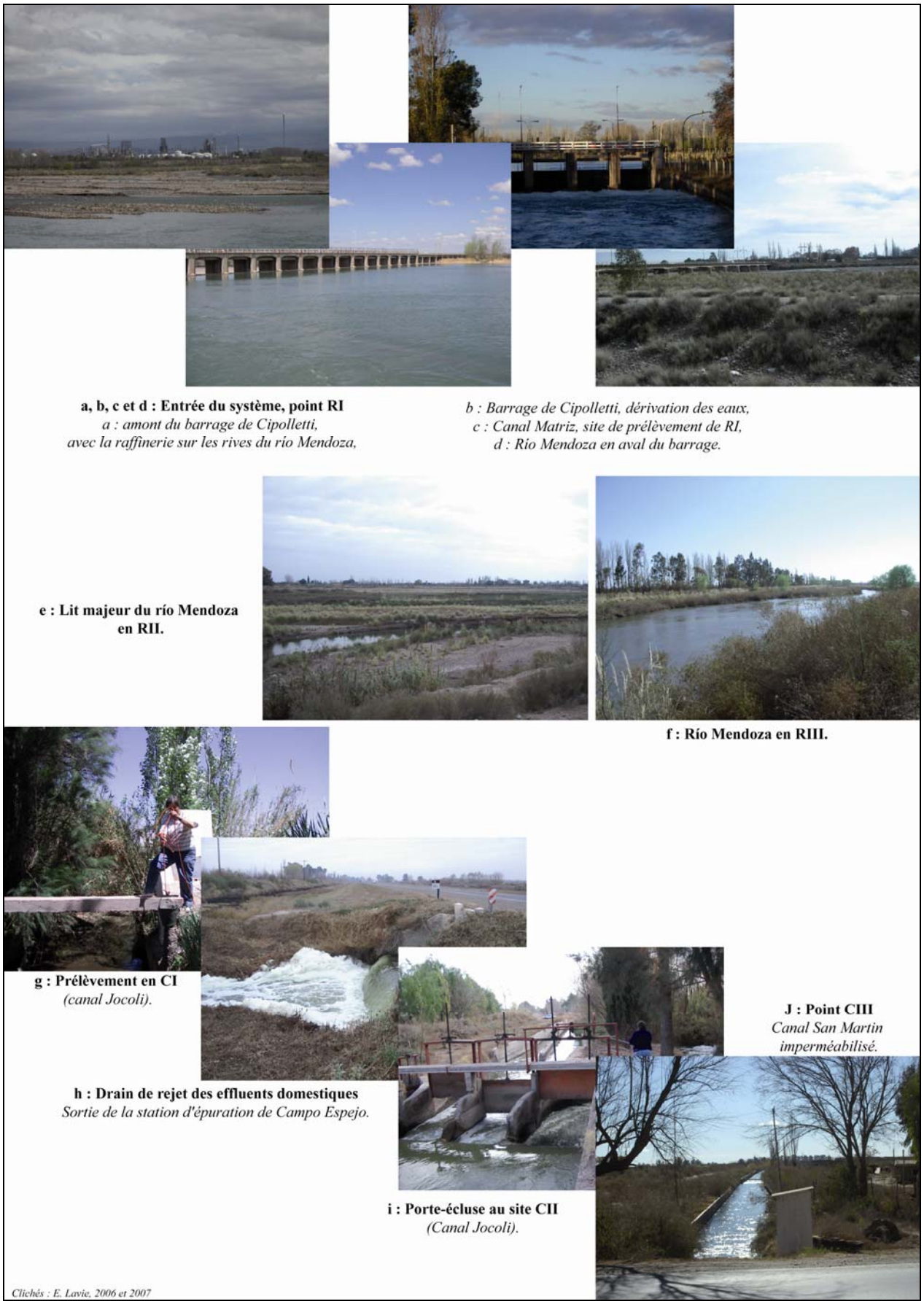


Planche photos 12a : Points de prélèvement RI, RII, RIII, CI, CII, et CIII

Planche photos 12b : Points de prélèvement CIV, CV et les drains DI à DVIII

Chapitre 4 :

Les éléments du vivant

L'introduction d'espèces animales ou végétales exogènes et le surdéveloppement de ces micro-organismes ou de végétaux micro et macroscopiques, entraînent un déséquilibre du milieu. C'est ce que l'on appelle communément la **pollution bactériologique**. Par définition, cette pollution est donc issue du milieu lui-même. Mais elle est inquiétante car elle peut provoquer une mortalité élevée chez d'autres organismes présents comme les poissons, et chez les usagers de cette ressource, comme l'homme (par baignade ou consommation). En réalité, la **pollution biologique** est plus large que la définition qu'on lui donne. Elle comprend les déséquilibres bactériologiques (micro-organismes), végétaux (eutrophisation par exemple), mais aussi l'introduction d'organismes exogènes génétiquement modifiés (les OGM), voire les hormones.

Le problème auquel nous nous sommes heurtée est le manque d'information en ce qui concerne les éléments autres que la bactériologie. Autant l'eutrophisation est relativement facile à évaluer via des mesures d'oxymétrie et de turbidité, autant il nous a été impossible de disposer d'information sur les OGM et les hormones. Nous pensons d'ailleurs que ces informations n'existent pas.

De fait, non pas que nous considérons que la pollution bactériologique est plus importante, mais c'est la seule sur laquelle nous pouvons vous présenter des résultats, elle sera donc traitée à part.

4-1- Une pollution bactériologique concentrée

On distingue souvent les pollutions chroniques des pollutions accidentelles, les pollutions chroniques étant continues dans le temps, avec un apport régulier, les pollutions accidentelles étant consécutives d'un rejet ponctuel dans le temps. Une seconde distinction est faite entre les pollutions diffuses et les pollutions concentrées. Les pollutions diffuses, celles qui ont une répartition spatiale plutôt étendue sont généralement issues de rejets chroniques, les polluants étant apportés par les eaux au sol, puis du sol aux nappes phréatiques, sur une surface relativement étendue. Les phosphates par exemples sont typiques de pollutions diffuses puisque leurs sources sont multiples et leur progression relativement lente. Les pollutions concentrées sont des rejets, chroniques ou accidentels, effectués dans un cours d'eau ou une nappe, mais qui ont tendance à ne pas se répandre spatialement. Les pollutions concentrées sont par exemple un rejet d'une station d'épuration ou d'une industrie. Il est donc important de savoir **séparer le temporel** (chronique ou accidentel), **du spatial** (diffus ou concentré).

La pollution bactériologique est une pollution assez concentrée. Certes, les habitations non reliées au réseau d'assainissement collectif favorident une diffusion des bactéries mais, dans l'ensemble, les pollutions bactériologiques sont concentrées en aval des rejets des stations d'épuration et des parcs industriels.

En ce qui concerne les bactéries, seule une étude complète est à notre disposition. Il s'agit de la base de données de l'INA-CRA, avec des prélèvements mensuels depuis 2003. Le prix de ces analyses étant très élevé, seuls les points des canaux et du río Mendoza ont été mesurés. De fait, ce sont huit points de référence, avec trois paramètres : les **bactéries aérophiles mésophiles**, **les coliformes totaux** et **les coliformes fécaux**.

Les bactéries sont psychrophiles (lorsqu'elles aiment le froid (10-20°C)), mésophiles (elles se développement à des températures moyennes (20-40°C)) ou thermophiles (au-delà de 40°C). De fait, étant données les températures de l'eau dans un réseau à ciel ouvert, influencées par les températures de l'air, la majorité des bactéries est mésophile. Beaucoup de ces bactéries mésophiles sont des bactéries pathogènes de l'homme, car leur température idéale de développement est 37°C. Parmi ces bactéries pathogènes, on trouve les staphylocoques ou les pneumocoques. Il faut en outre savoir que certaines de ces bactéries mésophiles se développent lorsque le milieu est pourvu de très faibles quantités d'oxygène, ce sont les bactéries aérophiles mésophiles. Ce n'est pas un paramètre fréquemment analysé en hydro-qualité, mais la Faculté d'Agronomie dispose d'appareils de mesure de ces bactéries aérophiles mésophiles.

Les **coliformes** sont des entérobactéries, l'une des plus importantes familles de bactéries. Les coliformes totaux se développent à 30°C et sont généralement des germes fécaux. Néanmoins, on retrouve quelquefois ces coliformes totaux dans certains sols. De fait, pour voir se développer des coliformes, il faut une introduction de matière fécale (animale ou humaine), ce qui est assez courant à Mendoza étant donné le nombre de *villas miserias* installées le long des canaux, et le milieu chaud. Il faut une à quatre semaines à ces coliformes pour disparaître, le temps variant en fonction des températures. Parmi les coliformes totaux, on distingue les coliformes thermotolérants, plus communément appelés coliformes fécaux. Ils supportent encore plus facilement la chaleur, jusqu'à 44°C. Le plus commun de ces coliformes fécaux est sans conteste l'***Escherichia Coli***, responsable de bon nombre de nos gastro-entérites.

Que dire donc de ces résultats ? Au vu de la cartographie réalisée **(Fig. 33)** pour les **bactéries aérophiles mésophiles**, le premier constat est que déjà en RI, il y a des bactéries dans l'eau, avec une moyenne de 1459 u/ml. Cette eau n'est donc pas directement potable ; mais via un traitement par le chlore, elle est utilisée pour l'AEP. Le point RI, référence ici puisque point d'entrée dans l'oasis irriguée, est néanmoins bien moins pollué par les bactéries aérophiles mésophiles que les autres sites. A l'exception de CIII, sur le canal San Martín, tous les autres points sont pollués. Or, le canal San Martín ne subit en théorie aucune pression anthropique avant le point CIII (cf. *supra*) ; c'est donc une première preuve de l'efficacité de la protection de ce canal. En revanche, les autres sites paraissent subir plus directement la prolifération des bactéries aérophiles mésophiles. La première observation est que cela signifie que la température de l'eau dépasse généralement les 20°C, ce qui est assez logique puisque sur l'ensemble de l'année, seuls deux mois sont véritablement froids. La seconde observation est que ces bactéries aérophiles mésophile ne se développent qu'en très faibles quantités d'oxygène. Cela peut présager des problèmes d'oxymétrie importants (cf. partie III). Le point CIV est relativement peu atteint par cette pollution, tout comme RI et CIII. Il faut dire que ce sous-BV est assez rural et peu dense dans l'ensemble. Les bactéries aérophiles

mésophiles étant des germes souvent humains, il n'est pas très étonnant que ce secteur soit peu concerné. Les problèmes les plus graves se situent donc en partie centrale de l'oasis, au niveau de l'agglomération et des zones industrielles (cf. *infra*).

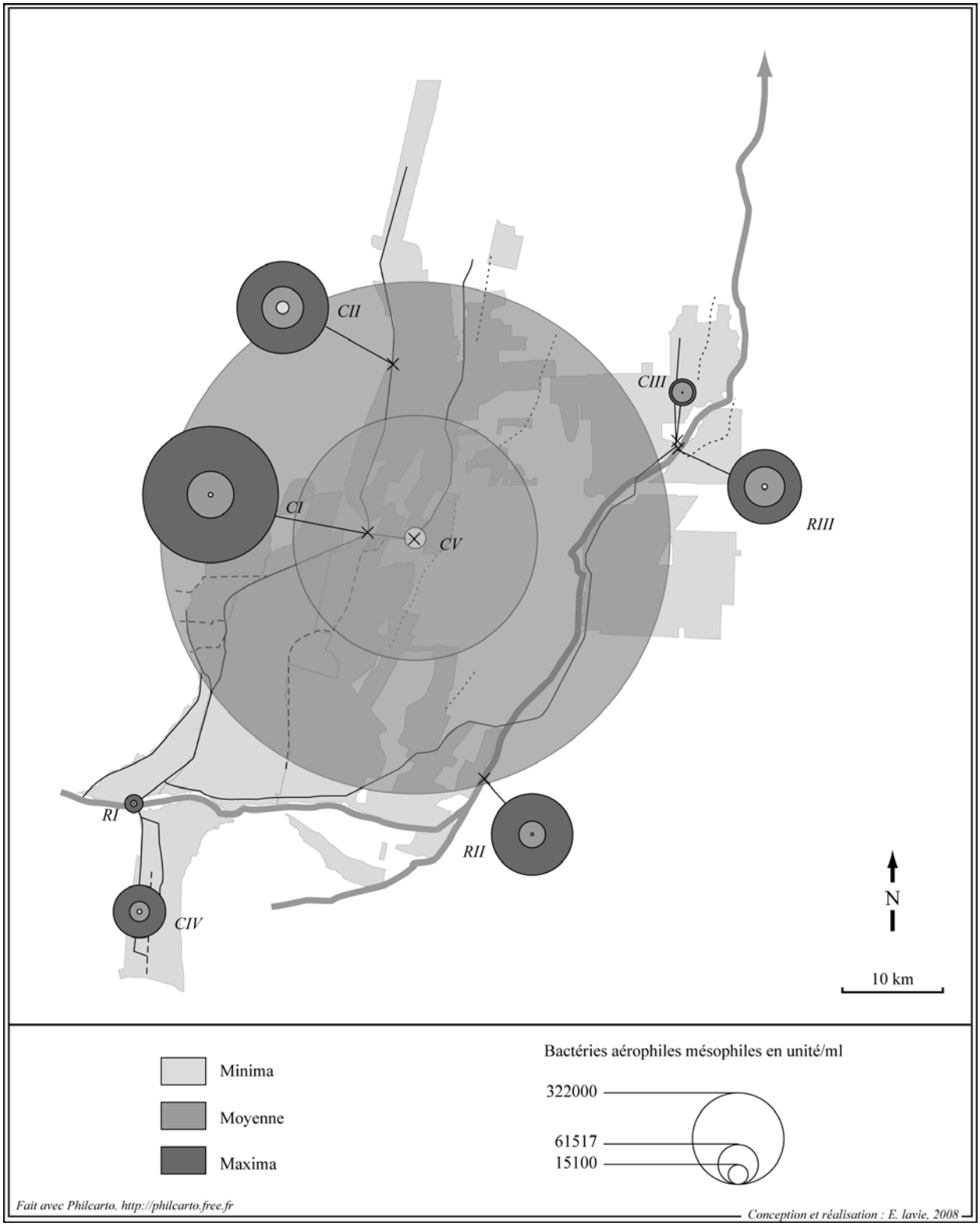


Fig. 33 : Cartographie des bactéries aérophiles mésophiles dans le réseau d'irrigation de l'oasis
Source : données de l'INA

En ce qui concerne les coliformes fécaux, les mêmes conclusions peuvent être établies à partie de la **Fig. 34**. Les points RI, CIII et CIV sont pollués, mais en quantités très limitées par rapports aux autres sites.

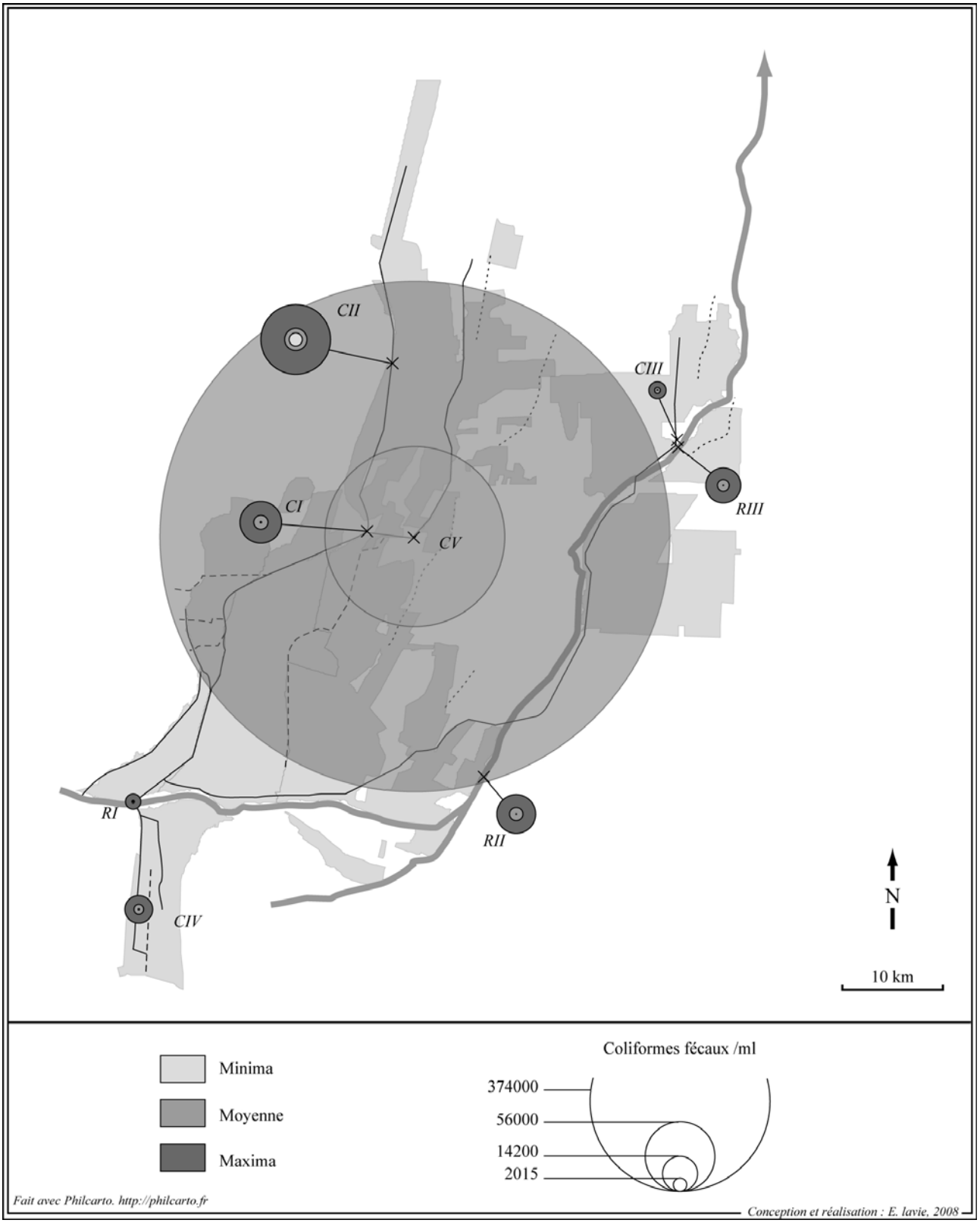


Fig. 34 : Cartographie des coliformes fécaux dans le réseau d'irrigation de l'oasis
Source : données de l'INA

Enfin, les coliformes totaux donnent une cartographie similaire (**Fig. 35**, la différence d'échelle trompe), mais avec une différence encore plus importante entre le point CV et les autres sites.

Fig. 35 : Cartographie des coliformes totaux dans le réseau d'irrigation de l'oasis
Source : données de l'INA

De fait, en croisant les trois cartographies des bactéries mesurées dans les canaux et le río Mendoza, deux conclusions s'imposent : la pollution bactériologique connaît deux sources principales : **la pollution domestique** et **la pollution industrielle**.

4-1-1- Pollution domestique : inefficacité du système d'assainissement collectif

Le système d'assainissement permet la distinction entre les habitats informels, dont les effluents domestiques sont canalisés vers le système agricole (canaux, collecteurs, *acequias*…), et les habitats formels non reliés au réseau collectif mais qui disposent de fosses septiques aux capacités limitées et à l'efficacité douteuse, des habitations reliées au réseau collectif. Les effluents de ces foyers sont collectés par voie souterraine, conduits aux stations d'épuration, puis traités par lagunage, réutilisés pour l'irrigation des ACREs et enfin restitués au milieu. Ainsi la station Campo Espejo rejette-t-elle ses effluents dans le canal Jocoli, tandis que la station Paramillo rejette ses eaux usées dans le río Mendoza. Or, ces stations ont atteint le maximum de leurs capacités en 2005-2006 et reçoivent plus d'eau qu'elles ne peuvent en traiter. De fait, une partie des débits reçus n'est pas traitée (en fait, seul un dégrillage est opéré pour libérer l'eau des solides) et est restituée au milieu (cf. *infra*, partie IV).

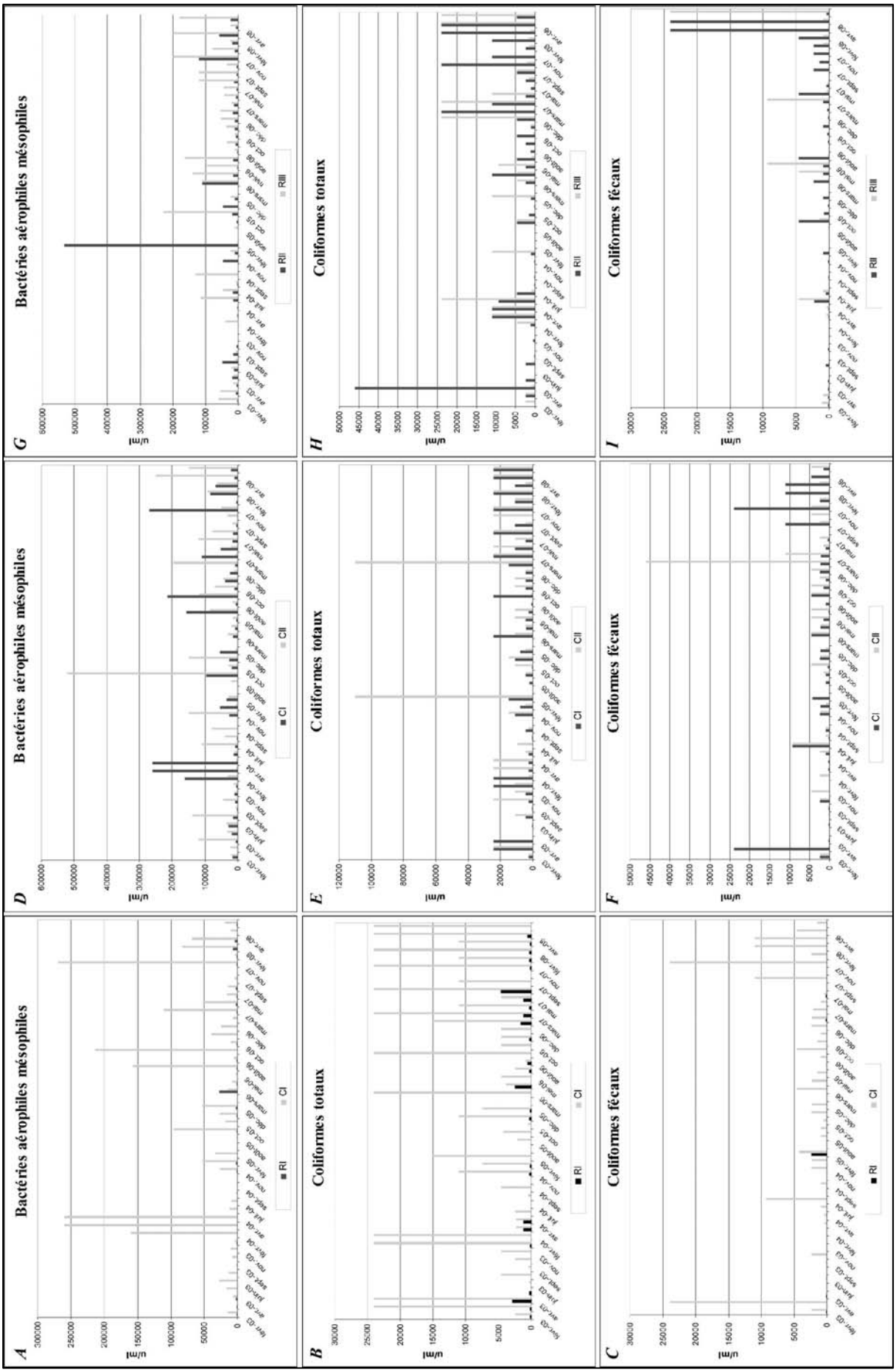
Sur ce plan, nous disposons de la base de données de l'INA-CRA pour les eaux superficielles, et d'une étude de MASTRANTONIO (2006) pour les eaux souterraines des ACREs.

- **Les eaux superficielles**

Afin d'évaluer l'impact de la pollution domestique sur la qualité bactériologique, nous nous appuierons sur les deux systèmes d'assainissement collectif, et sur la présence de l'agglomération.

L'agglomération de Mendoza est en théorie protégée des pollutions domestiques par son réseau de collecte des effluents. Or, l'agglomération est parsemée de *villas miserias* qui sont autant de pressions sur le milieu urbain. Parce qu'il est impossible d'évaluer la pression de toute l'agglomération, nous allons nous intéresser à une comparaison amont-aval de la zone urbaine. En effet, RI, sur le barrage de Cipolletti, est situé en amont de l'oasis. Le canal Cacique Guaymallén, qui traverse l'agglomération du sud au nord, est donc le principal collecteur des eaux urbaines. Là où meurt le canal Cacique Guaymallén, naissent les canaux Jocoli et Auxiliar Tulumaya. C'est aussi le point CI. Une comparaison RI-CI permet donc d'évaluer (en partie) l'impact de l'agglomération sur la pollution bactériologique (**Graph. 4 A, B** et **C**).

Une fois de plus, les valeurs n'étant pas les mêmes, les échelles utilisées faussent un peu la lecture des graphiques, mais il s'avère que, dans l'ensemble, ils sont comparables. En effet, si RI présente un profil bas et assez régulier, CI présente, lui, un profil haut et très irrégulier. Mais, si les graphiques sont comparables entre eux, les deux points ne le sont pas. Avec en moyenne 57 fois plus de bactéries aérophiles mésophiles en CI qu'en RI (83 446 en CI pour 1459 u/ml en RI), presque 30 fois plus de coliformes totaux en CI qu'en RI et plus de 70 fois plus de coliformes fécaux (5745 u/ml en CI, 80 u/ml en RI), **la pression exercée par l'agglomération sur le canal Cacique Guaymallén pour les paramètres bactériologiques est flagrante**.



Graph. 4 : Comparaison des teneurs en bactéries dans les canaux à vocation en partie domestique

A, B et C : comparaison RI-CI ; D, E et F : comparaison CI-CII ; G, H et I : comparaison RII-RIII ; Source : à partir de la base de données de l'INA

Par ailleurs, au regard des difficultés rencontrées par OSM.SA. (entreprise sous contrat) pour traiter l'ensemble des effluents d'origine domestique, on s'attendrait à une très nette augmentation du nombre de bactéries entre les points situés en amont des rejets des stations sur le canal Jocoli et sur le río Mendoza, et les points situés en aval de ces rejets. Afin d'évaluer la pression exercée par ces rejets, nous disposons de deux systèmes amont-aval de comparaison : CI et CII sur le canal Jocoli pour la station Campo Espejo, et RII et RIII sur le río Mendoza pour la station Paramillo.

Or, que nous apprennent les **Fig. 33, 34 et 35**, et les **Graph. 4 D à I** ? D'abord que les concentrations en bactéries n'augmentent pas systématiquement d'amont en aval. Les bactéries aérophiles sont certes plus nombreuses en RIII qu'en RII (2,3 fois plus), et les coliformes totaux et fécaux doublent également entre CI et CII. Mais à l'inverse, en moyenne les concentrations en bactéries aérophiles mésophiles baissent d'amont en aval sur le canal Jocoli (83 446 u/ml en CI, 65 945 u/ml en CII) et les coliformes baissent aussi légèrement entre RII et RIII. Comment donc interpréter ces résultats ? Si on observe le comportement de ces hydrosystèmes dans le temps **(Graph. 4 D** à **I)**, on remarque d'abord une inadéquation complète, pour chaque date, entre les différents paramètres analysés et les différents points. Il arrive que les concentrations soient les mêmes sur deux points, ce qui nous paraît relever plus de l'erreur d'analyse que de la réalité. En effet, quand l'appareil de mesure indique 24 000 u/ml de coliformes fécaux et totaux, sur plusieurs points et à des dates différentes, nous pouvons sérieusement nous interroger sur l'efficacité du dispositif.

Au regard donc des résultats présentés, il apparaît que si quelquefois les valeurs mesurées augmentent d'amont en aval, ce n'est pas systématique. Et les quelques pics que nous pouvons observer sur les graphiques peuvent être considérés comme des artefacts. Ce que nous enseignent les données mises à notre disposition est avant tout que sans données sur les quantités, il est difficile d'interpréter les résultats. Or, les données de débit dont nous disposons sont trop peu précises pour être présentées de manière graphique. Mais en les observant, nous avons certaines fois noté une augmentation des concentrations quand les débits diminuaient, parfois au contraire les concentrations augmentaient avec les débits. Deux hypothèses s'offrent à nous : soit, lorsque les débits augmentent, cela peut entraîner une dilution des pollutions et donc des baisses de quantités par volume d'eau ; soit, si les nouvelles arrivées d'eau sont des eaux polluées, les augmentations de débits peuvent amener à une augmentation des concentrations en bactéries dans l'eau. Il faut savoir que le canal Jocoli est alimenté en eau du río Mendoza (via le canal Cacique Guaymallén) pendant quelques jours (c'est le *turno grande*), puis est vide pendant quelques jours (*turno chico*). Il n'y a donc pas d'eau en CI ces jours là. Par contre, en CII, il y a toujours de l'eau de rejet de la station d'épuration de Campo Espejo. De fait, soit le canal n'a que de l'eau domestique et le débit est très faible en CI et faible en CII (*turno chico*), soit le canal est alimenté en eau du canal Cacique Guaymallén, et les débits sont forts en CI, et moyens en CII (*turno grande*). En effet, **en *turno chico*, les débits augmentent de CI à CII, tandis que lors des *turnos grandes*, les débits diminuent d'amont en aval** puisque certaines terres agricoles sont desservies en eau entre les deux points. En réalité, il est difficile d'interpréter ces résultats. Un autre problème, assez conséquent, est que si nous disposons de débits approximatifs, nous ne savons pas si les prélèvements ont été effectués en *turno grande* ou en *turno chico*. De même, les prélèvements en CI et CII étaient généralement effectués le même jour, mais il arrivait que quelques jours séparent les deux échantillonnages. Enfin, si CII était très généralement prélevé le matin tôt, CI était un point de début d'après-midi. Or, des rejets pouvaient avoir été opérés ou arrêtés entre ces deux prélèvements.

Dans l'ensemble, même si des biais de méthodologie rendent l'interprétation des résultats fastidieuse, quelques conclusions d'ensembles peuvent cependant être élaborées : tout d'abord, on constate **des valeurs très élevées de bactériologie**, tant pour les bactéries aérophiles mésophiles que pour les coliformes, fécaux ou totaux. Les bactéries aérophiles mésophiles semblent présenter les variations les plus importantes, elles seraient donc plus réactives à des stimuli externes. Les coliformes totaux présentent des valeurs très légèrement plus stables. Dans l'ensemble, les fortes concentrations en bactéries dans les canaux Cacique Guaymallén et Jocoli et le río Mendoza, peuvent être attribuées aux activités humaines. Ces germes pathogènes sont le plus souvent issus de matières fécales. Si le comportement complexe de l'hydrosystème en termes de débit nous oblige à prendre du recul sur notre diagnostic, on ne peut pas nier la part du système d'assainissement dans cette prolifération bactériologique. En effet, mis à part les rejets des stations d'épurations, les variations de concentrations entre RI et CI interrogent sur l'efficacité et l'imperméabilité du réseau collectif d'assainissement. Quelle est la part des habitats précaires dans cette pollution ? Quelle est la part d'une gestion inadaptée ? Ce sont des questions que les autorités devraient être amenées à se poser.

- **Les eaux souterraines**

Grâce à quelques piézomètres, MASTRANTONIO (2006) a extrapolé les concentrations de coliformes fécaux dans l'eau de la nappe phréatique, qui affleure ici à moins d'1 m par endroits, dans les ACREs. Les ACREs sont des espaces en théorie contrôlés, où les cultures (dont les produits ne peuvent être consommés crus) sont irriguées par les effluents domestiques traités par les stations d'épuration. Ces aires, d'une surface de 2700 ha pour Campo Espejo et de 1800 ha pour Paramillo, ne reçoivent que des effluents domestiques, les eaux ne sont jamais diluées par les eaux du río Mendoza, contrairement à toutes les autres zones cultivées (cf. Partie I). Les analyses ont été effectuées à la FCA, comme celles de l'INA, la méthodologie est donc la même. La cartographie **(Fig. 36)** réalisée par l'auteur présente des résultats de concentrations nettement inférieurs aux moyennes que nous avons observées dans les eaux superficielles. Or, d'une part, seules trois dates sont présentées sur cette cartographie, deux pour Campo Espejo, une seule pour Paramillo ; et d'autre part, les cartographies ne sont que des extrapolations surfaciques de résultats ponctuels.

Mais nous pouvons tout de même conclure à une contamination bactérienne des eaux de la nappe phréatique située sous les aires d'utilisation des effluents domestiques. Or, les coliformes sont issus des matières fécales, la responsabilité de cette contamination est donc vite trouvée. Néanmoins, en migrant en profondeur, les bactéries devraient mourir. Deux explications peuvent être proposées : premièrement, la nappe phréatique est proche de la surface ici (0,5 à 2 m de profondeur), elle est donc alimentée en oxygène, indispensable à la vie des coliformes fécaux (à la différence des bactéries aérophiles mésophiles). Mais, deuxièmement, par son affleurement, elle emmagasine également la chaleur du sol, chaleur propice au développement des coliformes fécaux comme l'*Escherichia coli*.

Nous ne disposons malheureusement que de peu de données en ce qui concerne la qualité bactériologique des eaux souterraines, mais les cartographies de MASTRANTONIO (2006) **(Fig. 36)** sont une base importante prouvant que la prolifération des bactéries d'origine domestique ne se cantonne pas au strict réseau superficiel. La nappe phréatique est atteinte, ce qui signifie que les sols le sont aussi.

Fig. 36 : Coliformes fécaux dans la nappe phréatique des ACREs
Source : Mastrantonio, 2006

4-1-2- Pollution industrielle : les *bodegas* « en ligne de mire »

La deuxième hypothèse que nous avions présentée dans ce sous-chapitre est celle d'une pollution bactériologique par les activités industrielles. En effet, au regard des **Fig. 33**, **34** et **35**, il s'avère que le point CV situé sur le Canal Auxiliar Tulumaya en aval de sa confluence avec le collecteur Pescara, révèle des teneurs en bactéries très élevées. Pour les trois paramètres dont nous disposons de résultats (bactéries aérophiles mésophiles, coliformes totaux et coliformes fécaux), CV est le point qui présente les valeurs (minimales, moyennes et maximales) les plus hautes.

Les augmentations mesurées entre RI, point d'entrée du système d'irrigation, et CV, point de sortie des eaux industrielles de Guaymallén et Maipú, sont impressionnantes. La cartographie renforce ce constat de pollution très importante. Mais le plus étonnant est l'augmentation entre CI et CV **(Tab. 6)**, distants de quelques 7 kilomètres seulement l'un de l'autre, car aucune industrie, ni pression anthropique urbaine importante, n'existe entre ces deux points. Seules deux *hijuelas* (petits canaux d'irrigation) originaires du collecteur Pescara confluent avec le canal Auxiliar Tulumaya. Les eaux de rejets industriels sont donc la seule cause possible de cette pollution. Les moyennes très hautes (jusqu'à plus de 3 millions d'u/ml

de coliformes totaux) cachent pourtant des valeurs maximales extrêmes pour des eaux agricoles. En effet, on a mesuré 10 millions de bactéries aérophiles mésophiles/ml, 3 millions de coliformes fécaux/ml, et jusqu'à 20 millions de coliformes totaux u/ml.
Mais ces valeurs sont-elles régulières ?

Paramètre	Unité de mesure	RI	CI	CV	Evolution RI-CV	Evolution CI-CV
Bactéries aérophiles mésophiles	u/ml	1 459	83 446	2 300 000	+ 157 542 %	+ 2 656 %
Coliformes totaux	u/ml	432	12 454	3 200 000	+ 740 640 %	+ 25 595 %
Coliformes fécaux	u/ml	80	2 287	374 000	+ 467 400 %	+ 16 253 %

Tab. 6 : Concentrations moyennes mesurées et croissance des teneurs en RI, CI et CV
Source : à partir de la base de données de l'INA

Le comportement sur le temps long des teneurs en bactéries dans le canal Auxiliar Tulumaya **(Graph. 5)** est très irrégulier. Cependant, il s'avère que les valeurs augmentent systématiquement à l'automne (mars-mai). Pour chaque paramètre et pour chaque année, les bactéries semblent se développer en automne. Mais l'ensemble des valeurs augmente également à partir de l'automne 2007, avec très peu de valeurs basses. Deux questions se posent alors : **pourquoi des pics chroniques en automne** et **pourquoi les valeurs augmentent-elles en 2007 ?**

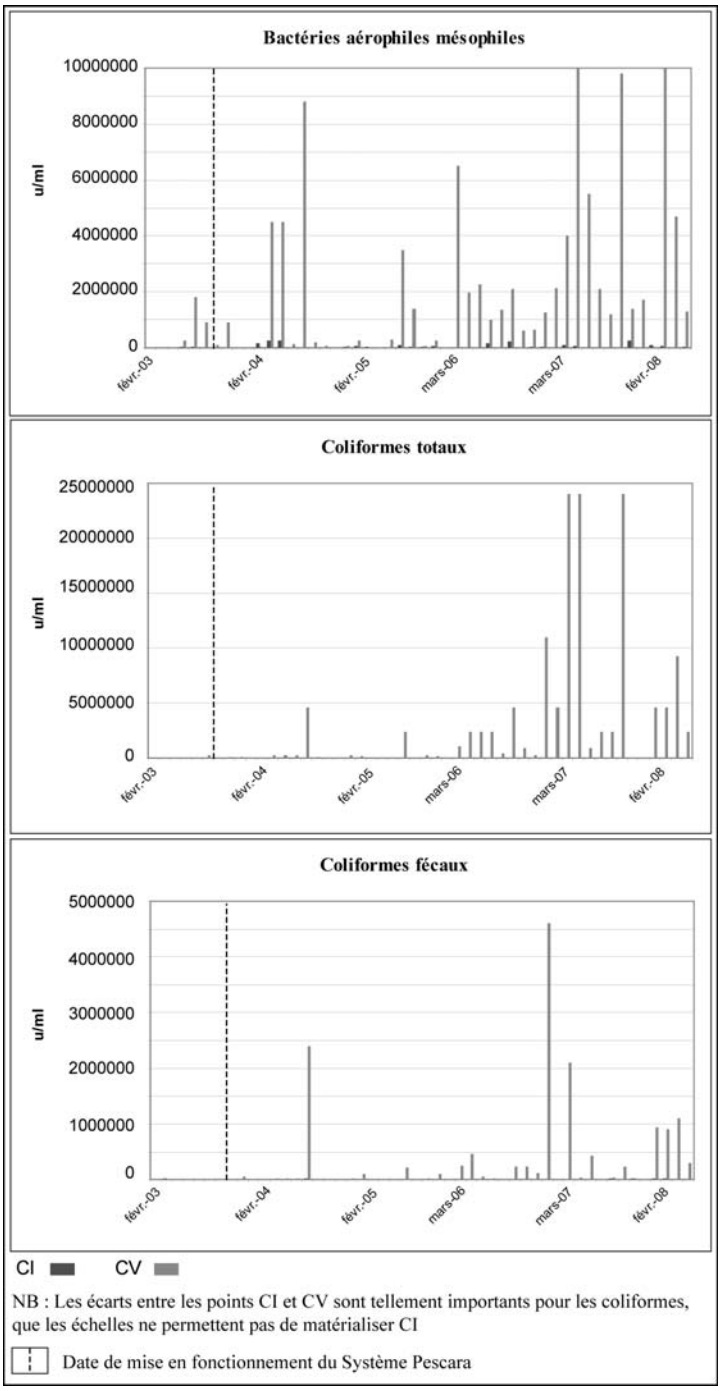
Pour répondre à ces deux questions, il s'avère indispensable de présenter le fonctionnement anthropique du collecteur Pescara **(Fig. 37)**.

Depuis sa construction au XIXème siècle, le collecteur Pescara a pour vocation principale de collecter les eaux agricoles de la zone 2 pour les transporter en zone 4, pour l'irrigation. Au départ, à l'exception des eaux domestiques de quelques habitats épars, seules des eaux agricoles étaient transportées par le collecteur Pescara. Les agriculteurs des zones aval (zone 4) disposaient même des intrants agricoles apportés par les agriculteurs de la zone 2 à leurs plants. Mais avec le développement de l'industrie à Mendoza, notamment le secteur agro-alimentaire, aux eaux agricoles se sont peu à peu ajoutées les eaux industrielles de la *Zona alcoholera*, transformant totalement le système puisque les eaux potables utilisées par les industriels étaient polluées par leurs activités et déversées dans un collecteur agricole. Cet ouvrage hydraulique collectait les eaux de la zone agricole 2, celles des habitats formels pauvres et informels de cette zone et les eaux des industries de mise en conserve, des *bodegas*, des tanneries, des abattoirs… De l'avis de Mendocinos, l'eau avait une couleur mélangée de rouge sang provenant des deux abattoirs de la *Zona alcoholera*, et violet des effluents vinicoles. Depuis de nombreuses années, les autorités cherchaient une solution pour délester le collecteur de ces eaux, sachant que les agriculteurs de la zone 4 commençaient à sérieusement se plaindre de la qualité de leur eau d'irrigation. Une des solutions visait à collecter les eaux industrielles et à les transporter vers une des deux stations d'épuration des effluents domestiques, sachant qu'elles devaient être agrandies. Mais la crise *de los 2000* est

arrivée et une solution à moindre coût a été préférée. Depuis septembre-octobre 2004, date où le Système Pescara a été inauguré, le réseau a été modifié.

Aujourd'hui, les eaux agricoles de la zone 2 poursuivent leur chemin dans le collecteur Pescara originel, vers la zone 4 **(Fig. 37)**. Par contre, les entreprises ayant dû investir dans des infrastructures de traitement sommaire de leurs eaux, les effluents industriels sont en théorie traités en partie avant d'être conduits via un second collecteur Pescara, souterrain. Celui-ci conduit les eaux dans une salle de mélange où elles sont analysées. Au-delà d'un certain seuil de pollution, elles sont diluées à des eaux fossiles puisées dans l'aquifère par cinq pompes. Elles sont ensuite reconduites vers le collecteur Pescara à ciel ouvert. Si les teneurs en polluants sont toujours supérieures aux normes fixées par le DGI, une seconde batterie de huit autres puits approvisionne en eau fossile le collecteur originel.

Ce système nous a particulièrement interpellée. D'une part, parce que gaspiller de l'eau fossile de qualité, pour diluer de l'eau polluée (et augmenter la quantité d'eau polluée par la même occasion) nous apparaît une **solution absurde** en matière de gestion des pollutions (*Ibid.*) ; et d'autre part, parce que les normes-guides impliquant la mise en marche des pompes de dilution sont assez élevées. Ensuite, parce que dans l'ensemble, ce Système n'est presque jamais en marche. En effet, il apparaît qu'en fin 2007, les valeurs mesurées en CV, soit en aval de la salle de mélange, avaient nettement augmenté, pour de nombreux paramètres. Nous ne voyons pas d'autre hypothèse pour expliquer une augmentation aussi brutale des bactéries dans l'eau.



Graph. 5 : Evolution des teneurs en bactéries entre CI et CV

Source : A partir de la base de données de l'INA

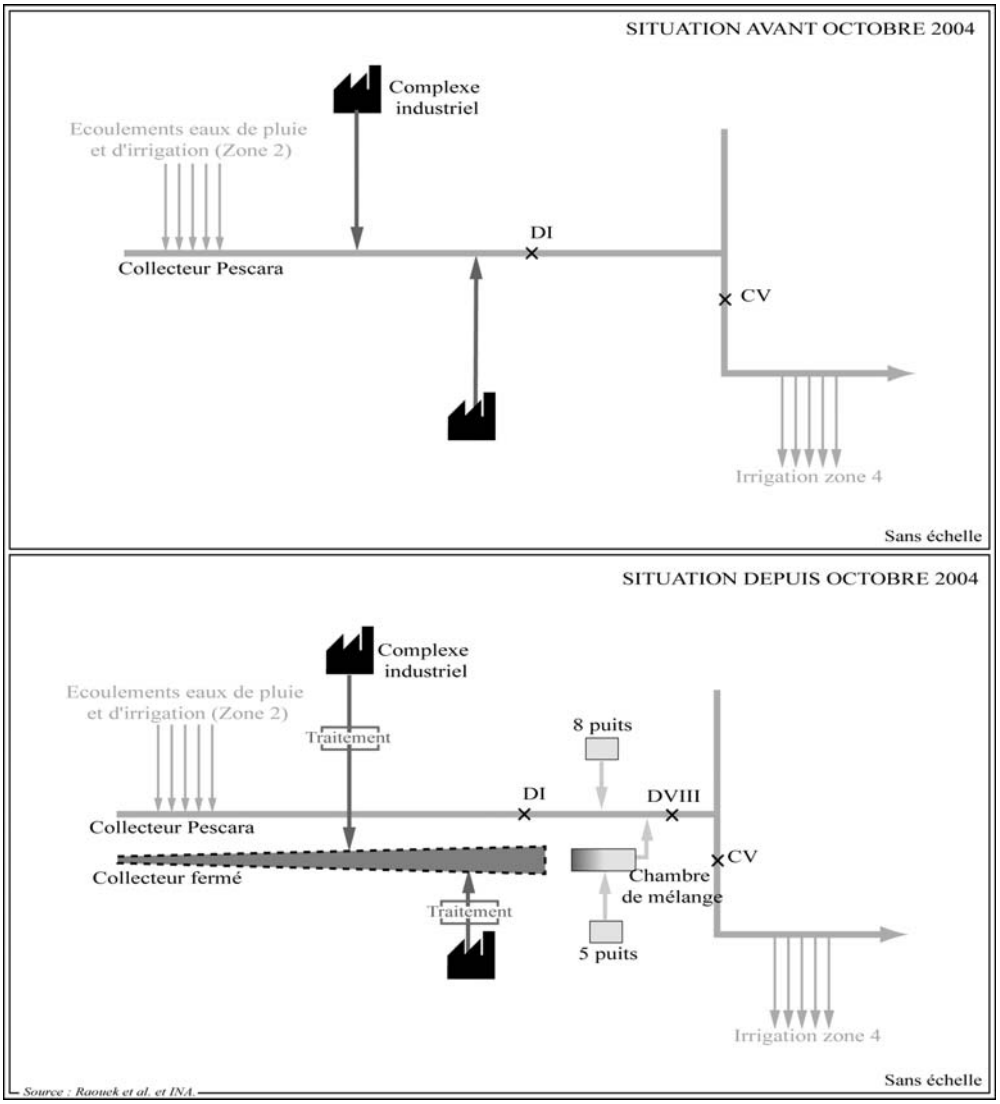


Fig. 37 : Système de « traitement » des eaux dans le secteur Pescara
Source : in Lavie, 2007a

La seconde question concernait les pics de pollution des mois d'automne. Or, il se trouve que l'automne est la période d'activités industrielles la plus importante. En effet, après la récolte des fruits et des raisins, les entreprises de mise en conserve et les *bodegas* commencent la transformation des produits. Or, ces activités impliquent l'adduction, dans l'eau, des bactéries des fruits mais surtout des **bactéries de la vinification** (BERVILLE, 2001). En effet, comme le souligne le titre de ce sous-chapitre, les *bodegas* sont en ligne de mire dans cette pollution bactériologique du collecteur Pescara. Les bactéries issues de l'industrie vinicole sont nombreuses. Il y a bien sûr les bactéries de transformation du jus de raisin en vin, qui se retrouvent dans les eaux lors du nettoyage des cuves, des outils et des ateliers, mais il y a aussi d'autres types de bactéries. Elles se développent grâce à la présence de matières en suspension (MES) qui leur permettent de migrer car un bon nombre de bactéries nécessite un support pour se déplacer dans l'eau (Institut National de santé public du Quebec, 2003). Les bactéries aérophiles profitent de l'absence d'oxygène dans les effluents vinicoles. Certaines se développent grâce à la présence de nutriments azote phosphore et potassium (NPK) desquelles elles se nourrissent.

Il est dommage que nous ne disposions que de données sur la zone industrielle *Zona Alcoholera*. Les autres grands centres industriels sont peu nombreux, mais nous ne pouvons évaluer leur impact sur la qualité bactérienne des eaux. Le Parc Industriel Provincial (PIP) qui accueille la raffinerie de pétrole est implanté en amont du barrage de Cipolletti. On peut

penser que ses rejets effectués en amont du barrage peuvent expliquer la présence de bactéries en RI, mais sans point en amont pour comparer, cela restera à titre d'hypothèse. La zone industrielle de Las Heras et les zones industrielles parallèles aux grands axes de communication peuvent aussi avoir un impact, que nous ne pouvons évaluer, par absence d'analyses.

De fait, les rejets industriels dans le collecteur Pescara pourraient expliquer à eux seuls la pollution bactériologique chronique et spectaculaire des eaux du canal Auxiliar Tulumaya, son exutoire. Néanmoins, une autre explication peut être avancée :

Le canal de collecte des eaux domestiques alimentant la station d'épuration de Paramillo est parallèle au collecteur Pescara dans sa partie aval, soit en aval de la salle de mélange. Or, à ce niveau, le collecteur Pescara n'est pas imperméabilisé, il peut donc être alimenté par les eaux de lessivage des sols lors des fortes pluies. Si la conduite des effluents domestiques est endommagée, il y a fort à parier que les eaux usées des foyers atteignent le collecteur Pescara. Cette hypothèse est fort plausible étant donné l'état du réseau souterrain à Mendoza et les nombreuses fuites d'eau observées, dans l'agglomération notamment. Mais elle ne peut expliquer à elle seule les quantités de bactéries en CV.

En conclusion, nous disposons d'assez peu de données permettant de proposer un diagnostic véritablement précis quant à la prolifération dans l'espace et dans le temps des bactéries dans le réseau superficiel et dans les aquifères. Nous pouvons toutefois proposer certaines hypothèses quant à l'origine des bactéries et leur comportement dans les hydrosystèmes. En effet, les bactéries recensées en aval de l'agglomération du *Gran Mendoza* et les systèmes amont-aval des rejets des stations d'épuration, prouvent une certaine inefficacité du réseau collectif de collecte et de traitement des effluents domestiques. Malheureusement, les différences de débits entre les *turnos grandes* et les *turnos chicos* posent des problèmes d'interprétation des relations quantités-qualités pour ces paramètres. Par contre, pour ce qui est des effluents industriels, la concentration des pollutions en CV sur le canal Auxiliar Tulumaya interroge sur l'efficacité du Système mis en place pour dépolluer les eaux du collecteur Pescara.

Par ailleurs, la pollution biologique est systématiquement attribuée aux bactéries, parce qu'à court terme elles sont responsables de nombreuses maladies. Les maladies issues du contact avec l'eau ou par consommation sont appelées maladies hydriques. Mais si l'urgence en matière de santé est souvent d'origine bactérienne, la consommation d'eaux polluées ou de poissons vivant dans ces eaux, peut impliquer à plus long termes, des cancers ou des maladies neuro-dégénératives (cf. *infra*, partie IV). Les conséquences peuvent donc être graves pour l'homme, mais aussi pour son environnement. Parmi les autres éléments pouvant polluer l'eau, on compte notamment les OGM et les produits pharmaceutiques.

4-2- Des menaces plus récentes

Nos nouveaux modes de vie et les progrès scientifiques ont développé l'usage de nouveaux produits par l'homme, pour lui et pour l'animal. En effet, nous avons de plus en plus recours à des médicaments ou autres produits issus de la recherche pharmaceutique. Nous consommons ces produits de manière directe (médicaments, hormones de contraception, hormones de croissance), comme indirecte (en mangeant des aliments eux-mêmes nourris aux hormones de croissance comme les stéroïdes, ou aux organismes génétiquement modifiés, les

fameux OGM). De fait, ces produits se retrouvent dans les eaux via les matières fécales, animales et humaines.

Etant donné les prix pratiqués pour des analyses d'hormones, de médicaments ou d'OGM dans les eaux, aucune étude n'a été réalisée et publiée sur ce sujet à Mendoza, mais sans forcément présenter des données permettant un diagnostic, il nous apparaît important de présenter les risques induits par nos nouveaux modes de vie sur la qualité biologique de l'eau, en dehors des bactéries. Or, nous ne savons pas comment épurer ces produits qui passent pourtant par nos stations de traitement des effluents domestiques.

L'Argentine n'est pas un pays très consommateur en hormones contraceptives, le risque de pollution n'est donc pas aussi important que dans les pays du Nord. Néanmoins, cet Etat agricole est très gourmand en soja et maïs génétiquement modifiés, qui entrent pour partiedans l'alimentation de bétail. L'Argentine, 2ème pays au rang mondial des surfaces plantées en OGM court-elle un risque de pollution de sa ressource en eau ?

4-2-1- Les produits pharmaceutiques

Selon le site de radio Canada (www.radio-canada.ca/nouvelles/Science-Sante/), « *un seul nanogramme (ng) d'hormones stéroïdes dans un litre d'eau est suffisant pour modifier le fonctionnement du système endocrinien des poissons. Résultats : une fertilité moindre et une féminisation des mâles* ». Or, « *l'eau que l'usine d'épuration de Montréal rejette dans le fleuve peut contenir jusqu'à 90 ng/l de certains composés d'œstrogènes* ».

La pollution par les produits pharmaceutiques est une modification des écosystèmes par des perturbateurs endocriniens des xéro-hormones (GENIN *et al*., 2003). Cette pollution des eaux des rivières a deux origines majeures : d'une part l'absorption par les êtres humains de produits pharmaceutiques comme les antibiotiques (mais ce qui inquiète le plus est l'utilisation de produits hormonaux comme les contraceptifs féminins (225 millions de femme en consommeraient)) ; d'autre part, les hormones viennent des stéroïdes apportés par les éleveurs au bétail, notamment en élevage industriel. Selon l'Agence de l'Eau Seine-Normandie (www.eau-seine-normandie.fr), la plus concernée par ce problème en France, en 2002, 800 t de produits pharmaceutiques ont été consommées en France par les hommes, et 1300 t par les animaux. Parmi ces produits, les hormones contraceptives et de croissance.

Or, quelle est la conséquence pour le milieu ? L'une d'elle est la féminisation des organismes males, par l'arrivée d'œstrogènes dans les eaux (SALOMON, 2008a). A titre d'exemple, en 1992, certains scientifiques se sont aperçu de modification chez les reptiles vivant autour du lac d'Apopka, en Floride : « *les alligators mâles dignes de ce nom ont disparu. Ces derniers sont dotés d'un tout petit pénis et ne s'intéresse pas à leurs congénères femelles* » (GENIN *et al*., 2003). De nombreuses études réalisées en Allemagne, en Suède, au Danemark, au Canada ou aux Etats-Unis démontrent très nettement la présence de dérivés pharmaceutiques dans les eaux (*Ibid*.).

Mais les impacts sur les êtres humains commencent aussi à se faire ressentir. On observe une croissance du nombre de cancers de la prostate et des testicules chez les hommes, des cancers du sein chez les femmes, et une puberté plus précoce chez les jeunes filles. (www.médecines-douces.com). Les concentrations en antibiotiques dans les eaux impliqueraient également le développement de micro-organismes résistants (SALOMON, 2008a).

Pour revenir au cas argentin, l'usage de la pilule contraceptive reste modéré. En effet, elle n'est que très rarement remboursée par l'assurance santé (équivalent de la Sécurité

Sociale et des mutuelles) et son usage n'est pas culturel dans tous les milieux de la société. Selon le *Centro Latinoamericano Salud y Mujer* (CELSAM, Centre latinoaméricain santé et femmes), seuls 39 % des Argentines de moins de 20 ans utilisent un contraceptif anti-grossesse (www.cimacnoticias.com) ! Les méthodes contraceptives sont limitées selon ce centre, que ce soit une contraception anti-MST ou anti-grossesse. Les hormones d'origine humaine ne sont donc pas ce que l'on peut considérer comme un fléau environnemental, à l'inverse des conclusions publiées sur les pays du Nord.

Par ailleurs, l'Argentine est un des premiers producteurs de viande. Le bœuf est l'animal roi de la Pampa, mais on trouve de très nombreuses volailles, nomment les poulets dans tout le pays et des ovins en Patagonie. Pour l'heure, le pays n'est pas un gros utilisateur d'hormones de croissance animales. Mais quel sera l'impact de la mondialisation sur le recours aux produits pharmaceutiques ? Ce sont des questions auxquelles nous ne pouvons répondre aujourd'hui. Mais il ne faut pas croire que l'Argentine soit en retard sur ces questions scientifiques. En effet, les Argentins ont créé *Pampa Mansa*, une vache clonée qui produit du lait contenant des hormones de croissance humaine qui pourrait soigner le nanisme (CLARIN, 2003). L'absence de garde-fous pose des questions sur le recours aux traitements hormonaux dans ce pays, permis notamment grâce aux progrès scientifiques sur les OGM.

4-2-2- Les OGM en Argentine

En 1996, la firme Monsanto choisissait l'Argentine pour introduire son soja transgénique Round Up Ready (RR). C'est un soja transgénique qui possède un gène lui permettant de résister au Round Up, puissant herbicide, également développé par Monsanto. Selon VIOLLAT (2006) « *l'argument de vente est simple : moins de pulvérisations nécessaires, moins de dépenses et plus de rendements* ». En vendant en plus son herbicide au tiers de sa valeur, Monsanto a subventionné les agriculteurs argentins pour développer son soja, passant de 6 millions d'ha en 1996, à 15,2 millions en 2006 (*Ibid.*), faisant de l'Argentine le second pays utilisateur d'OGM après les Etats-Unis.

En soi, Mendoza n'étant pas une province de production de soja ou de maïs, les OGM n'envahissent pas ses terres. De même, l'élevage est résiduel à Mendoza, donc les risques de pollution par les effluents animaux sont là aussi limités. Le risque provient donc avant tout le de consommation humaine. La viande consommée par les Mendocinos peut avoir été nourrie au soja et au maïs OGM et ces organismes génétiquement modifiés pourraient se retrouver dans les effluents domestiques. Le risque principal pour les eaux est donc celui-ci.

***

La pollution biologique, celle des éléments du vivant, matières animales et végétales, concerne donc la pollution bactériologique, hormonale et génétique. On peut même y ajouter les marées vertes et l'eutrophisation, pollution bio-physique, que nous traiterons avec les nutriments et l'oxymétrie en partie III.

Si nous ne disposons de données sur la pollution aux hormones ou aux OGM, les données sur la bactériologie sont plus complètes. En effet, grâce à la base de données de l'INA, soit des analyses de coliformes fécaux et totaux, et des bactéries aérophiles mésophiles dans les eaux de surface, et à la cartographie réalisée par MASTRANTONIO (2006), nous avons pu proposer certaines hypothèses quant à la pollution des eaux par les bactéries. Il s'avère que deux sources principales de pollutions se dégagent : un système de collecte et de

traitement des eaux usées domestiques qui aurait besoin d'être amélioré, et un Système de traitement des eaux usées agro-alimentaires inefficace.

L'augmentation du nombre de bactéries depuis le barrage de Cipolletti jusqu'à la sortie de l'agglomération démontre ***un problème de pollution domestique****. Peut-on attribuer ces sources de pollution bactérienne à des fuites dans les canalisations souterraines, ou au non raccordement au réseau collectif de certaines habitations, notamment les plus précaires ? Toujours-est-il que l'agglomération a un impact sur la qualité de l'eau. Par ailleurs, les rejets des stations d'épuration semblent aussi affecter la qualité de la ressource. Néanmoins, c'est nettement moins clair, puisque les différences de débits d'amont en aval par le système de gestion des quantités turno chico-turno grande, rend difficile l'évaluation de l'impact de ces stations. En revanche, l'impact industriel sur le collecteur Pescara et son exutoire le canal Auxiliar Tulumaya est particulièrement important. Le Système Pescara inauguré en 2004 révèle une efficacité et un gaspillage d'argent public… au moins sur ces paramètres.*

***

Chapitre 5 :

La pollution physique, un problème uniquement esthétique ?

Selon le *Littré*, en temps qu'**adjectif**, le mot physique définit les **phénomènes physiques** comme « *ceux qui ont lieu entre les corps visibles, à des distances appréciables, et qui n'en changent pas les caractères* », et les **propriétés physiques** comme « *qualité naturelles des corps qui sont perceptibles aux sens, telles que l'état solide ou gazeux, la forme, la couleur, l'odeur, la saveur, la densité, etc.* ». La pollution physique toucherait donc à des choses visibles, ou du moins perceptibles par l'homme. De fait, la turbidité peut être une pollution physique. La transparence ou l'opacité de l'eau par l'absence ou la présence de solides dissous serait donc en soi une pollution. De fait, qu'est-ce qui est pollué ? Une eau claire ou une eau turbide ? En réalité, tout dépend de l'usage qu'on en fait. En effet, les eaux du río Mendoza sont naturellement turbides en période de fonte des neiges et plus claires en hiver. L'augmentation de la limpidité de l'eau par la présence d'un barrage qui condense les solides en profondeur, ou l'accroissement de la turbidité par adjonction de matières solides (physiques (boues), chimiques (nutriments) ou biologique (bactéries)), seraient donc aussi des pollutions. Les pollutions étant en soi une modification des propriétés naturelles du milieu, la turbidité comme la limpidité, indues par les aménagements anthropiques, sont des pollutions. Mais les solides ne sont pas les seules pollutions physiques que l'on peut recenser. La définition du Littré aborde aussi la question **sensorielle**. « *Corps visibles* » évoque la vue, « *état solide ou gazeux* », « *la forme* », « *la densité* », évoquent le toucher et la vue, « *l'odeur* » évoque l'odorat, tandis que « *la saveur* » évoque le goût. Quatre des cinq sens sont ici évoqués. Alors s'il n'est pas question de mesurer la pollution physique des eaux des canaux via le goût, on peut néanmoins préciser que la pollution physique peut aussi être évaluée par les sens de l'homme, ce que l'on appellera la **pollution sensorielle**, ou **l'aspect** de l'eau. Parmi ces pollutions physiques d'ordre esthétique, on notera la question des couleurs des eaux des canaux et des odeurs qui s'en émanent quelquefois. De même, la prolifération des macro-déchets par l'incivilité des Mendocinos est une pollution esthétique qui a des conséquences graves sur les débits des canaux (cf. *infra*, partie IV).

De fait, la pollution physique connaît une double problématique : d'une part, un problème physique dû à la dégradation de la qualité des cours d'eau : couleurs, odeurs, présence de macro-déchets ou d'eaux très turbides…, d'autre part, une problématique-usage. En effet, les macro-déchets bouchent les canaux, provoquant des débordements d'eau en amont et des baisses de débits en aval. Mais la turbidité est aussi un bon exemple de l'usage fait des eaux. Si une eau très turbide peut gêner l'usage industriel ou l'alimentation en eau potable, les eaux claires sont aussi un problème pour les agriculteurs : la présence de matières argileuses dans les eaux permettait une imperméabilisation naturelle des canaux, et moins d'infiltration en profondeur, donc moins de pertes des débits. Depuis la construction du

barrage de Potrerillos, les sédiments comblent le fond de la retenue et n'atteignent plus l'oasis. Certains agriculteurs regrettent aussi une baisse d'imperméabilisation de leurs sols, qui rendait l'irrigation plus efficace.

5-1- Des eaux claires… mais pas partout

La pollution par les solides dissous ou en suspension dans l'eau est donc de deux ordres : la limpidité lorsque l'eau est claire, la turbidité lorsqu'elle est trop chargée en matières en suspension. Bien évidemment, nous n'allons aborder que la question des eaux superficielles. Nous disposons d'un certain nombre de données pour cette pollution par les solides : les matières en suspension (MES), les matières en suspension sédimentées en 10 min, les solides totaux (pour lesquelles nous pouvons distinguer les solides totaux fixes et les solides totaux volatiles), et la turbidité. Afin de ne pas charger ce diagnostic, nous avons fait le choix de restreindre les données à trois paramètres uniquement : les matières en suspension, les solides totaux (soit les solides en suspension et les solides dissous), et la turbidité. Les MES et les solides totaux sont analysés par la FCA pour l'INA, la méthodologie est donc la même que pour les paramètres de bactériologie évoqués ci-avant. Elles concernent les mêmes points, à savoir trois sur le río Mendoza, et cinq dans les canaux. De notre côté, nous avons réalisé des analyses de turbidité en laboratoire, sur quatre dates en hiver 2006, et treize dates au printemps 2007, mais sur l'ensemble des seize sites, soit trois sur le río Mendoza, cinq en canaux d'irrigation, et huit dans les collecteurs et drains.

Nous présentons donc ici quatre cartographies que nous commenterons plus précisément ci-après. Les MES mesurées dans les canaux d'irrigation et le río Mendoza **(Fig. 38** et **40)** présentent des valeurs très distinctes d'un point à l'autre, avec une augmentation des concentrations d'amont en aval, ce qui révèle un apport en solides au fur et à mesure et non une épuration ou une dilution, comme on aurait pu le penser. Quelques points présentent de bonnes qualités, ce sont les points RI, RII et CIII, ceux qui subissent le moins la pression anthropique, tandis qu'en RIII, CII et CV, les eaux sont de très mauvaise qualité (selon le classement de l'Agence de l'Eau), avec des concentrations en MES moyennes supérieures à 50 mg/l, comme en CV où la moyenne est de 78 mg/l, pour un maximum de 224 mg/l !

Pour ce qui est des solides totaux, nous ne disposons pas de classement, pour cela ils n'apparaissent pas sur la **Fig. 41**. En revanche, la cartographie **39** présente les mêmes écarts entre les points peu soumis à la pression anthropique comme RI ou CIII, et les points CII, CV ou RIII. Il faut dire que les solides totaux sont composés des solides dissous et des matières en suspension, il est donc assez logique que les conclusions faites sur les MES soient en corrélation avec celles sur les solides totaux.

Enfin, la turbidité est différente puisque ces moyennes ne sont calculées que pour deux saisons, et non pas quelques années. Les résultats présentés en **Fig. 40** et **Fig. 41** révèlent des moyennes plus bases, mais avec deux cas très pollués : DVIII et CV.

Comme nous le précisions en introduction, les solides sont une pollution s'ils sont en nombre trop important. Mais une absence d'éléments dissous dans l'eau, notamment les argiles dans notre cas, peut être un problème pour l'oasis. Une limpidité anthropique sera aussi considérée ici comme une pollution.

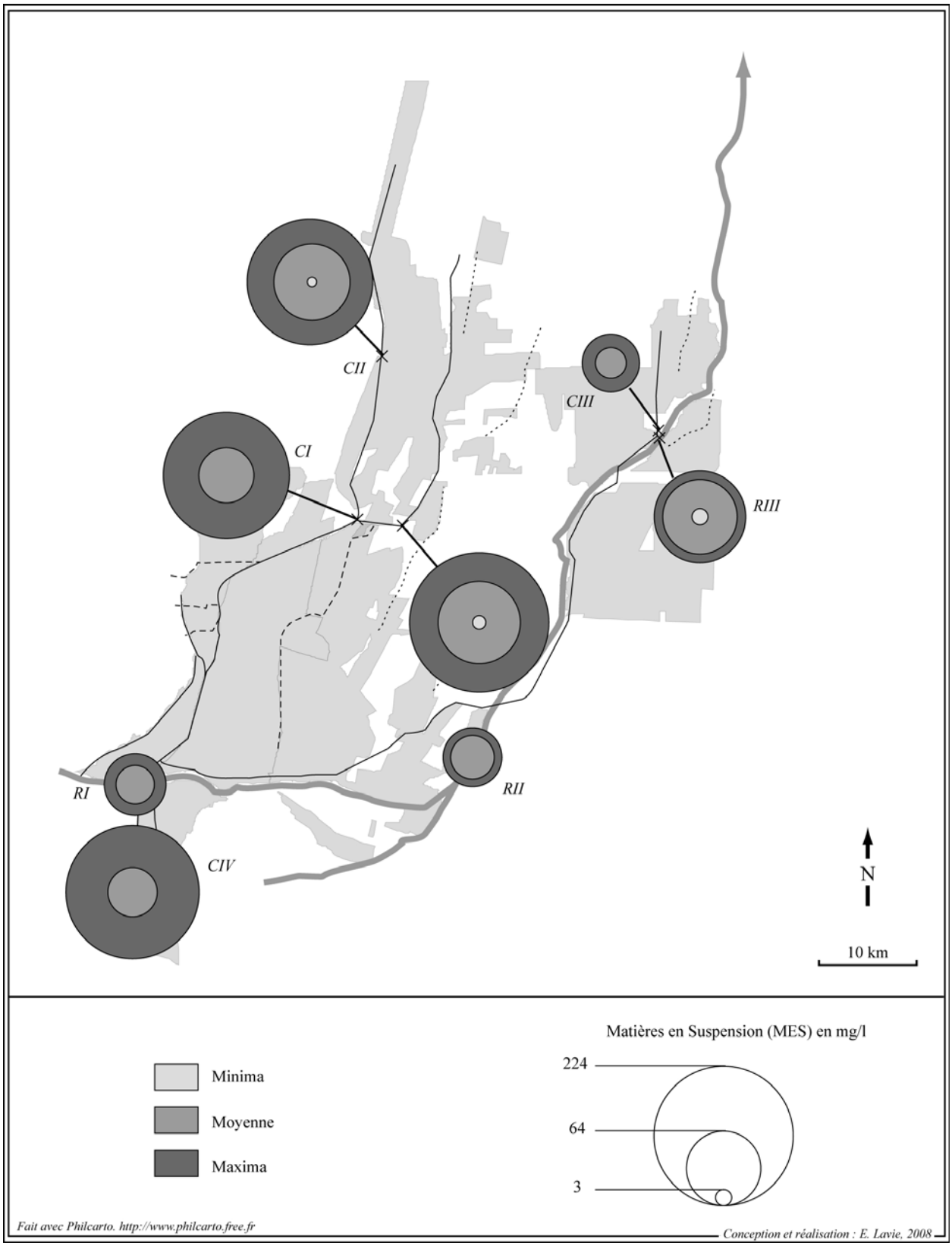


Fig. 38 : MES dans les eaux superficielles
S'il n'y a pas de figuré pour le minimum, c'est qu'il y a 0 solide dissous
Source : base de données de l'INA

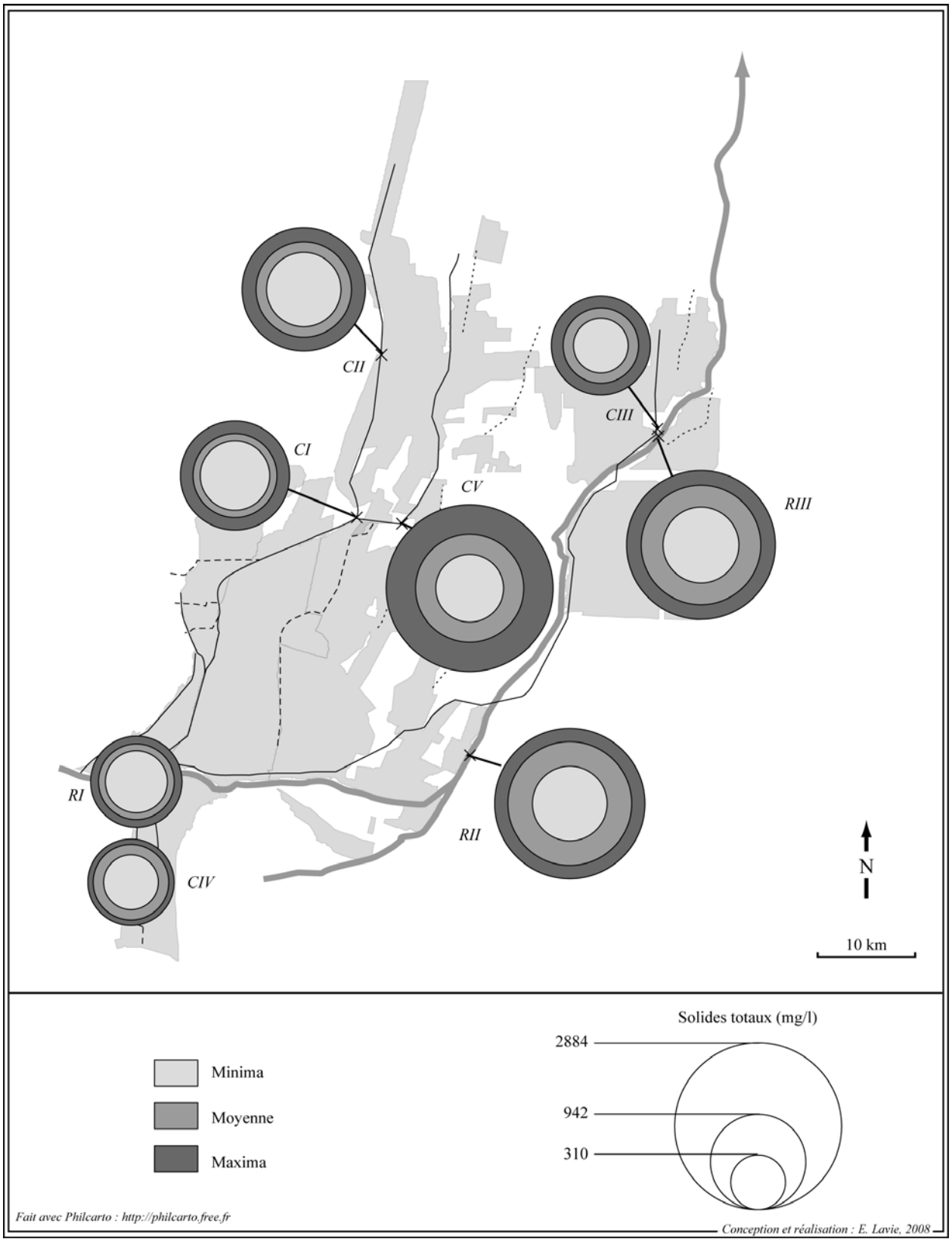


Fig. 39 : Solides totaux dans les eaux superficielles
Source : base de données de l'INA

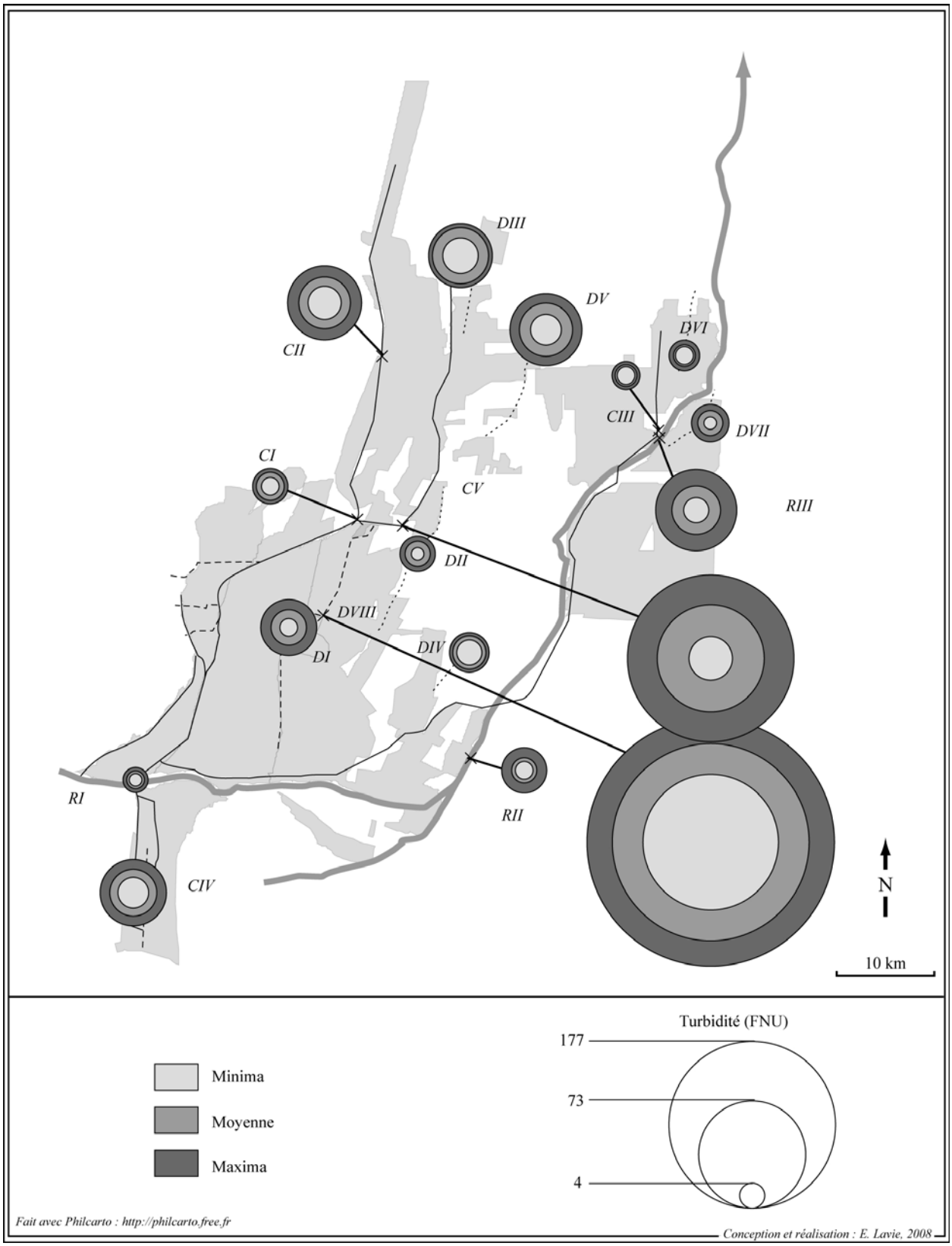


Fig. 40 : Turbidité dans les eaux superficielles
Source : données personnelles

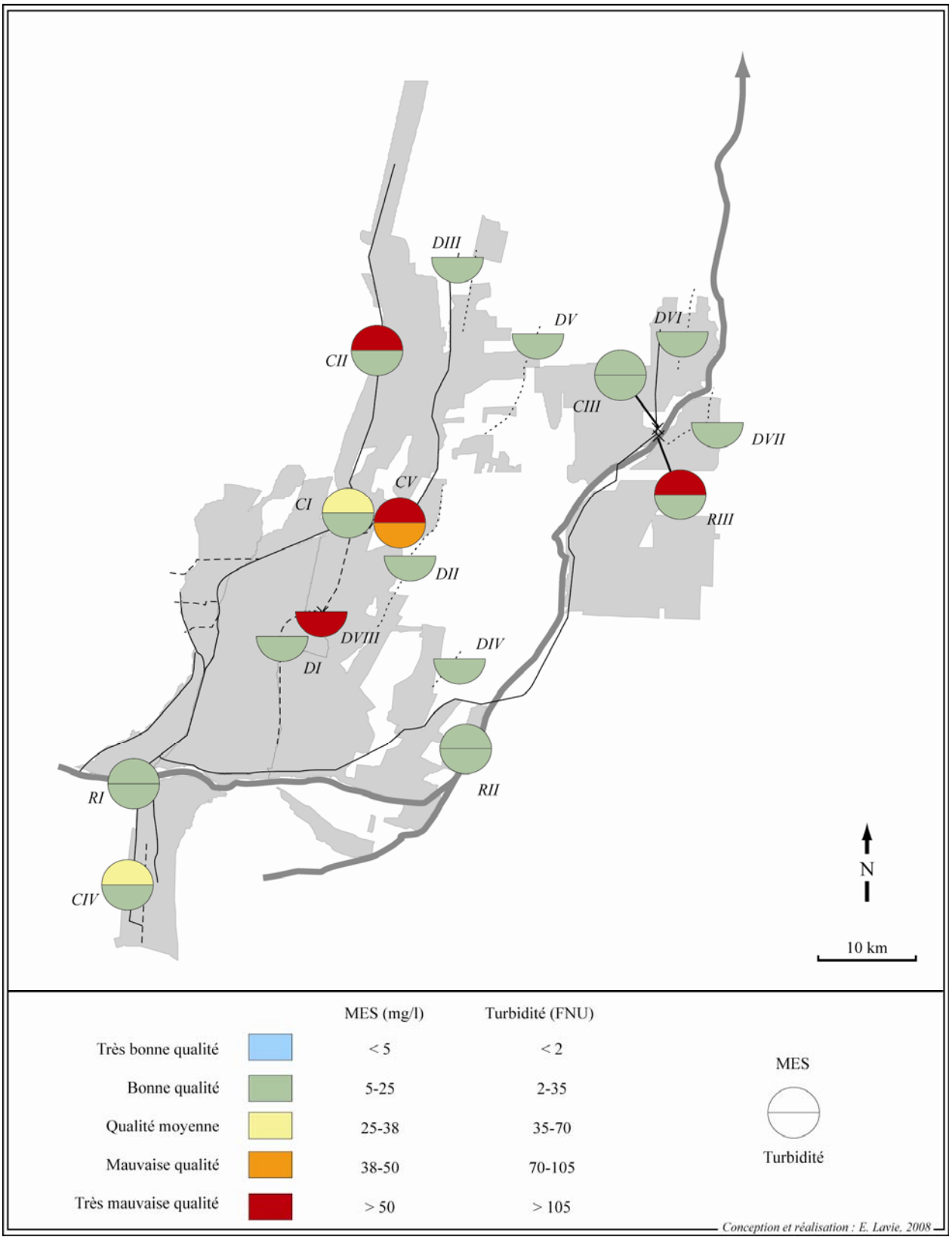


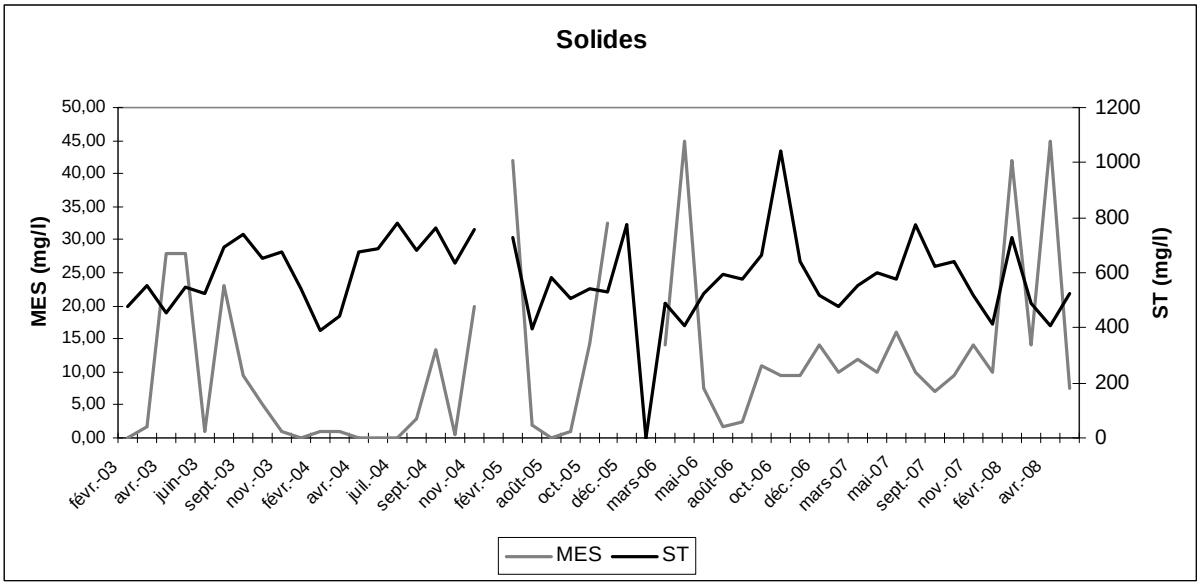
Fig. 41 : Classement qualitatif des eaux en fonction de leur teneur moyennes en solides
Le classement est celui de l'Agence de l'Eau Adour Garonne
Source : MES : INA ; Turbidité : données personnelles

5-1-1- Le problème des eaux claires pour les pertes en eau

Le río Mendoza est un cours d'eau de régime nivo-glaciaire, où les eaux ont une turbidité naturelle en période de fonte. Les sédiments en suspension sont de nature assez argileuse, qui permettait aux agriculteurs de disposer de terrains moins perméables. Mais aussi et surtout, **les eaux argileuses imperméabilisaient le fond et les côtés des canaux**, limitant ainsi les pertes en eau dans le réseau superficiel.

Deux études vont nous permettre d'évaluer les pertes en sédiments pour les canaux : l'une sur le plan **temporel**, l'autre sur le plan **spatial**.

- Sur le plan temporel. Les concentrations en solides totaux et en MES mesurées à l'entrée de l'oasis (point RI) **(Graph. 6)** présentent des comportements très irréguliers, mais tout de même intéressants pour évaluer l'impact du barrage de Potrerillos sur la qualité physique de l'eau apportée à l'oasis.



Graph. 6 : Les solides en RI depuis 2003
Source : base de données de l'INA

On peut ainsi constater qu'à la fin 2003, les quantités de MES ont nettement chuté dans le río au niveau du barrage de Cipolletti (RI) ; chutes plus tardives pour les solides totaux, puisque quelques solides dissous restaient dans les eaux. Cette baisse des solides correspond au début du remplissage du lac de barrage de Potrerillos, terminé en hiver 2004 (juillet), où la remontée des MES dans l'eau est également visible. Pour les solides totaux, la baisse des concentrations est bien plus limitée dans le temps, sans que nous ayons d'hypothèse à présenter sur les raisons de ce comportement pour le moment. A la suite de la fin du remplissage du barrage de Potrerillos, on ne peut pas vraiment dire que les MES et les solides totaux aient baissé dans le río Mendoza. Au contraire, pendant deux ans (novembre 2004 à août 2006), les deux paramètres ont éprouvé des difficultés à se stabiliser, présentant des courbes très distinctes l'une de l'autre. Le quasi-parallélisme des deux courbes (profil en phase) ne commence qu'en septembre 2006. Il faut dire que durant les deux années qui ont suivit le remplissage du barrage, les responsables du DGI ont dû effectuer de nombreux lâchers d'eau, pour vérifier que les portes d'urgences du barrage fonctionnaient bien, pour

vider le fond du barrage de ses sédiments… ce qui explique les pics de sédiments visibles entre 2004 et 2006 sur le **Graph. 6**. Néanmoins, les travaux sur le barrage sont maintenant terminés et il demeure relativement étonnant de compter autant de matières en suspension et de solides totaux dans les eaux du río Mendoza au niveau de l'entrée dans l'oasis.

A ces explications, il faut ajouter la question de la saisonnalité. En effet, en 2005, 2006 et 2007, on constate sur ce **Graph. 6**, une baisse des concentrations en solides dans les eaux. Il s'agit de la période d'**embâcle**, le río Mendoza présente un **débit d'étiage hivernal**. Sur la **Fig. 42**, on peut constater que sur les photos de l'hiver (a et c), le río Mendoza a un débit très faible comparé aux photos prises aux printemps (b et d), et que l'eau est limpide. En revanche, au printemps, le débit augmente très nettement avec la débâcle, et l'eau devient de couleur marron et très turbide.

La dernière chose que nous pouvons constater sur le plan temporel est la différence très nette de couleur et de turbidité de l'eau dans le canal Cacique Guaymallén entre 1999 (avant la construction du barrage) et 2006 (soit, depuis sa construction) (**Fig. 42**, photos j et k). Aujourd'hui, le canal Cacique Guaymallén présente des couleurs un peu changeantes en fonction des saisons et du débit, mais l'eau reste relativement limpide et transparente.

- Sur le plan spatial. Au printemps 2007, dans le cadre d'une étude sur les métaux lourds dans le río en amont de la prise d'eau de Luján (barrage de Cipolletti)[46], nous avons déterminé cinq points de prélèvements où nous avons mesuré, entre autres, la turbidité. Ces points **(Fig. 42)** sont situés d'amont en aval, au fur et à mesure des pressions anthropiques subies par la rivière. Le premier point est situé en amont du village d'Uspallata. C'est un point de référence en amont de la plupart des activités humaines parce qu'à l'exception de quelques touristes, de la route et de tout petits villages, le río est relativement protégé des activités humaines. Le point 2 est situé quelques kilomètres en aval, après la confluence entre le río Mendoza et l'arroyo Uspallata, qui apporte au cours d'eau principal les eaux du village du même nom. Plus bas, sur les rives du lac de Potrerillos, nous avons choisi le point 3, à l'entrée des eaux dans le lac. Le point 4 est situé à Alvarez Condarco, entre le point de restitution des eaux par la centrale hydro-électrique, et le barrage de Compuertas, qui alimente le Parc Industriel Provincial (PIP). Enfin, le point 5 est en réalité le point RI, au barrage de Cipolletti.

Deux prélèvements et analyses ont été faits, un en octobre et un en novembre 2007, soit au printemps (les photos sont celles du prélèvement du 31 octobre). Les températures étaient douces depuis un peu plus d'un mois et la débâcle avait commencé. La **Fig. 42** présente les résultats de nos mesures de turbidité. Il s'avère que la celle-ci baisse d'amont en aval, au fur et à mesure que les arroyos de régime pluvial confluent avec le río Mendoza, c'est notamment le cas de l'arroyo Uspallata, ou du río Blanco, affluent du lac de Potrerillos au niveau du point 3. Mais le plus intéressant est la baisse significative de la turbidité entre l'amont (point 3) et l'aval (point 4) du barrage. Déjà, les photos **(Fig. 42)** sont explicites, mais les mesures de turbidité confirment le rôle du barrage de Potrerillos dans la dépuration des eaux sur le plan des solides. La turbidité passe donc de 105 FNU en aval d'Uspallata, à 60 FNU sur les rives du lac (point 3), atteignant seulement 2 FNU à Alvarez Condarco (soit de l'eau potable pour ce paramètre) en octobre. Les chiffres sont respectivement de 370, 218 et 3 FNU en novembre. Les photos présentées en **Fig. 42** montrent elles aussi une turbidité importante en amont du lac de barrage (photos b, d et e), tandis qu'en aval de la retenue (photos g, h et i), les eaux sont très nettement limpides. La photo f est même particulièrement explicite, avec une partie amont du lac, de couleur marron, et une partie plus proche du barrage, de couleur bleue.

[46] : Il s'agit de notre propre rapport de stage en 2007, non publié.

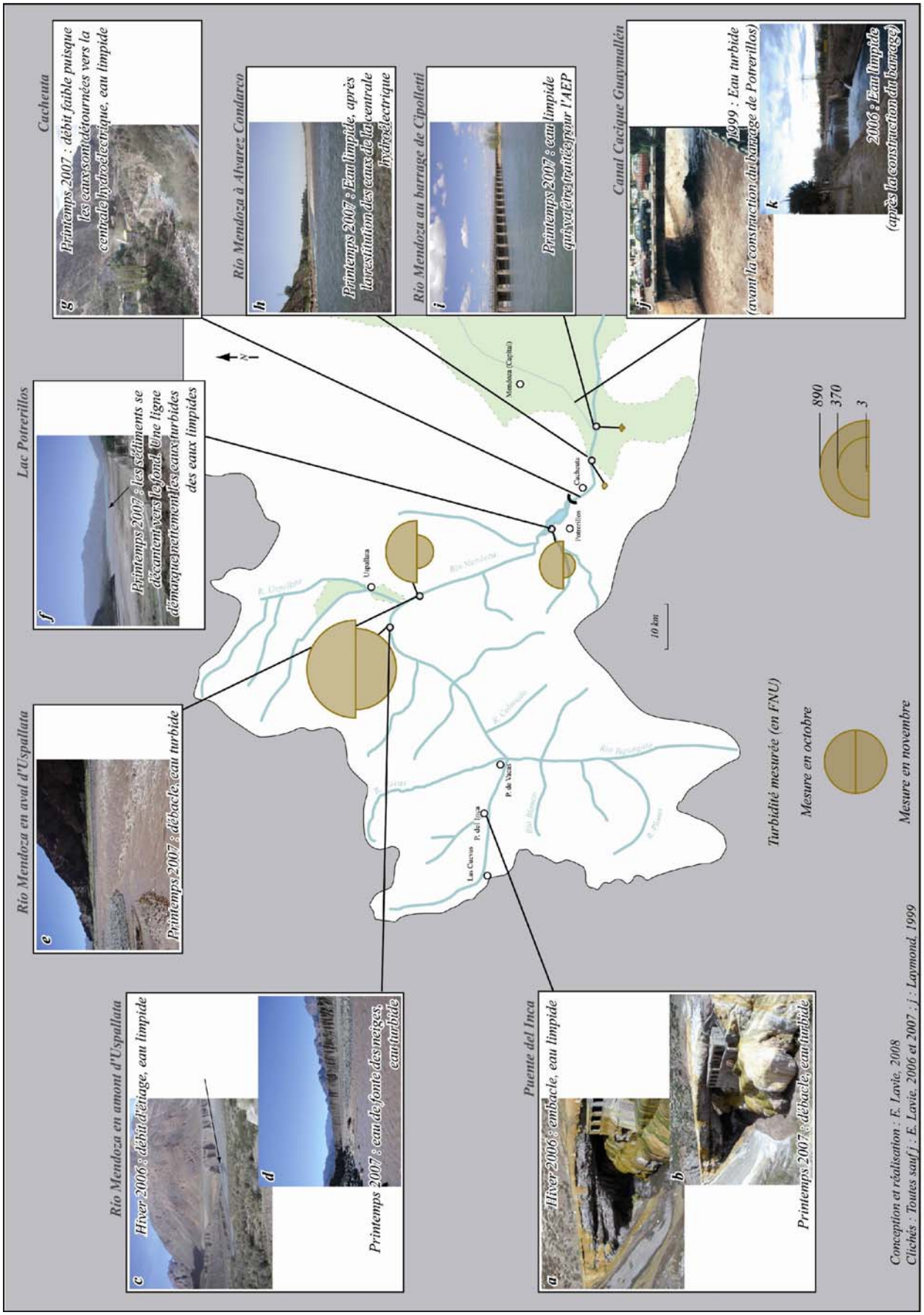


Fig. 42 : Turbidité de l'eau dans le BV amont du río Mendoza

De fait, sur le plan temporel comme spatial, le barrage de Potrerillos apparaît comme le principal responsable de la limpidité anthropique des eaux du río Mendoza. L'embâcle rend les eaux plus limpides en hiver, mais en cette saison le réseau d'irrigation est fermé ; l'eau n'est utilisée que pour l'AEP et quelques industries. Le problème vient donc du barrage de Potrerillos. L'inconvénient est qu'en fonction de l'usage que l'on fait de l'eau, la limpidité peut ou non poser problème. En effet, OSM.SA. ne peut que se réjouir de recevoir dans ses usines de traitements pour l'AEP, d'eaux dont la limpidité est proche des normes de potabilité (2 FNU). En revanche, les agriculteurs vivent plus difficilement ce changement des caractéristiques de leur eau d'irrigation. Selon les responsables des Associations des zones agricoles (regroupements d'*Inspecciones de Cauce* (IC)), ce phénomène de limpidité anthropique des eaux que l'on appelle **eaux claires**, limite fortement l'imperméabilisation naturelle des canaux. Or, si le canal San Martín est imperméabilisé depuis le barrage de Cipolletti jusqu'aux zones les plus éloignées de Lavalle (zones 5 et 6, Costa del Araújo, Gustavo Andre, Nueva California), le canal Cacique Guaymallén, qui alimente en eau les zones 1, 2 et 4, n'est lui imperméabilisé que sur 9 km. Les 27 autres kilomètres qui le composent sont donc faits de terre. Or, avant la construction du barrage de Potrerillos, on estimait déjà qu'entre le barrage de Cipolletti et la séparation du canal en deux *ramas* Jocoli et Auxiliar Tulumaya, entre 15 et 40 % des eaux se perdaient (ALBRIEU *et al*., 2006). Les pertes se faisaient par des cassures dans le ciment ou le béton des parties imperméabilisées, mais aussi par infiltration dans le sol pour les parties en terre. Or, sans que des mesures n'aient pu être faites, le phénomène se serait aggravé depuis la mise en eau du barrage et l'arrivée d'eaux claires dans l'oasis (*Ibid*.). Il faut d'ailleurs ajouter à ces pertes en eau dans le canal Cacique Guaymallén, les débordements des autres canaux par l'accumulation d'ordures, qui privent les agriculteurs situés en aval, d'une partie des débits qui leur sont alloués. D'après R. PEREYRA, Responsable du département Hydrologie du DGI, il faut avouer qu'il manque des ouvrages d'irrigation efficaces, mais « *l'usager doit aussi avoir une méthode pour que l'effet des eaux claires ne soit pas aussi négatif. Être plus efficace dans sa gestion implique aussi de dire au producteur qu'il change de système d'irrigation, qu'il passe d'une irrigation par sillons à celle par aspersion ou par goutte à goutte* » (BUSTELO, 2008). En effet, l'irrigation par ennoiement des sillons des parcelles agricoles implique l'usage d'une quantité d'eau plus importante que pour l'aspersion ou le goutte à goutte, bien plus efficaces en milieu aride et chaud, où l'évaporation est forte. « *L'Etat pourra lui* (au producteur*) faciliter les crédits pour le changement de système d'irrigation, mais la solution est intégrée, ce n'est pas qu'une question d'Etat* » (*Ibid*.)

Quelques rares voix s'élèvent aussi pour rappeler que les eaux claires, qui s'infiltrent plus facilement dans les sols et limitent l'imperméabilité des surfaces, entraînent une montée de la nappe phréatique déjà proche par endroits, et accélèrent la salinisation des sols par remontée des sels par capillarité.

5-1-2- Des activités anthropiques qui rendent les eaux troubles

De fait, nous savons déjà que RI reçoit des eaux claires depuis le remplissage du barrage de Potrerillos en moyenne montagne. Mais quel est l'impact des activités anthropiques dans l'oasis sur la turbidité des eaux ?

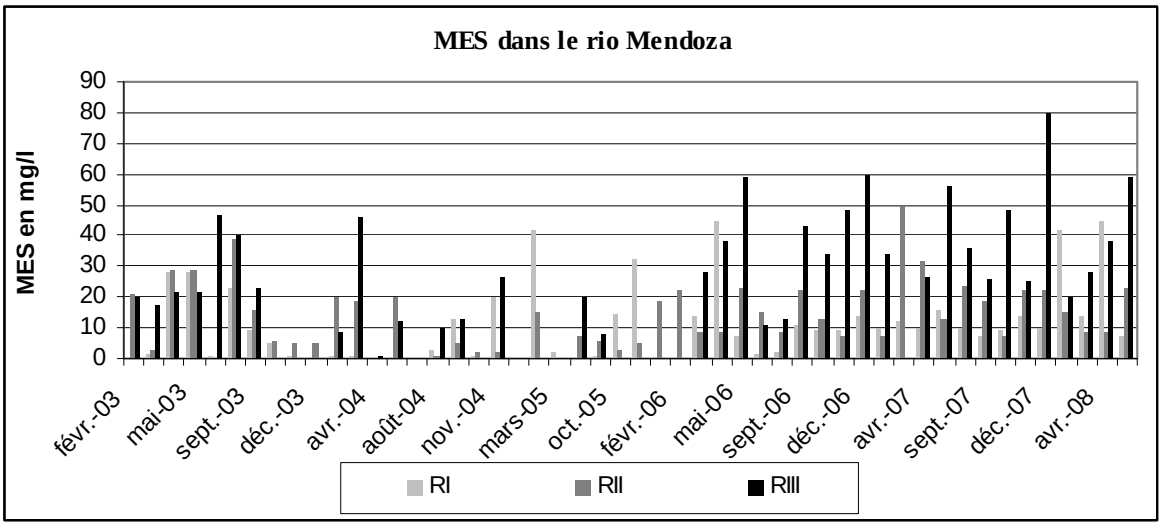
Au regard des **Fig. 38**, **39**, **40** et **41**, on constate une très nette augmentation des concentrations en solides, depuis l'amont vers l'aval. Afin de ne pas charger ce diagnostic de graphiques, nous allons présenter **certains systèmes intéressants**, en limitant les paramètres.

Notre choix s'est donc porté sur le río Mendoza, d'amont en aval ; sur la zone 1 en rive droite où les activités agricoles prédominent ; sur le canal Jocoli afin d'observer les relations entre turbidité et bactériologie ; et sur le Système Pescara puisque les points DVIII et CV présentent des turbidités très élevées.

- **Le río Mendoza : points RI-RII-RIII**

Nous avons vu que d'amont en aval, depuis la haute montagne jusqu'au barrage de Cipolletti, la turbidité avait tendance à baisser, grâce aux dilutions des affluents de régime fluvial, mais surtout par le blocage des sédiments dans la retenue de Potrerillos. En revanche, au regard des **Fig. 38** et **40**, les solides en suspension (MES et turbidité) paraissent ré-augmenter, tandis que les solides totaux baissent légèrement entre RII et RIII.

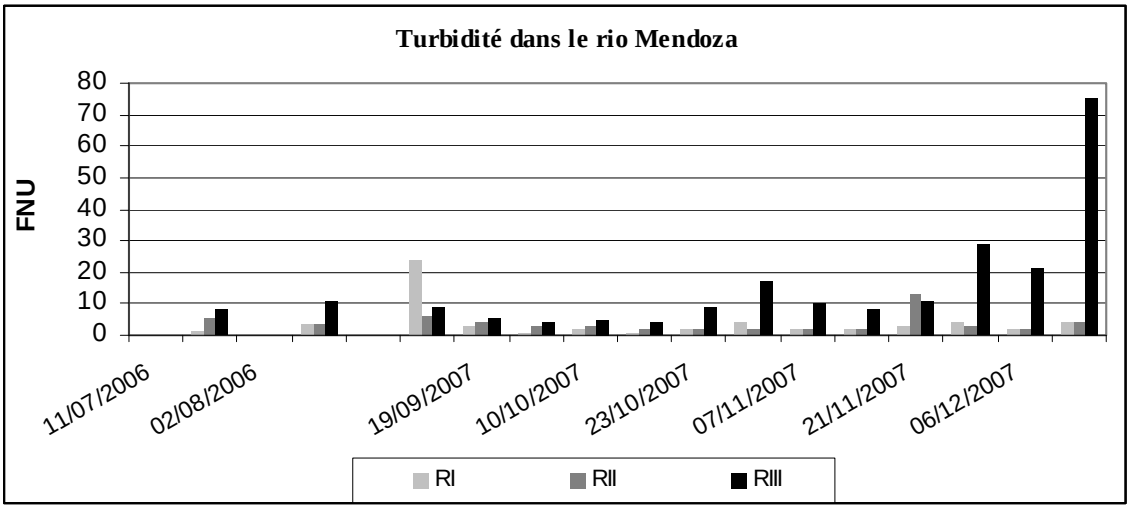
Deux types de données sont présentés ici : des mesures de MES chaque mois sur cinq ans **(Graph. 7)**, et des mesures de turbidité hebdomadaires sur deux saisons **(Graph. 8)**. Sur le **Graph. 7**, le blocage des sédiments durant le remplissage du lac de barrage de Potrerillos est très net (fin 2003 à mi 2004) puisque les MES diminuent fortement, à l'exception de quelques rares dates qui devraient correspondre à des lâchers d'eau. En revanche, les solides en suspension augmentent aussi de manière distincte depuis 2006 et, dans l'ensemble, les valeurs croissent d'amont en aval. Or, il est difficile de donner une explication générale puisque les eaux de RI ne vont pas en RII, mais au contraire sont envoyées vers le réseau d'irrigation. Les eaux de RII, puis de RIII, présentent de fortes valeurs en solides dissous, comme pour la turbidité, mais il y a de grandes chances pour que cette turbidité soit naturelle en RII. En effet, ce point est situé en aval de la zone d'exsurgence de la nappe phréatique qui réalimente ce cours d'eau à sec depuis le barrage de Cipolletti. L'augmentation des débits en aval de la zone d'exsurgence est également due à l'apport d'eau par un ruisseau qui descend du Cordón del Carrizal, colline anticlinale dont la surface est faite de terre (absence de végétation). Le río Mendoza est le bassin-récepteur du versant nord de ce relief.



Graph. 7 : Matières en suspension dans le río Mendoza
Source : base de données de l'INA

Par contre, l'augmentation des chiffres à notre disposition entre RII et RIII peut en théorie être attribuée aux rejets de la station d'épuration de Paramillo entre ces deux points.

C'est notamment visible à partir du mois de novembre, soit au printemps, quand les besoins en eau domestique augmentent avec les fortes chaleurs, ce qui implique de plus forts débits restitués par les stations d'épuration, qui, ayant atteint leur capacité, renvoient une eau en partie non traitée.



Graph. 8 : Turbidité de l'eau dans le río Mendoza (hiver 2006 et printemps 2007)
Source : Données personnelles

- **Les activités agricoles : points RI-CIV**

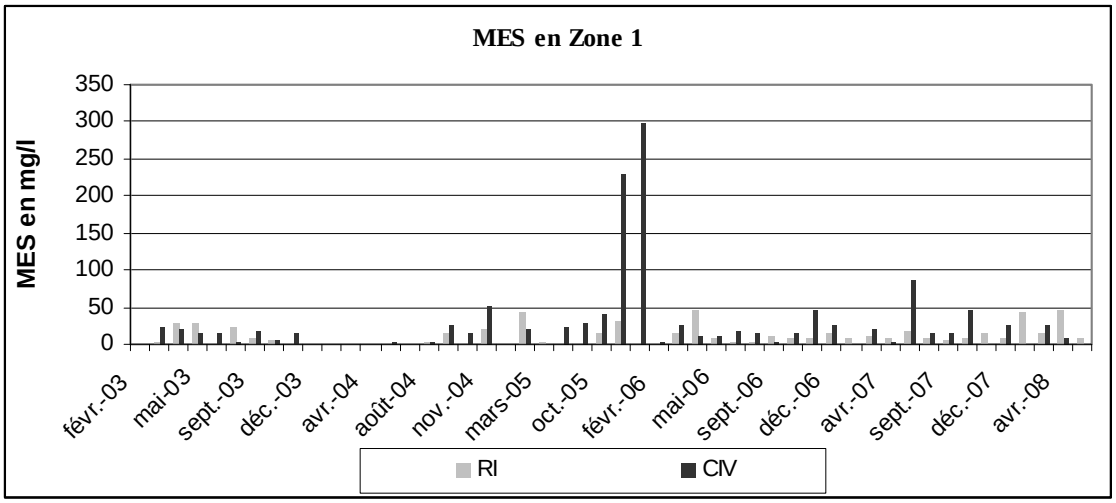
Seules trois zones de l'oasis sont soumises à la pression agricole : la rive droite de la zone 1, et les zones 5 et 6. Ces zones sont intéressantes puisqu'elles nous permettent d'observer les variations des polluants tout en nous affranchissant de la variable domestique ou industrielle. La rive droite de la zone 1 est certes le siège du Parc Industriel Provincial (PIP), mais en théorie aucun drain industriel n'approvisionne le canal Flores dans lequel nous prélevons CIV.

Pour analyser la pression en solides de ce point, nous avons choisi les MES et les solides totaux, parce qu'ils présentent des résultats différents. CIV est situé sur un canal qui ne reçoit aucun drain ou affluent. C'est un canal d'irrigation exclusif. Mais c'est un canal en terre sur la majeure partie de son cours, ce qui peut expliquer la présence de solides.

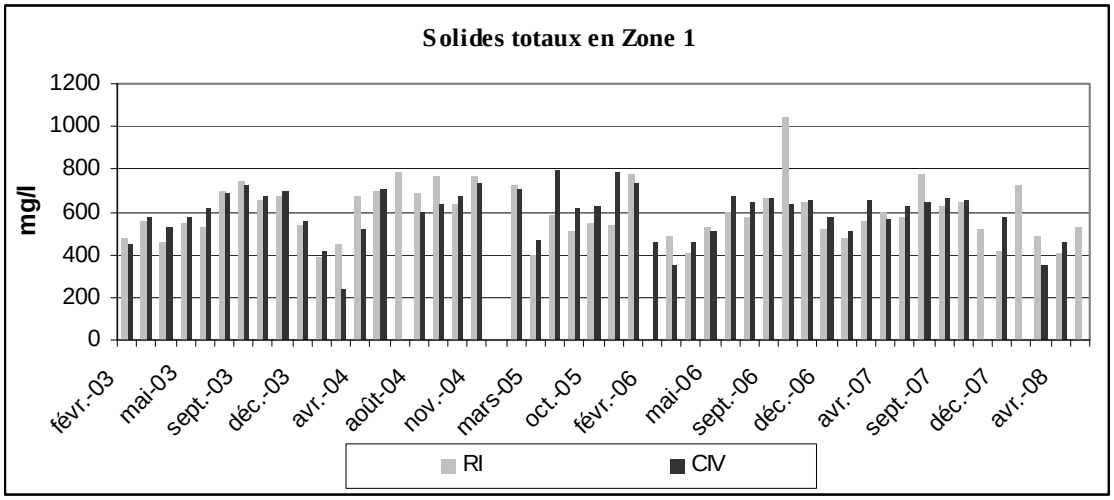
Or, il faut distinguer ici les solides en suspension des solides dissous (les deux étant compris dans les solides totaux), car si les solides totaux baissent d'amont en aval **(Graph. 10)** alors que les solides en suspension augmentent **(Graph. 9),** cela signifie que les solides dissous baissent. Ainsi, nous sommes dans un cas de figure particulier. Les solides en suspension augmentent, vraisemblablement alimentés par les rives de ce canal en terre. En revanche, les solides dissous baissent : sans doute sont-ils absorbés par la végétation rivulaire, ou se concentrent-ils pour apparaître en suspension.

Par ailleurs, la concentration en MES dans ce canal au niveau de CIV pose la question de l'imperméabilisation des canaux. En effet, la moyenne des MES mesurées est de 28 mg/l, soit une qualité moyenne au regard du classement de l'Agence de l'Eau. Néanmoins, il faut savoir relativiser ce classement en fonction des usages qui sont faits de l'eau. De fait, si une turbidité pose des problèmes pour l'AEP ou l'industrie, les concentrations en sédiments sont

appréciées par les agriculteurs. En effet, certains nutriments come le phosphore se déplacent sur les solides. Le transport de cet intrant agricole naturel en est facilité. Et puis les sédiments argileux imperméabilisent les sols qui retiennent l'eau plus longtemps au pied des plants.



Graph. 9 : MES sur la rive droite
Source : base de données de l'INA



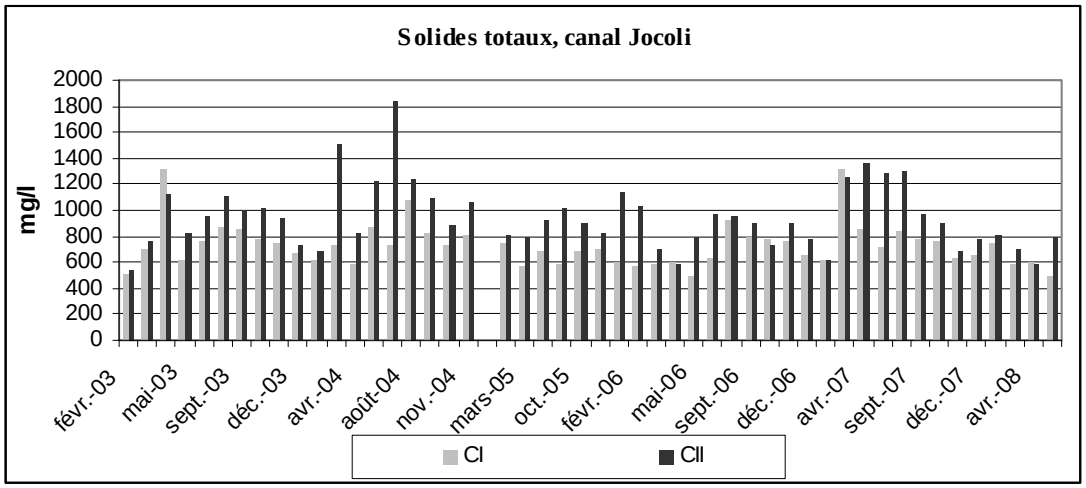
Graph. 10 : Solides totaux sur la rive droite
Source : base de données de l'INA

- **Le canal Jocoli : points CI-CII**

Le canal Jocoli est donc une *rama* (canal secondaire) issue de la subdivision du canal Cacique Guaymallén, à son entrée dans la zone agricole 4 **(Fig. 32)**. Or, ce canal, en eau lorsque le canal Cacique Guaymallén est rempli, et à vide lorsque le canal San Martín prend la relève, reçoit les eaux de rejet de la station d'épuration de Campo Espejo. La comparaison des points de prélèvement CI, en sortie du canal Cacique Guaymallén et CII, en aval des rejets d'effluents domestiques, nous permet d'observer l'impact de cette station d'épuration sur la qualité physique des eaux du Jocoli. Déjà, la comparaison RII-RIII avait mis en exergue une

augmentation des MES et de la turbidité, tandis que les solides totaux baissent légèrement entre l'amont et l'aval des rejets de Paramillo.

Ici, les valeurs de turbidité d'amont en aval révèlent au contraire quelques variations, tandis que les solides totaux sont systématiquement supérieurs en CII par rapport à CI (à une exception près) **(Graph. 11)**. Il semble qu'il y ait donc un apport en solides entre CI et CII. Cette augmentation des solides peut en partie expliquer les variations des teneurs en bactéries entre ces deux points. En effet, de nombreuses bactéries ne circulent et ne se développent qu'en présence d'éléments solides sur lesquelles elles peuvent s'accrocher. Les solides ne créent pas les bactéries, mais leur permettent de se développer (Institut National de santé publique du Quebec, 2003).



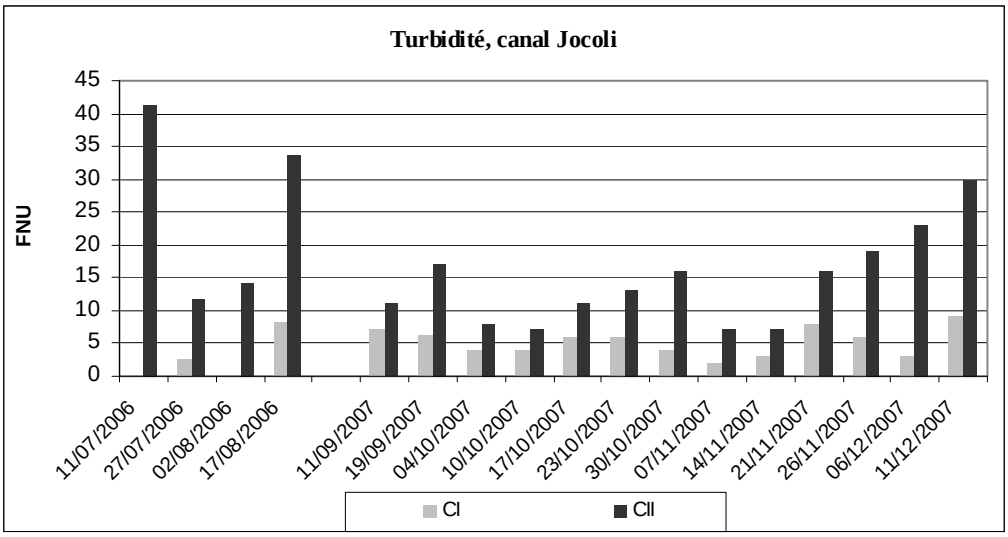
Graph. 11 : Les solides totaux dans le canal Jocoli
Source : base de données de l'INA

Sur le plan temporel, les deux **Graph. 11** et **12** présentent des variations douces, en vagues et non en pics de concentration. La turbidité **(Graph. 11)** est très variable en hiver 2006, avec une différence entre le 11 et le 27 juillet très brutale, ce qui peut peut-être s'expliquer par un biais de méthodologie, soit de l'appareil, soit de notre part (le 11 juillet est la première date d'utilisation du turbidimètre qui n'avait jamais servi auparavant). En revanche, l'année 2007 présente de légères variations avec une augmentation des valeurs à partir du mois de novembre, soit aux prémices de la période estivale. Or cette augmentation des valeurs de turbidité en tout début d'été ne trouve pas son pendant sur le **Graph. 11**. En effet, les solides totaux présentent clairement une augmentation des teneurs entre la fin de l'automne et le début de l'hiver, c'est-à-dire quand les canaux sont le moins approvisionnés en eau et présentent des débits faibles. Quant aux MES, les résultats dont nous disposons pour ces points présentent aussi des variations mais sans dégager de saisonnalité dans les pics et les baisses de solides.

De fait, le comportement des solides dissous et en suspension dans l'eau diffèrent. Si la fin du printemps et le début de l'été influencent les augmentations de solides totaux, la turbidité et les MES ne présentent pas de concentrations systématiques à cette période.

Par ailleurs, à tenter de comparer les points CI et CII pour observer l'influence de la station d'épuration sur le comportement des solides dissous et en suspension dans l'eau, nous avons négligé un paramètre essentiel : les variations de qualité à la tête du système. Or, au

regard des **Graph. 7, 8, 9, 10, 11** et **12**, on observe les mêmes profils en RI et en CI pour les trois paramètres MES, solides totaux et turbidité. Les mêmes « vagues » sont visibles pour les solides totaux, tandis que les mêmes baisses de MES apparaissent en RI et en CI. De fait, **si les augmentations de solides entre CI et CII sont nettes** sur les **Graph. 10** et **11**, et ne peuvent être imputables qu'aux rejets de la station de Campo Espejo, **le comportement saisonnier doit être observé depuis l'amont**, en RI, voire depuis le barrage de Potrerillos (cf. *supra*).



Graph. 12 : La turbidité dans le canal Jocoli
Source : données personnelles

- **Le Système Pescara : points DI-DVIII-CI-CV**

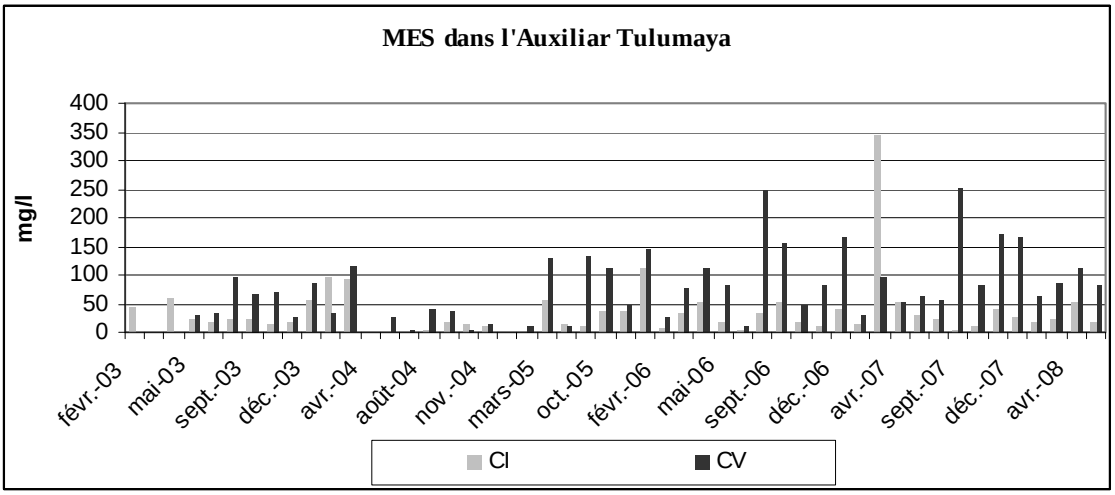
Les activités agricoles et domestiques semblent donc avoir une influence sur les concentrations en solides dissous et en suspension dans les canaux d'irrigation, la question se pose aussi pour les activités industrielles. Une fois de plus, nous allons illustrer le cas du collecteur Pescara et de la *Zona alcoholera*, puisque c'est le seul Système pour lequel nous disposons de données suffisantes.

Les **Fig. 40** et **41** présentaient déjà une surexposition des points DVIII et CV par rapport aux quatorze autres points de mesure. Dans l'ensemble, si les mesures effectuées par la FCA (données INA) révèlent des augmentations des solides en suspension **(Fig. 38)** et des solides totaux **(Fig. 39)** entre CI et CV, les analyses de turbidités que nous avons-nous même effectuées s'avèrent nettement supérieures en aval des déversements des eaux industrielles (points DVIII et CV) qu'en amont.

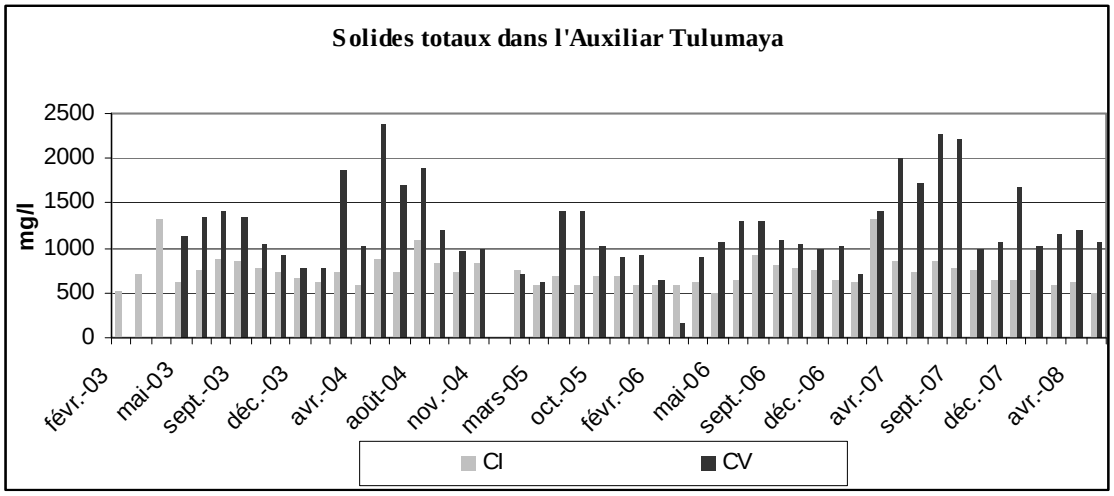
Pour ce qui est des MES et des solides totaux, l'INA n'a financé les analyses que des points CI et CV, ce qui nous permet d'observer la qualité physique du canal Auxiliar Tulumaya en amont (CI) et en aval (CV) des déversements des eaux industrielles en théorie diluées **(Fig. 37** et **43)**. Il s'agit donc de données mensuelles sur le temps long (cf. *supra*). Les **Graph. 13** et **14** présentent des profils similaires aux autres graphiques analysées précédemment. En effet, on observe les mêmes baisses de MES dans le réseau hydraulique en 2004, conséquence directe du remplissage du lac de barrage de Potrerillos, en moyenne montagne, et les mêmes séries de « vagues » des solides totaux, avec des optima autour d'une

période pré-estivale. Et à quelques rares exceptions près, comme le pic visible en CI en mars 2007 (MES) qui semble être un artefact[47], les valeurs augmentent de CI et CV, ce qui, au vu de la courte distance qui sépare ces deux points (5 km), ne peut être attribué qu'aux eaux du collecteur Pescara.

Au regard des données dont nous disposons pour l'ensemble des seize points analysés et des trois paramètres présentés (MES, solides totaux et turbidité), on peut conclure en général que les valeurs en solides augmentent en fonction des pressions anthropiques subies par les cours d'eau, tandis que le comportement saisonnier n'est en rien modifié, pour les MES comme pour les solides totaux. **Si les impacts anthropiques sont conséquents sur le plan spatial, ils ne semblent pas avoir de grands effets sur le plan temporel**, du moins sur le temps long.



Graph. 13 : MES dans le canal Auxiliar Tulumaya
Source : base de données de l'INA
(NB : pas de mesures disponibles en CV avant mai 2003)



Graph. 14 : Solides totaux dans le canal Auxiliar Tulumaya
Source : base de données de l'INA
(NB : pas de mesures disponibles en CV avant mai 2003)

[47] : L'hydro-qualité n'est pas une science exacte. Il arrive qu'un artefact trouble la série (problème de conservation de l'échantillon, erreur humaine ou matérielle dans le protocole d'analyse…).

Sur une période plus réduite, il est possible que les variations saisonnières soient plus visibles. Les données de turbidité dont nous disposons sont des analyses effectuées avec une fréquence plus rapprochée (une dizaine de jours en hiver 2006, une semaine au printemps 2007), sur deux saisons (cf. *supra*). Pour le cas Pescara, quatre points nous intéressent : DI sur le collecteur Pescara, en amont de la pression industrielle ; DVIII sur la même infrastructure en aval des rejets de la salle de mélange **(Fig. 43)** ; CI sur le canal Auxiliar Tulumaya en amont de la confluence des *hijuelas* du Pescara[48] avec le canal Auxiliar Tulumaya ; et CV sur ce canal en aval de ladite confluence.

Compléter les valeurs mensuelles par un suivi plus précis peut s'avérer relativement intéressant. En effet, si les graphiques présentés ci-avant ont un profil en « vagues », c'est surtout vrai pour les solides totaux. Avec une fréquence hebdomadaire, ces ondulations disparaissent au profit de pics de concentration plus tranchés. De plus, à l'exception du 17 août 2006 (4ème date), les profils en CV et DVIII, qui sont les deux points les plus pollués, n'ont rien de comparable. **En aucune date les profils de ces deux sites sont corrélés**. Il semblerait que les eaux du Pescara sont bien responsables des valeurs mesurées en CV puisqu'à l'exception des eaux du Pescara, aucun tributaire n'apporte des eaux au canal Auxiliar Tulumaya entre CI et CV. Pour autant, les comportements ne sont pas liés. Ceci s'explique tout simplement par le système du *turno chico*, *turno grande* (cf. *supra*). Durant quatre jours, le canal Cacique Guaymallén n'est pas approvisionné en eau du río Mendoza, le canal Auxiliar Tulumaya (tout comme le Jocoli) ne reçoit que de très faibles débits (*turno chico*) provenant des fuites du réseau AEP ou d'autres petits tributaires comme les *acequias*. De fait, à sa confluence d'avec le Pescara, les eaux industrielles deviennent majoritaires et la dilution est très limitée. Au contraire, les jours de *turno grande* (14 et 26 nov. 2007 par exemple), les eaux du canal Cacique Guaymallén, bien que contaminées par l'agglomération, diluent les eaux industrielles en abaissant les valeurs en CV. En théorie donc, les jours de *turno grande*, la pollution par les solides devrait baisser de manière significative. Or, au regard du **Graph. 15**, cette règle s'avère résolument théorique. En effet, en hiver 2006, il n'y avait que peu d'eau lors de la première série d'analyses (*turno chico*) puisque l'alimentation en eau de l'oasis a été arrêtée pour le nettoyage annuel des infrastructures. Les deux analyses suivantes présentent des valeurs de turbidité basses pour un *turno chico*. En revanche, le 17 août, alors que les débits étaient élevés, la turbidité a littéralement explosé. S'agit-il d'un lessivage des sols et donc des polluants ? Il est difficile de l'affirmer, bien que ces canaux ne soient pas imperméabilisés. Par contre, il est possible que le collecteur Pescara ait produit un pic accidentel de pollution. La donnée 433 FNU en DVIII ce jour là paraît en effet être l'explication la plus plausible. En revanche, pour la campagne de printemps 2007, à l'exception de la journée du 10 octobre, la théorie d'une dilution et donc d'une pollution moindre les jours de *turno grande* paraît se vérifier.

Dans l'ensemble, ce cas pratique du Système Pescara amène a des conclusions proches des remarques générales sur les débits proposées plus avant. Les quantités étant gérées par l'homme, il n'y a pas de logique spatiale et temporelle naturelle (augmentation des débits en aval…). Il est donc très difficile de proposer des conclusions d'ensemble sur ce point.

[48] : Le système de distribution des eaux du Pescara est un peu plus complexe que la représentation qui en est faite sur la **Fig. 43**. En fait, depuis le collecteur, un peu en aval de DVIII, se divisent plusieurs *hijuelas*, qui vont alimenter des zones agricoles différentes (dont des cultures industrielles du type des ACREs dans un secteur appelé *hijuela* Sanchez), avant de rejoindre en plusieurs sites (on en recense 3) le canal Auxiliar Tulumaya, entre les points CI et CV

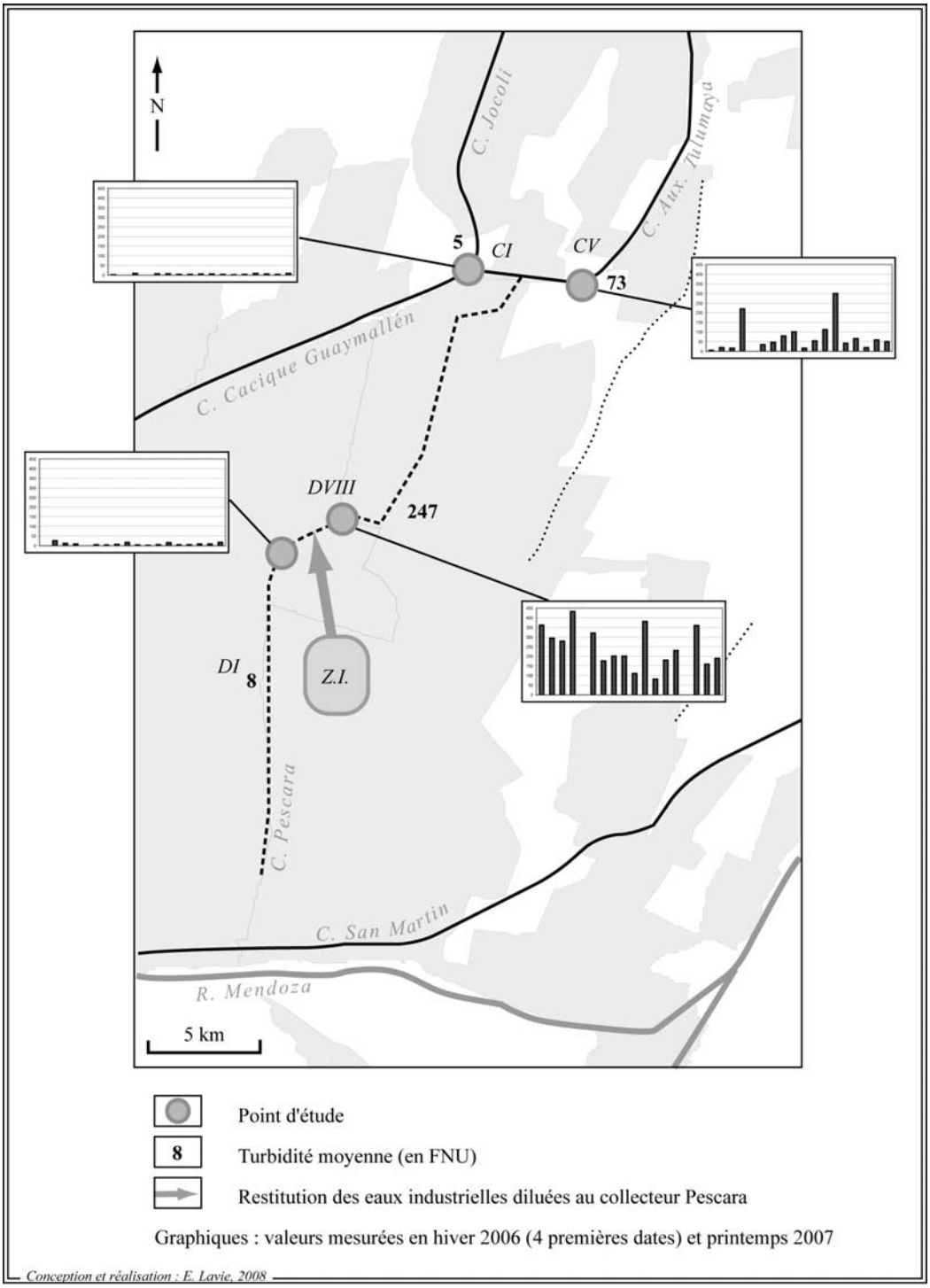
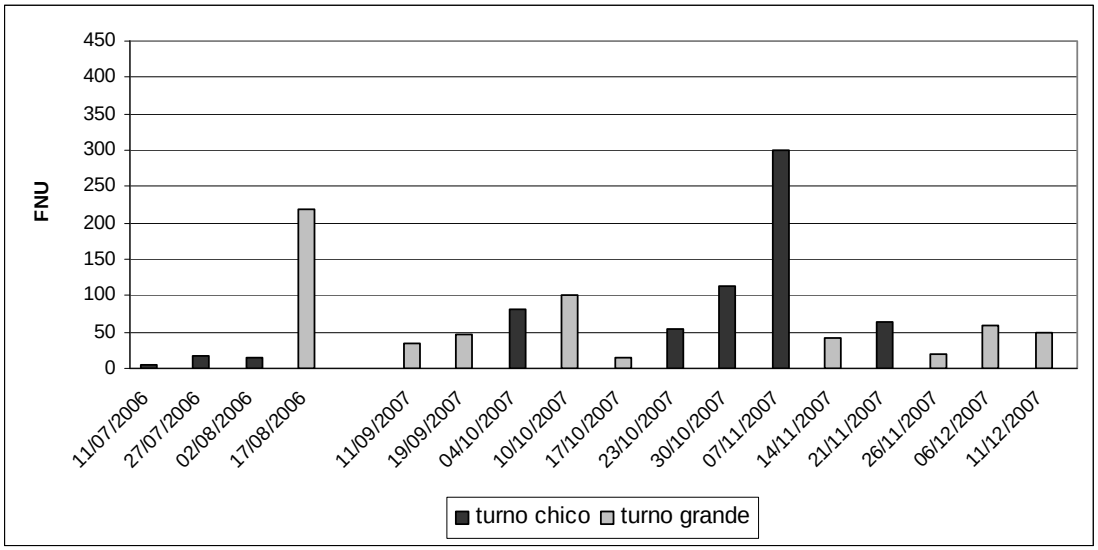


Fig. 43 : Variations temporelles de la turbidité dans les points d'étude du Système Pescara
Source : données personnelles

En ce qui concerne les paramètres physiques, une première conclusion peut être proposée pour le paramètre « solides » : il est difficile de dégager des hypothèses quant à la pollution étant donné la **variabilité des débits** en fonction des tours d'irrigation. En revanche, si sur le plan temporel l'analyse est biaisée, l'impact des activités anthropiques apparaît nettement sur le plan spatial. Le barrage de Potrerillos est un garant d'une limpidité des eaux par décantation, ce qui pose de lourds problèmes d'imperméabilisation des canaux dans l'oasis, même si le coût du traitement pour l'AEP en est réduit. De même, les activités

agricoles en partie, mais surtout domestiques et industrielles, ont leur part dans l'augmentation progressive des teneurs en solides dans l'eau, depuis l'amont vers l'aval.



Graph. 15 : La turbidité (FNU) en CV en fonction des *turnos* de agua (tours d'alimentation en eau)
Source : données personnelles

Il reste que cette pollution est relativement concentrée dans certains canaux, tout comme la pollution biologique. Peut-on alors émettre les mêmes conclusions en ce qui concerne l'aspect physique de l'eau ? C'est la question qui est posée dans le sous-chapitre suivant.

5-2- Les paramètres sensoriels

Il est généralement admis que la pollution doit pouvoir se mesurer, au moyen d'analyses, d'appareils de mesure *in situ*, de pesage…, mais il est des modifications des hydrosystèmes tellement importantes qu'elles peuvent se sentir ou se voir : c'est le cas d'une turbidité très importante, des couleurs ou des odeurs. L'évaluation peut être faite grâce à des appareils de mesure qui comparent les couleurs, qui mesurent les odeurs et peuvent même en dégager les caractéristiques propres ; mais on peut aussi dresser des paramètres de mesure subjectifs, parce qu'il est des atteintes esthétiques évidentes. Ne bénéficiant pas de données sur les paramètres sensoriels, nous ne sommes pas en mesure de présenter des conclusions objectives sur ces paramètres, mais il nous semble important de prendre en compte certaines réalités quant aux problèmes d'aspect certains cours d'eau.

5-2-1- Des couleurs changeantes

Dans l'ensemble, les eaux du réseau naturel et anthropique sont assez transparentes, sans odeur particulières, mais en fonction des pressions anthropiques subies, certaines couleurs changent.

Le premier exemple est celui du río Mendoza, en aval de l'oasis. Il collecte les eaux de drainage de certaines zones agricoles, mais surtout, il est le réceptacle des eaux de la station

d'épuration de Paramillo. Or, à quelques exceptions près, il présente très souvent une couleur verte, limitant les analyses par spectrocolorimétrie des phosphates, qui se fait par coloration de bleu. En revanche, les eaux en RI et RII sont, elles, de couleur transparente à bleutée **(Planche photos 13, photos a** et **b).** Les rejets azotés et phosphatés de la station d'épuration de Paramillo peuvent entraîner le développement d'algues et du phytoplancton, ce qui peut expliquer la couleur verte des eaux du río en aval de l'oasis.

Mais le plus étonnant reste la couleur du collecteur Pescara et de certaines de ses *hijuelas*-exutoires. En effet, les photos c, d et e présentent l'exutoire d'une *hijuela* provenant du collecteur Pescara, déversant ses effluents industriels (en aval de la salle de mélange des eaux industrielles et d'eaux fossiles) dans l'Auxiliaire Tulumaya. Le débit de ce tributaire du canal Auxiliar Tulumaya est très variable, il arrive qu'il soit même coupé. Mais les jours où il est en eaux, celles-ci sont très changeantes. En général, elles sont marron foncé, mais elles peuvent être grises, noires, ou même blanches comme visible sur les photos d et e.

Plus en amont, le collecteur Pescara est lui-même concerné par une pollution colorée. Les photos f, g et h de la **Planche photos 13** montrent la couleur la plus fréquente du collecteur : l'eau est noir-pétrole. La turbidité est tellement forte que l'entonnoir blanc ne se distingue pas. Enfin, nous pouvons observer les variations de couleur entre l'amont du canal Auxiliar Tulumaya (photo c, à droite de la photo, site CI), et l'aval (photo i, site CV).

La couleur n'est souvent pas considérée comme une pollution en soi parce qu'elle ne gêne pas les usages, à l'exception de l'eau de consommation. Mais ces couleurs révèlent une pollution physico-chimique qu'il conviendra d'expliquer en Troisième Partie. Plus qu'une gêne en soi, la couleur est un **révélateur**. Par contre, la nuisance esthétique que cela pose aux riverains est une chose assez peu prise en compte à Mendoza. Pour autant, les riverains du collecteur Pescara n'apprécient guère la baisse de la valeur foncière de leurs habitations, dont certaines fenêtres donnent directement sur ce collecteur noir-pétrole (cf. *infra*, Partie IV)

5-2-2- Les mauvaises odeurs sont-elles des pollutions ?

Les mauvaises odeurs sont-elles des pollutions ? C'est effectivement une question que l'on peu se poser. Dans un sens, on peut répondre par l'affirmative puisqu'il s'agit de la modification de la caractéristique de l'eau. Mais surtout, tout comme la couleur, l'odeur est un **révélateur d'autres modifications des paramètres qualitatifs de l'eau**. Elle n'est donc pas considérée en soi comme un problème par les autorités. En revanche, si on ne peut affirmer que c'est une pollution, on ne peut nier que c'est une **nuisance** forte. Certes, les riverains semblent habitués aux odeurs du collecteur Pescara, mais aucun nouvel habitant ne peut se résoudre à venir vivre en pareil endroit. L'odeur qui se dégage du collecteur en aval de la salle de mélange où le collecteur à ciel ouvert reçoit les eaux industrielles, est insupportable pour quiconque ne s'y est habitué. L'odeur est caractéristique des effluents viticoles ; elle est très forte, jusqu'à donner des haut-le-cœur quelquefois.

D'autres sites constituent des nuisances pour les riverains, mais dans une moindre mesure. Il s'agit du río Mendoza en aval des rejets de Paramillo. Ce site (RIII) de pique-nique familial est gêné par une odeur de rance assez caractéristique.

Le canal Jocoli en aval des rejets de Campo Espejo émet quelques odeurs par moments, mais contrairement au collecteur Pescara, en s'éloignant de quelques mètres, la gêne diminue.

a : Barrage de Cipolletti (RI)
Ces eaux de couleur bleue partent en rive droite (CIV) par l'entonnoir central.

b : Couleur de l'eau dans le río Mendoza
RI (à gauche) : eau transparente
RII (au milieu) : eau transparente malgré le bleu de la bouteille
RIII (à droite) : eau de couleur verte en aval des rejets de la station d'épuration de Paramillo.

c, d et e : Les eaux d'une *hijuela* venant du collecteur Pescara confluent dans le canal Auxiliar Tulumaya
c : couleur marron foncé, couleur fréquente,
d : eau blanche, vraisemblablement des rejets de peinture,
e : même endroit , les eaux du Pescara se mêlent aux eaux du canal Auxiliar Tulumaya.

f, g et h : Les eaux du Pescara en DVIII
f : le collecteur Pescara, une couleur et une texture proches du pétrole,
g : le seau de prélèvement, l'entonnoir se distingue à peine,
h : comparaison de la couleur de l'eau en CIII et en DVIII.

i : Le canal Auxiliar Tulumaya en CV.

Clichés : E. Lavie, 2007

Planche photos 13 : La couleur des eaux : une pollution ?

Enfin, en automne, lorsque les *bodegas* sont au maximum de leur activité, certaines *acequias* de l'agglomération sentent les effluents vinicoles. Mais dans l'ensemble, l'odeur dégagée par les *acequias* est plutôt consécutive à l'accumulation des déchets, notamment lors des fortes chaleurs.

5-3- Les macro-déchets, une pollution qui se voit

Cette thèse s'était d'abord inscrite dans le cadre d'un projet ECOS-Sud qui n'a malheureusement pas abouti, mais qui a permis de faire travailler trois centres de recherche sur le thème de l'eau à Mendoza, et de définir les objectifs de recherche de chacun. Dans ce cadre, la partie sur les pollutions a été divisée : nous prenions en charge les micro-polluants en collaboration avec l'INA-CRA, tandis que l'Institut de Géographie de l'UNC s'occupait des macro-déchets, dans le cadre d'un projet intitulé « *residuos urbanos* » et auquel nous avons pu prendre partie prenante. Par ailleurs, dans le cadre d'un accord signé entre l'INA de Mendoza et l'Université de Saragosse (Espagne), un projet d'évaluation des coûts de ces macro-déchets a permis la synthèse des publications existantes. De fait, les données présentées ici ne sont pas issues de nos propres travaux mais de ceux de l'Institut de Géographie de l'UNC[49] et de la synthèse réalisée par FEIJÓO *et al*. (2007).

Rappelons qu'il s'agit ici de présenter un diagnostic qualitatif, les causes et les conséquences de cette macro-pollution physique seront traitées en Partie IV.

De fait, trois types d'infrastructures ont été étudiés et donc trois travaux sont à notre disposition : un sur les collecteurs de crues (les ***zanjones***) situés dans la partie amont de l'agglomération ; un sur les ***acequias***, ces canaux urbains d'irrigation. Elles ne sont donc pas censées être des collecteurs mais des distributeurs, et pourtant, elles collectent de nombreux déchets. Enfin, les **canaux d'irrigation** sont, eux aussi, en charge l'approvisionnement. Mais parce que certains d'entre eux traversent la zone urbaine, ils transportent également de nombreux déchets solides.

5-3-1- Les déchets des *zanjones* : les indigents montrés du doigt

L'Institut de Géographie de l'Université de Mendoza (UNC) a entrepris en 2005 et 2006, un recensement des types et des quantités de déchets dans les collecteurs de crue de l'agglomération, soit les trois principaux *zanjones* : le *zanjón* de Maure, le *zanjón* de Frias et le *zanjón* de los Ciruelos. En novembre 2005, mars et juillet 2006, soit au printemps, à l'automne et en hiver, les membres de cette équipe de recherche ont réalisé un relevé de types et de quantités de déchets tous les 200 m. Nous ne sommes parvenue à nous procurer que la partie sur le *zanjón* de Frias puisque ces documents ne sont pas encore publiés. La cartographie présentée **(Fig. 44)** n'est pas très explicite quant à l'unité de mesure ; il semble que ce soit la même méthodologie que celle des *acequias* de l'année suivante à laquelle nous avons participée et qui s'avérait être une évaluation subjective de l'observateur. Il faut donc prendre un peu de distance avec ces résultats. Néanmoins, plusieurs conclusions ont été dégagées par les auteurs.

[49] : Précisons que les données de l'UNC sont uniquement celles qui ont été publiées, puisqu'il n'est pas question que nous diffusions des résultats avant les membres principaux de cette équipe.

Le graphique qui représente la dispersion spatiale délimite des secteurs particuliers, dont un qui concentre les plus fortes quantités et les diversités les plus importantes (document écrit par L. FERNÁNDEZ, non publié). C'est aussi le secteur où les rives du collecteur sont occupées par des habitats informels, dont la population connaît des difficultés socio-économiques certaines. Ces populations pratiquent le *cirujeo*, qui peut se traduire par « *collecte et tri des déchets* ». Elles collectent les déchets auprès des habitations formelles, les trient, et jettent ce qui n'a pas de valeur marchande dans le fond des collecteurs, qui par leur fonction d'évacuateurs de crues, sont à secs le plus souvent. Lors des grandes pluies, les collecteurs reprennent leur fonction initiale, les débits augmentent, transportant avec eux les matériaux entassés depuis des mois par les *cirujos*. D'après l'auteure, la faute ne peut pas pour autant être l'exclusivité des populations indigentes. En effet, de très nombreux petits commerces de quartier sont installés dans l'agglomération et d'après les chercheurs de l'Institut de Géographie, leur responsabilité dans la pollution des *zanjones* est souvent plus importante que celle des populations indigentes. Les bouchers, épiciers et autres maraîchers ont également pris l'habitude de laisser aux bords des *zanjones* ou de jeter directement dans le collecteur, les déchets quotidiens comme des poulets ou du lait périmés, des légumes invendables, etc. ; les petits ateliers de proximité ne sont pas en reste si on regarde les quantités de canettes de soda, de pneumatiques, des parties de réfrigérateurs, du verre, et d'autres matériaux les plus incroyables et les plus difficiles à enlever.

Sur le plan strict des données, nous pouvons effectivement observer sur la **Fig. 44** que l'amont du collecteur est plus fourni en déchets que l'aval, ce qui implique dans une infrastructure vide d'eau, que les déchets n'ont pas été transportés mais déposés *in situ*. Quant à la diversité les déchets rencontrés, elle est relativement importante. Il y a d'abord la végétation, qui s'installe de manière naturelle et qui ne peut donc être considérée comme une pollution. Au contraire, la présence de végétaux ralentit la progression des eaux lors des crues. Mais pour les Mendocinos, elle résulte d'un mauvais entretien des canaux par les services du Département d'Hydraulique et est donc considérée comme une nuisance et apparaît au même titre que les polluants. Les éléments en bois sont d'ailleurs aussi considérés comme des déchets.

Ensuite viennent des matériaux recyclables comme le plastique, le carton et le verre. Leur valeur marchande est importante en théorie, et c'est pour cela qu'ils ont sûrement été mis de côté par les chiffonniers. Or si le papier est sale ou très abîmé, ou si les éléments sont de petite taille, aucune entreprise de recyclage ne les achètera. La valeur marchande est donc très réduite et ces déchets constituent la part la plus importante de la pollution de ces *zanjones*. Le métal quant à lui est très important. De valeur marchande forte, notamment quand il s'agit de cuivre (certains délinquants coupent les câbles électriques la nuit pour en voler le cœur en cuivre ; pour les Mendocinos, il s'agit des chiffonniers ou de leur famille), le métal est systématiquement valorisé. Mais on en a recensé environ 9 % du total des déchets, ce qui peut s'expliquer là encore par la petite taille des éléments.

5-3-2- Les déchets des *acequias*

Le groupe de travail sur le projet « *residuos urbanos* » de l'Institut de Géographie de l'Université Nationale du Cuyo de Mendoza (UNC) a donc réalisé une série de recensement des divers types de déchets présents dans les *zanjones*, suivie d'une série sur les *acequias* (cf. *supra*, méthodologie).

La publication de 2008 (ZAMORANO *et al.*) présente les résultats du printemps 2007 et de l'été 2007-2008, les recensements de l'automne et de l'hiver n'ayant pas été effectués. Les cartographies et les graphiques choisis sont des exemples de résultats sur deux quartiers, cela permet d'expliquer la méthodologie, mais ne sont pas représentatifs de l'ensemble des quartiers de l'échantillon.

En revanche, les auteurs proposent un certain nombre de conclusions plus générales : en effet, lorsque l'on effectue un zoom sur chaque quartier, on observe souvent une concentration des volumes depuis le sud-ouest vers le nord-est, soit dans le sens de la pente. Par ailleurs, les quantités de déchets on nettement baissé entre le printemps 2007 et l'été 2007-2008, sur l'ensemble des quartiers (chaque quartier ayant été observé en des jours différents), ce que les auteurs expliquent par un nettoyage des *acequias* par les pluies d'été, exceptionnellement fortes en 2007-2008. Dans l'ensemble, les observations directes ont révélé que l'accumulation de déchets augmente au fur et à mesure que diminue la catégorie socio-économique du quartier. Mais selon les auteurs, avant d'affirmer cette orientation, il fallait attendre les résultats des quatre saisons d'une part, et poser un certain nombre de questions annexes d'autre part : « *quelle est la formation culturelle des habitants ? La fréquence de collecte différenciée pour chaque type de quartier et/ou de département ? La discrimination dans l'étape de gestion de chaque municipalité ? Ces questions et d'autres qui surgiront permettront de conduire des réflexions postérieures, une fois que se sera conclue la collecte de l'information* » (*Ibid.*).

Au-delà de cette étude en cours, qui révélera certainement des statistiques très intéressantes sur les types de déchets, les quantités par quartier, depuis l'amont vers l'aval, mais aussi en fonction des politiques municipales et du niveau socio-économique des habitants, nos propres observations peuvent amener à proposer des hypothèses.

En effet, la gestion des collectes diffère en fonction de la municipalité en charge (cf. *infra* partie IV). Les fréquences de collecte sont plus importantes à Godoy Cruz ou à Capital qu'à Guaymallén par exemple. Mais surtout, la volonté politique se ressent sur le nettoyage des rues et des *acequias*. Luján et Maipú, deux communes touristiques pour leurs vignobles, sont relativement bien « tenues ». Certains quartiers les plus riches en *bodegas* et en restaurants pour touristes sont particulièrement bien entretenus comme Chacras de Coria à Luján ou le centre de Maipú. Le changement de parti politique à Capital en 2007 a radicalement changé la politique de l'esthétique du centre-ville (cf. *infra*). La question du niveau socio-économique ne peut pas être prise à la légère, et c'est sûrement la plus difficile à interpréter. En effet, personne ne peut résolument nier le manque d'intérêt et de culture des populations pauvres sur la qualité de l'environnement, sur les conséquences sanitaires des proliférations de déchets aux pieds des résidences… mais à l'inverse, stigmatiser ces populations en les rendant responsables de tous les déchets présents dans les infrastructures d'irrigation, c'est aussi se voiler la face. De manière générale, la très grande majorité de la population jette impunément ses déchets dans les *acequias*, aux arrêts de bus comme en se promenant sur les trottoirs. Nous reviendrons plus en détail sur les actes d'incivilité en Partie IV, mais cette dispersion des macro-déchets dans les *acequias* est à prendre en compte dans le diagnostic qualitatif, pour la simple raison que ces déchets, outre le fait qu'ils favorisent la prolifération des rats, mouches, moustiques et cafards et donc le développement de maladies, se retrouvent ensuite dans les canaux d'irrigation, posant de graves problèmes dans l'oasis agricole. En effet, les pollutions de l'oasis-urbaine-amont sont transportées en aval dans l'oasis-agricole, bouchant les canaux, ce qui provoque des débordements d'eau et des pertes de débits en aval.

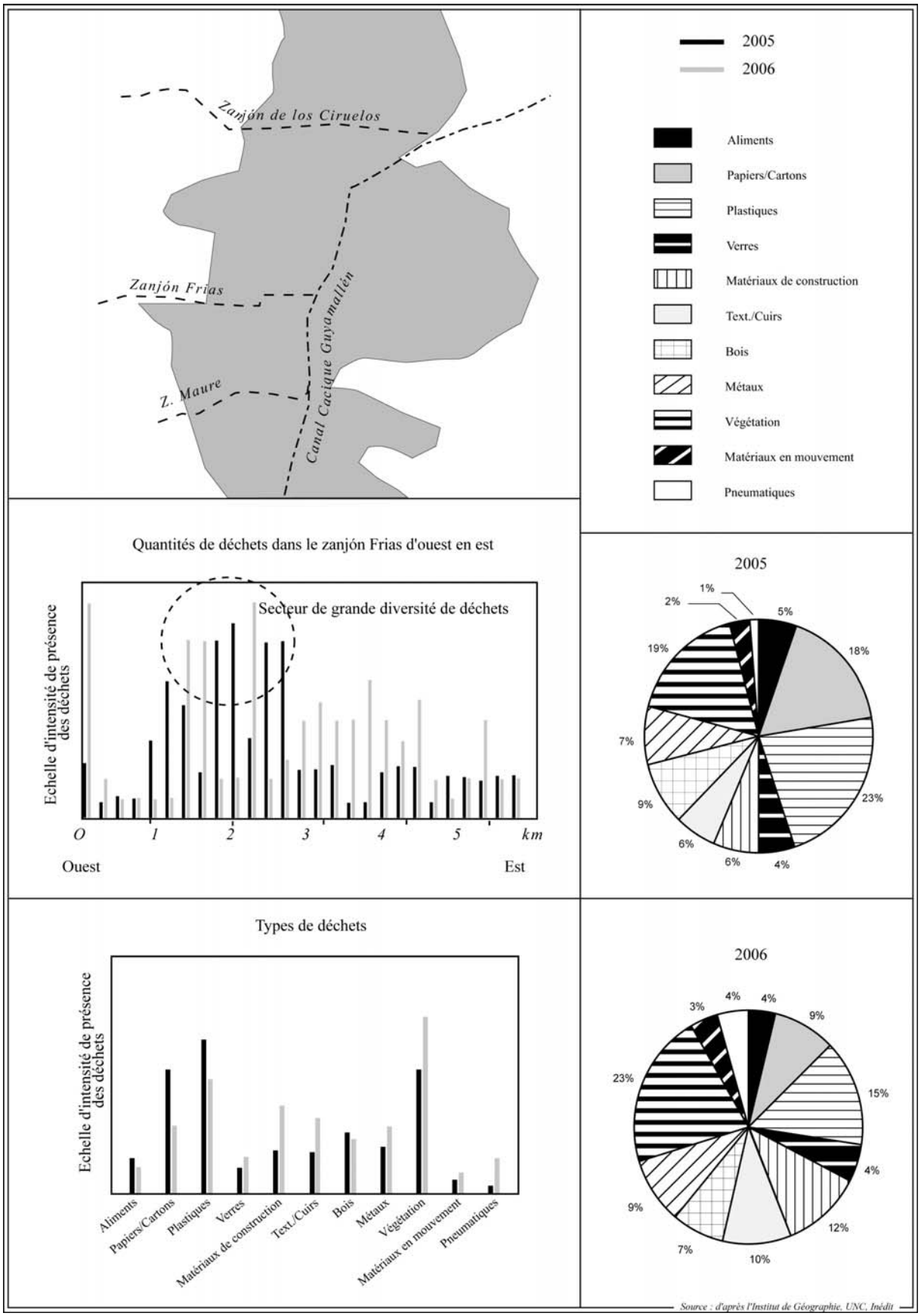
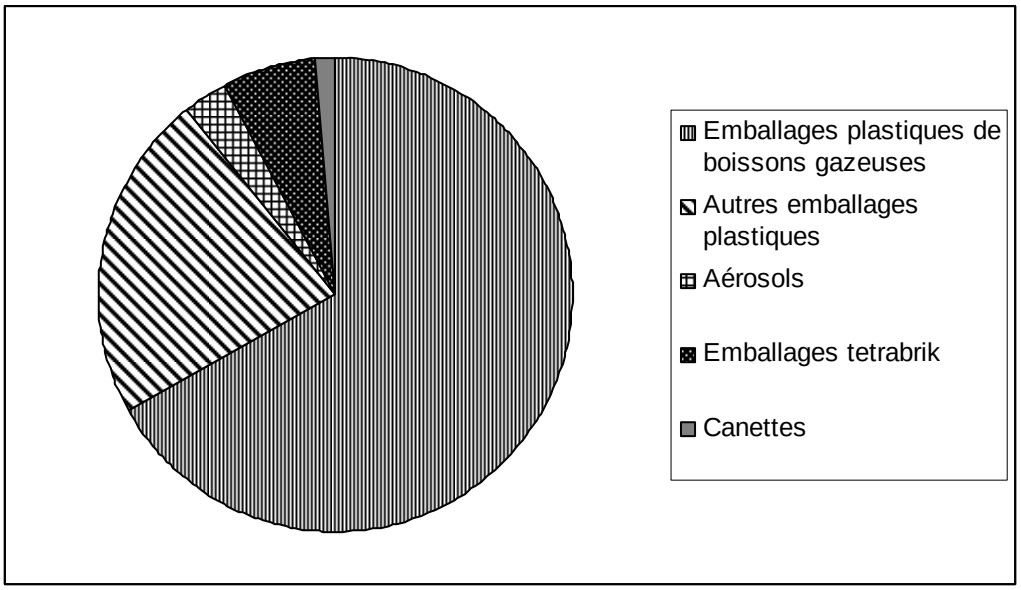


Fig. 44 : Quantités et types de déchets recensés dans le *zanjón* de Frias - 2005-2006
Source : D'après un document inédit de l'Institut de Géographie de l'UNC

5-3-3- Les déchets dans les canaux

Selon l'étude menée par l'Association de la Première zone agricole et l'association OIKOS Red Ambiental (ARCE, 2006), sur les 340 km de ce que l'on appelle le réseau secondaire urbain (agglomération), s'accumulent 77 180 m^3 de déchets par an que l'on retrouve dans les cours principaux. Le problème, c'est que si les déchets jetés en ville sont en grande partie organiques, ils se décomposent au fur et à mesure de leur transport dans l'eau et ne restent au final que les déchets non biodégradables comme les plastiques. Les plastiques représentent près de 90 % des déchets accumulés dans les canaux, avec 67 % de bouteilles plastiques des boissons gazeuses, et 22,07 % d'autres emballages plastiques. Les aérosols représentent 3,12 % tandis que les emballages de type tetrabrik atteignent le chiffre de 6,32 %. Enfin, on compte 1,49 % de canettes de métal. Notons que des déchets biodégradables comme le papier et le carton n'ont pas été comptés dans les déchets accumulés dans les canaux **(Graph. 16)**.



Graph. 16 : Composition des déchets accumulés dans les cours d'eau du BV du río Mendoza : exemple de la *rama* Jarillal à Godoy Cruz, année 2003
Source : Association 1° zone agricole, *in* Feijóo *et al*., 2007

L'Argentine, dans sa soif de modernité, est entrée dans la société de consommation depuis de nombreuses années (notamment pendant le gouvernement libéral populiste de Carlos MENEM) dont un des révélateurs est sans conteste l'accroissement et la variété des déchets. En effet, les déchets jetés par les populations dans le secteur urbain, et retrouvés ensuite dans les canaux d'irrigation, sont de type recyclable mais non biodégradable. Le plastique est roi, les denrées sont transportables, ce qui accroît encore le risque de prolifération des déchets dans le milieu-oasis. Les contenants de boissons sont majoritaires (en bouteilles ou en canettes), mais on trouve aussi de nombreux aérosols comme il est visible sur les photos **(Planche photos 8)**. Un élément cependant manque à ce recensement : les déchets de polystyrène, que nous avons pu voir flotter à de nombreuses reprises à la surface des canaux, et qui n'apparaissent pas dans ce comptage !

Nous reviendrons en Partie IV sur les conséquences nombreuses sur le plan économique, agricole et sanitaire de cette dispersion des macro-déchets dans les

infrastructures hydrauliques de l'oasis (*zanjones*, *acequias*, canaux, drains…), mais il est important ici de comprendre que l'organisation spatiale de l'oasis, avec en amont la ville et en aval les cultures, pose de graves problèmes pour le dernier usager, à savoir l'agriculteur. Les incivilités fréquentes assez inconscientes, il faut le reconnaître, des citadins, ont des conséquences particulièrement graves sur la qualité du réseau en aval. En résumé, la dispersion des déchets entraîne des débordements d'eau lorsque les détritus s'accumulent dans un canal et en bouchent le passage, provoquant des inondations de rues en amont, et des pertes de débits en aval. De même, ces accumulations de déchets parfois organiques créent de nouveaux biotopes anthropiques pour les parasites (rats, mouches, cafards), conduisant au développement de bactéries et des maladies hydriques.

La question des macro-déchets est intéressante parce qu'elle dépasse le stricte cadre d'une pollution classique. Cette pollution est visible, même si la population s'y est habituée. La valeur de l'esthétique est un paramètre à prendre en compte dans la question de la gestion des pollutions. L'image à l'international d'une ville comme Mendoza, sûrement la ville argentine la plus connue après Buenos Aires et Ushuaia, pourtant assez petite au plan mondial avec son million d'habitants, est à prendre en compte. L'esthétique est quelque chose de subjectif. L'habitude fait que nombre de Mendocinos ne voit plus cette pollution pourtant chronique. Dans certains quartiers un peu excentrés des sites touristiques, le visiteur ne peut qu'associer le paysage de décharge qu'il a sous ses yeux, aux images des montagnes de détritus du Caire ou de Calcutta, médiatisées par Mère Teresa et Sœur Emmanuelle. Au contraire, le Mendocino n'y fera pas vraiment attention, à moins que cela l'arrange d'avoir une décharge à proximité (cf. *infra*, Partie IV). Le dessin de Quino (père de Mafalda et sûrement le plus connu des Mendocinos) sur l'accroissement spectaculaire des déchets en Argentine **(Fig. 45)** est particulièrement évocateur…..

***

La pollution physique revêt donc un double problème : d'une part une nuisance esthétique qu'il conviendra de prendre en compte dans les politiques de gestion, d'autre part, un problème plus large de dégradation du milieu, de risque sanitaire et d' économie.

De fait, la question de l'aspect est importante. La pollution physique est une dégradation qui se voit, se sent aussi, et qui est surtout un ***révélateur*** *de pollution. En effet, la prolifération des bactéries ne se voit pas et tant que la population n'est pas malade, la prise de conscience ne se fait pas. Or, les métaux lourds, les pesticides et les nutriments NPK sont responsables de cancers à long terme, mais il reste difficile de faire le lien entre ces polluants et le développement de maladies neuro-dégénératives et de tumeurs malines. Il est donc résolument impossible pour la population de prendre conscience de la dégradation de sa ressource si l'information ne vient pas à elle. La question du manque d'accès à l'information est de premier plan, elle sera d'ailleurs présentée en Partie IV. Or, face au problème de la dégradation de la qualité de la ressource, nous proposions comme hypothèse l'effritement du rapport culturel unissant le Mendocino et l'eau dans ce milieu d'oasis pleinement anthropisé. L'« avantage » donc que présentent les pollutions physiques, est que passé un certain seuil, elles de ressentent (vue, odeur), et dépassent le cadre stricte de pollution, elles deviennent des nuisances. Les pollutions physiques sont donc des révélateurs, et parce qu'elles sont des nuisances, la population peut alors prendre conscience du phénomène.*

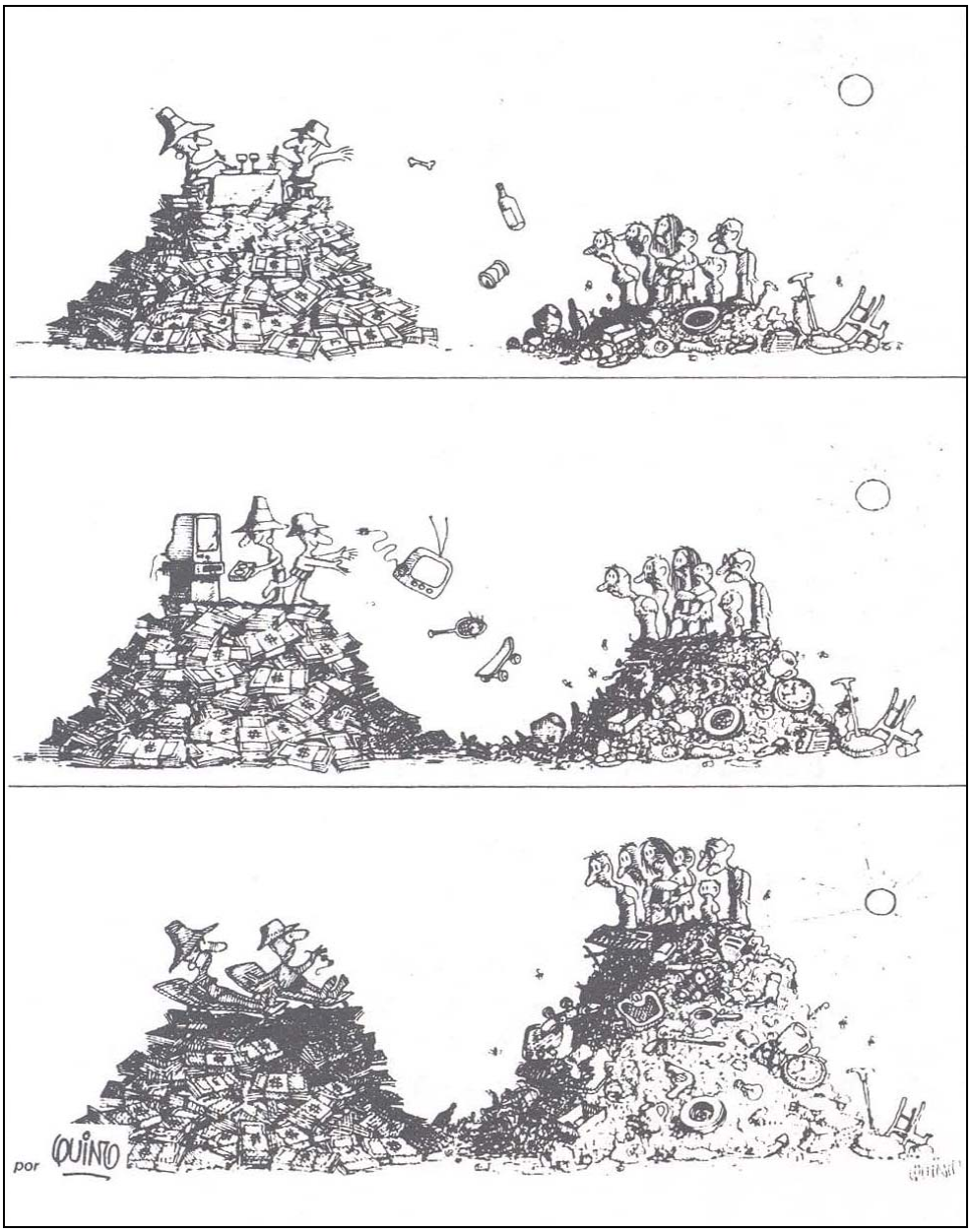


Fig. 45 : La question des déchets et de la société de consommation en Argentine vue par le dessinateur Quino.

Source : Dessin de Quino. *Muy interesante* n° 120, *in* Laymond, 2006

La pollution physique pose également des problèmes moins visibles et donc plus difficilement diagnosticables : la santé et la dégradation des milieux. En effet, les milieux pollués par les déchets urbains, à la fois organiques et inorganiques, sont des nids propices au développement des bactéries et autres nuisibles (cafards, mouches, rats…). Et l'accroissement des solides dissous et en suspension dans l'eau pose autant de problèmes aux micro-organismes végétaux et animaux qui peuplent les canaux, drains et collecteurs agricoles.

Enfin, sur le plan économique, la pollution physique interroge de plus en plus. En effet, la trop grande turbidité de l'eau en aval d'une part, pose des problèmes à certaines industries qui sont contraintes pour s'affranchir des variations de turbidité, d'avoir recours à une alimentation en eau potable, plus chère. La trop faible turbidité de l'eau en amont

d'autre part, limite l'imperméabilisation « naturelle » des canaux, accentuant les pertes en eau, et donc l'efficience de l'irrigation. Il faut de surcroît bien comprendre en ce qui concerne l'aspect de l'eau, que si la gêne est perceptible, elle aura un coût économique. La population fuira ces espaces, la valeur du foncier s'en ressentira…

De fait, les solides ont un coût à la fois sanitaire, environnemental et économique, que l'on doit associer à une mauvaise gestion du réseau dans son ensemble, et à l'organisation spatiale qui a placé les activités agricoles en aval de la zone urbaine. Le choix de la construction du barrage de Potrerillos, sans imperméabilisation anthropique des canaux de prime abord pose problème, puisque la recharge de la nappe phréatique qui se faisait en aquifère libre en amont, avec une eau de bonne qualité, se fait désormais en aquifère confiné, au niveau de la zone-oasis, puisque les canaux non imperméabilisés laissent s'infiltrer une eau dont la qualité est fortement altérée. Mais la plus grande pollution par les solides du réseau superficiel est effective dans deux secteurs principaux : la zone irriguée par les effluents domestiques collectés par le Pescara, et les milieux récepteurs des effluents domestiques. La pollution physique est donc relativement localisée, concentrée en certains canaux. Elle n'est pas une pollution diffuse puisque chaque tronçon se comporte de manière différente selon qu'il est relié à la zone urbaine ou non (en effet, les zones 5 et 6, dont l'eau n'a pas traversé l'agglomération, ne souffrent pas des problèmes de macro-déchets), selon ses tributaires et les pressions anthropiques qu'il subit. Mais est-elle contenue ?

***

CONCLUSION DE LA PARTIE 2

Cette partie II avait pour vocation de présenter un diagnostic qualitatif des paramètres biologiques et physiques de cette oasis irriguée. Comme précisé en introduction, le choix de traiter dans une même partie la biologie et les aspects physiques, séparément de la chimie, n'est pas anodin. En effet, contrairement aux pollutions chimiques dont le caractère est diffus, les contaminations par les éléments biologiques et physiques sont plutôt concentrées. En effet, ces deux types de polluants s'accumulent dans certains canaux et collecteurs et non dans toutes les infrastructures agricoles comme c'est le cas de la plupart des sels minéraux. Les sources de pollutions sont finalement assez diverses, mais spatialement très localisées.

Cinq sources de pollution peuvent être dégagées :

- Une pollution par clarification des eaux suite à la construction du barrage de Potrerillos. La clarification des eaux en moyenne montagne est bel et bien une pollution dans le sens où elle modifie un caractère naturel de l'eau. En effet, les eaux claires ont perdu leur capacité d'imperméabilisant naturel des canaux d'irrigation. Les pertes en eau étaient déjà estimées à environ 40 % sur l'ensemble du réseau en 2003 (MORÁBITO, 2003), la construction du barrage de Potrerillos devait donc être accompagnée d'une série d'imperméabilisations anthropiques de nombreux canaux. La crise économique *de los 2000* a fait revoir les projets à la baisse et au total, les pertes en débit sont importantes.
- Une pollution par les activités agricoles. Cet impact humain est relativement minime. Certes, les activités agricoles, par leur action sur les sols, sont en partie responsables de l'érosion des sols et donc des transferts de sédiments dans les eaux, **mais la pollution n'est pas d'importance**.
- Une pollution par les effluents domestiques. Que ce soit pour les paramètres biologiques ou physiques, les effluents domestiques sont un des principaux coupables de la dégradation qualitative du milieu. On peut penser aux pollutions quelque peu diffuses des *villas miserias* ou des habitations rurales non reliées au réseau de collecte collectif, néanmoins, la grande majorité en incombe à l'assainissement collectif. En effet, les deux comparaisons amont-aval des cours recevant les effluents domestiques (le canal Jocoli et le río Mendoza) révèlent une augmentation des bactéries et des solides en aval, mais aussi une pollution visible et olfactive (couleur, odeur, turbidité, mousse à la surface…).
- Une pollution par la société de consommation. La prolifération inquiétante des déchets dits urbains dans les infrastructures de distribution et de collecte des eaux à ciel ouvert est résolument inquiétante. Même si certaines municipalités ont pris le problème en compte, ces résidus non biodégradables se comptent en milliers de tonnes. C'est une pollution diffuse dans le sens où elle atteint tous les canaux des zones 1, 2, 3 et 4 qui traversent au préalable une zone urbanisée, mais elle reste relativement concentrée en amont de certaines infrastructures. Cette pollution physique a aussi des répercutions biologiques, notamment en secteur urbain, où l'accumulation de déchets, bloquant l'eau et la laissant donc croupir, provoque le développement de nuisibles et de bactéries dans les *acequias*.
- Une pollution par les effluents industriels. Par manque de données sur l'impact de toutes les zones industrielles de l'agglomération, nous nous sommes attachée à présenter le secteur considéré comme le plus à risque de pollution : la *Zona alcoholera* et son collecteur,

le Pescara. Du point de vue bactériologique et des paramètres physiques, le collecteur Pescara est LA priorité en matière de réduction des pollutions. Que ce soit pour les bactéries, les MES ou les solides dissous, les concentrations augmentent quasi-systématiquement d'amont en aval sur le canal Auxiliar Tulumaya. Les autres paramètres sont d'ordre esthétique : la couleur et l'odeur qui se dégagent de ce drain industriel. Cette « eau » est noire, très malodorante (odeur de fermentation vinicole) et revêt une texture un peu épaisse, si bien que s'il fait abstraction de l'odeur, le visiteur pourrait croire certains jours que ce collecteur est en fait un oléoduc !

En définitive, on peut dégager quatre similitudes entre la pollution physique et biologique :

- Une pollution concentrée dans certains cours d'eau : le canal Jocoli, le collecteur Pescara et le río Mendoza en aval des rejets des effluents domestiques de Paramillo. Une exception cependant : les macro-déchets qui présentent une certains diffusion dans l'ensemble de la partie ouest de l'oasis, soit les zones 1, 2, 3 et 4, alimentées par le canal Cacique Guaymallén, mais qui se concentrent aux abords des portes-écluses ou autres obstacles.
- Pour répondre au titre de cette Seconde partie « *le diagnostic qualitatif biologique et physique, une pollution concentrée et contenue ?* », nous pouvons certes observer une certaine concentration des pollutions sur certains canaux, mais en aucun cas cette pollution est contenue. Les quantités ont tout de même tendance à augmenter avec l'accroissement de la pression anthropique et les mesures de lutte contre les pollutions ne semblent pas engagées. Les travaux d'agrandissement des stations d'épuration ne sont pas prévus, le Système Pescara dont nous dénoncions l'inefficacité, pire, l'absurdité (LAVIE, 2007a), est considéré par les employés du DGI (communication personnelle au centre de dilution Système Pescara) comme une solution intégrale aux problèmes de pollution de ce drain industriel. De même, la prolifération des macro-déchets dans les *acequias*, *zanjones* et canaux et sa conséquence pour les agriculteurs ne semblent pas émouvoir les autorités. Quant à la pollution bactériologique des canaux, utilisés ensuite pour l'irrigation agricole et dont l'eau serait en contact avec les agriculteurs et leurs familles, elle est à peine citée dans la bibliographie argentine. **Le problème ne semble donc pas réellement accepté et compris par les usagers et gestionnaires** ; cette absence de conscience limite de fait les prises de position dans la lutte contre les pollutions d'origines urbaines et industrielles.
- Une dualité entre un espace urbain-amont et un second agricole-aval. La disposition de l'agglomération en amont de la plupart des zones cultivées est une problématique forte de ce terrain d'étude. Les espaces les plus fragiles subissent les conséquences des activités anthropiques existant en amont. Cette dualité est visible en ce qui concerne les macro-déchets urbains, mais elle peut aussi se comprendre pour les autres paramètres. C'est notamment le cas de la zone 4, située au nord-est de l'agglomération, dans la zone la plus basse et donc saline du cône de déjection du río Mendoza, mais qui reçoit de surcroît dans sa partie ouest les effluents domestiques de Campo Espejo, et dans sa partie est les effluents industriels du collecteur Pescara (LAVIE *et al*., 2008)
- Une même source puisque les infrastructures concernées sont peu ou prou les mêmes et que les bactéries se développement plus facilement en présence de solides dans l'eau.

Il semblerait que l'aspect de l'eau (odeur, couleur…) soit révélateur de pollutions physiques et biologiques. Nous pouvons dès lors penser qu'il est également révélateur de pollutions chimiques. C'est ce que nous allons aborder dans la Partie III à suivre.

TROISIEME PARTIE :

Evaluation de l'état qualitatif physico-chimique : un diagnostic aux résultats inquiétants

Comme précisé en introduction, nous avons fait le choix de distinguer d'une part les pollutions concentrées et d'autre part les pollutions diffuses, tout en respectant la chronologie de la recherche en hydro-qualité. Il s'avère en conséquence que le diagnostic hydro-qualitatif est présenté en deux parties. La Partie II s'est attachée à démontrer la concentration des pollutions biologiques et physiques sur quelques sites. Elle a spécifié que, bien que concentrée spatialement, cette pollution n'est en rien contenue en termes de quantités, de qualité, voire de temporalité. De fait, il est temps de s'intéresser aux pollutions plus diffuses : celles qui correspondent aux paramètres chimiques. Précisons qu'en général, lorsque l'on traite de pollution chimique, on aborde le plus souvent la physico-chimie. En effet, les modifications des données chimiques intrinsèques de l'eau ont généralement des conséquences sur le comportement physique de cette ressource. Nous pouvons proposer comme exemple celui de la salinisation des sols, particularité physique consécutive à un enrichissement chimique en minéraux. Il sera de fait important de distinguer la pollution physique proprement dite (solides, macro-déchets, salinisation) et les pollutions d'ordre chimique (minéralisation, enrichissement en pesticides, métaux lourds, et affaiblissement en oxygène par exemple). La physico-chimie englobe l'ensemble de ces paramètres. Généralement, nous aborderons la question des paramètres chimiques, tout en indiquant leurs conséquences sur le plan physique.

Quelles hypothèses ?

En Seconde partie, nous avons proposé plusieurs hypothèses suite au diagnostic hydro-qualitatif des éléments de la biologie et de la physique. Nous identifions :

- Cinq sources de pollution :
  - Une pollution par clarification des eaux suite à la construction du barrage de Potrerillos ;
  - Une pollution par les activités agricoles ;
  - Une pollution par les effluents domestiques ;
  - Une pollution par la société de consommation ;
  - Une pollution par les effluents industriels.
- Quatre similitudes importantes entre pollution biologique et pollution physique, impliquant qu'il faille les traiter de concert :
  - Une pollution concentrée dans certains cours d'eau ;
  - Une concentration des pollutions sur certains canaux, mais en aucun cas cette pollution est contenue ;
  - Une dualité entre un espace urbain-amont et un second agricole-aval ;
  - Une même source puisque les infrastructures concernées sont peu ou prou les mêmes et que les bactéries se développement plus facilement en présence de solides dans l'eau (Groupe scientifique sur l'eau, 2003).

Enfin, nous proposions comme hypothèse de départ pour la Partie III, que l'aspect de l'eau (odeurs, couleurs…) est aussi révélateur de pollutions chimiques. C'est donc en partie ce que nous allons tenter d'observer ci-après.

Il s'avère que la bibliographie mise à notre disposition aborde prioritairement la question de la salinisation des eaux et des sols, notamment dans les zones les plus basses. Ce problème de formation de couches de sels à la surface des sols est récurrent dans les milieux arides ou semi-arides et la bibliographie est relativement abondante sur ce sujet (MUDRY et TRAVI, 1994 ; GONZALEZ BARRIOS, *et al*., 2002 ; DJILI *et al.* 2003 ; ou encore SALOMON, 2006, pour ne citer qu'eux). Sur Mendoza, les ouvrages ne manquent pas non plus sur les problèmes de salinisation progressive des sols (cf. *infra*). Mais il faut bien avouer que si la plupart des ingénieurs agronomes et des chercheurs que nous avons rencontrés ou lus, s'accordent sur le fait que la minéralisation naturelle est accentuée par les activités anthropiques, notamment agricoles, il est généralement peu question des autres pollutions chimiques. Notre objectif ici est donc de présenter un diagnostic hydro-chimique le plus complet possible, abordant la question de l'enrichissement chronique des eaux d'irrigation en sels minéraux, mais aussi d'autres polluants chimiques, ayant des conséquences importantes sur le plan environnemental, sanitaire et économique.

Par quelle méthode ?

La méthodologie employée ici n'est en rien différente de celle proposée en partie II. Il s'est agi dans un premier temps de déterminer des seuils de manière à qualifier les degrés de pollutions. Les seuils sont d'ailleurs répertoriés en partie II, dans la partie introductive **(Tab. 3** et **4)**. Comme nous l'avons déjà précisé en début de Seconde partie, nous n'allons présenter ici que les *compléments* de méthodologie, une grande part ayant déjà été illustrée plus avant.

De la même manière que pour les pollutions biologiques et physiques, une partie du travail de recherche a été consacrée au recensement des données et publications existant sur ce sujet. Certaines bases de données assez exhaustives ont déjà été présentées en Partie II, il s'agira de fait ici de compléter les particularités méthodologiques. En second point, nous avons de nouveau effectué nos propres analyses (conjointement avec les analyses physiques), afin de proposer notre propre base. Les points de prélèvement et les dates sont les mêmes que pour les autres éléments, et la complémentarité de la base de l'INA et de notre propre base a été le moteur de ce travail.

Précisions méthodologiques

De fait, nous allons présenter ici les compléments méthodologiques à la Partie II.

Les études recensées

- **ALVAREZ, 1995 et LLOP, 2002**

Amilcar ALVAREZ, du CRAS, (aujourd'hui INA-CRA eaux souterraines), a réalisé en au début des années 1990 une étude sur la contamination de l'eau souterraine, la salinisation des aquifères et les contenus d'arsenic, de fluor et de nitrates dans la zone nord de la province de Mendoza. Son équipe a mesuré lors d'une campagne biannuelle (1991-92), la conductivité électrique, le pH, l'arsenic et les nitrates sur l'ensemble des 380 points du réseau souterrain (BV-souterrain des ríos Mendoza et Tunuyán). Nous n'avons pas eu connaissance de la fréquence des mesures, mais des courbes d'iso-conductivité ont été déterminées et cartographiées à l'échelle du BV-souterrain. Ces courbes ont été comparées à la base de données des mesures effectuées en 1978 et 1983. Ces mesures de 1978, 1983 et 1991 ont d'ailleurs été reprises en 2002 par LLOP, de l'INA-CELA (Centro de Economía, Legislación y Administración del Agua y el Ambiente*, ou Centre d'économie, de législation et de gestion de l'eau et de l'environnement)*. ALVAREZ a réalisé ce travail sur les trois niveaux de l'aquifère, ce qui en fait un travail très précis et très utile pour nous. Il a non seulement permis de déterminer les niveaux d'altération des nappes en sels minéraux, mais aussi d'évaluer les phénomènes d'infiltration et de percolation entre les niveaux d'exploitation des nappes. LLOP y a ajouté en 2002 le rôle du confinement. Ce travail est d'autant plus intéressant que, même si le texte est destiné aux agriculteurs pour leur usage de l'eau, l'auteur ne se contente pas de décrire les résultats. Il propose des hypothèses quant au comportement de l'hydrosystème souterrain et présente une cartographie de la conductivité à l'échelle du BV, et ce pour chacun des trois niveaux.

Nous n'utiliserons pas les cartes sur la conductivité d'ALVAREZ, mais celles de 2002 (LLOP) puisque les données y sont plus nombreuses (un suivi de plus). Par contre, les commentaires de l'auteur initial (ALVAREZ) concernant le fluor, l'arsenic et les nitrates dans les nappes, seront notre référence.

- **MORÁBITO, 2003**

Au début des années 2000, le Gouvernement provincial a commandé à l'INA un rapport sur l'efficience de l'irrigation en fonction des types de cultures, de sols… ce travail, présenté dans le mémoire de Master de MORÁBITO (2003), a consisté en une série d'enquêtes auprès des agriculteurs, avec un échantillon de 101 *fincas* (exploitations agricoles). Parmi les très nombreuses données récoltées, se trouvait une mesure de la Conductivité Electrique dans l'eau d'irrigation à son entrée dans la propriété. Seule une

mesure par point a été effectuée, mais les 101 points sont plutôt bien répartis sur l'ensemble de l'oasis. Nous avons de ce fait recherché les fiches d'enquêtes, réalisé un tableur, puis la cartographie de cette minéralisation à l'échelle de l'oasis. *Ces données non publiées sont la propriété de l'INA-CRA qui les a gracieusement mises à notre disposition.*

- **LOHN, 2004**

Cette étude de la pollution de l'eau souterraine du sous-BV el Carrizal a été réalisée par l'INA de San Juan (province au nord de Mendoza) pour le Ministère de l'Environnement (MAyOP, cf. *infra*) de la province de Mendoza. Cette très lourde publication présente les résultats de prélèvements et d'analyses d'eaux souterraines de ce sous-BV du sud de l'oasis, dont la surface a été en grande partie investie par la raffinerie d'hydrocarbures. Or, l'eau souterraine dispose d'un inferoflux de direction nord-sud. Les eaux polluées sur le secteur du Parc Industriel Provincial alimentent en aval le lac de barrage du Carrizal, soit les eaux du río Tunuyán Inférieur, dont la vocation est d'approvisionner les villes de San Martín, Rivadavia et Junin, et le périmètre irrigué dit du Tunuyán Inférieur. Bien en amont, les eaux souterraines du sous-BV du Carrizal sont utilisées pour l'irrigation des propriétés agricoles (*fincas*) de la commune de Luján.

En soi, par le nombre de cartes et de résultats d'analyses présentés, ce travail est une aubaine pour quiconque s'intéresse aux problèmes de pollution en cet espace. Or, plusieurs questions se posent :

- pourquoi l'INA de la province de San Juan a-t-il été en charge de ces travaux qui concernent au départ la province de Mendoza ?
- pourquoi lorsque nous avons interrogé les ingénieurs hydrogéologues de l'INA de Mendoza, ont-ils été réticents à nous prêter ladite étude, prétextant qu'elle était douteuse ?
- pourquoi une étude des services de l'INA est-elle aussi difficile à consulter ? Il existe pourtant une bibliothèque dans chaque INA d'Argentine ;
- enfin, pourquoi le Ministère de l'environnement a-t-il imposé une clause spécifique, obligeant l'INA à garder cette étude secrète pendant 7 ans ?

En effet, lors de nos recherches sur la prise en compte des réalités environnementales par les médias locaux, nous avons découvert un article (un seul) du journal *Los Andes* (FERNANDEZ ROJAS, 2003) titré « *El Carrizal: confirman presencia de hidrocarburos en pozos de agua* » (*El Carrizal, confirmation de la présence d'hydrocarbures dans des puits d'eau*). L'étude, menée par l'INA de San Juan, devait être gardée secrète pendant sept ans, par clause de confidentialité. Nous avons pu nous la procurer. Néanmoins, étant donnée la lourdeur de ce travail, il nous est impossible d'en présenter ici un résumé statistique et/ou cartographique. Cette recherche a été préparée sur plusieurs années avec des prélèvements ponctuels sur plus de 500 puits, apparemment une fois par an. Il faut savoir que 11 puits présentent des traces d'hydrocarbures. L'aquifère du Carrizal serait donc pollué par les activités de la raffinerie de pétrole et de gaz. Vus les doutes de chacun sur ce travail et la fréquence relativement faible des prélèvements, malgré une représentativité spatiale intéressante, nous préférons ne pas tenir compte de ces résultats, même s'il convient de préciser qu'**il est fort possible que l'activité du PIP pollue les aquifères**.

- **ORTIZ MALDONADO *et al.*, 2004**

La salinisation des sols et des aquifères est une préoccupation importante pour les Mendocinos et la bibliographie ne fait pas défaut. Parmi celle-ci, nous avons choisi le travail d'ORTIZ MALDONADO *et al.*, (2004) sur la nappe phréatique. Il faut savoir tout d'abord,

que depuis 1986, le DGI dispose d'un réseau de 98 piézomètres, d'une profondeur de 3 m, et distants entre eux de 2 km. Ainsi, à partir des données de 2002 et 2004, les auteurs ont-ils présenté une série de statistiques et deux cartographies de la conductivité électrique sur ces deux secteurs, une pour chaque année. Seule une mesure est disponible pour chaque point, une en juin 2002, la seconde en août 2004.

- **MASTRANTONIO, 2006**

Cette étude réalisée par L. MASTRANTONIO, professeur à la FCA (Faculté d'Agronomie) a déjà été présentée et utilisée en Partie II. Il s'agit d'un travail sur la qualité des eaux souterraines des ACREs Paramillo et Campo Espejo. La méthodologie est donc présentée en partie II. Nous allons ici utiliser les données en conductivité électrique, nitrates, phosphates et bore.

- **FERNANDEZ, *et al.*, 2006**

Cette étude du DGI, dont la cartographie est visible sur le site *www.irrigacion.gov.ar*, a consisté en l'évaluation de l' « impact environnemental total » de l'usage des produits phytosanitaires sur l'environnement. L'étude est assez complexe et trop mathématique pour être exposée ici ; il conviendra donc de se référer à la source bibliographique. Elle prend en compte l'impact de chaque pesticide sur plusieurs critères environnementaux (écotoxicité sur les abeilles, sur les oiseaux, sur les organismes aquatiques, toxicité, cancérogenèse, mutagenèse et tératogenèse[50]) et donne pour chacun une donnée chiffrée. En fonction de l'usage de tel ou tel pesticide sur les cultures, un indice d' « impact environnemental total » a été créé.

- **Qualité INA 2003-2008**

Se reporter au paragraphe analogue en Partie II

Les apports personnels

Se reporter au paragraphe analogue en Partie II

[50] : Téranogenèse : Apparition et développement de malformations chez un être vivant (Petit Larousse, 2009).

Chapitre 6 :

Une minéralisation progressive

La minéralisation est l'état d'une eau chargée d'éléments minéraux solubles. Elle se mesure via la Conductivité Electrique (CE), en µS/cm, ou mS/cm (S = Siemens), convertie à 25°C comme le veut la norme internationale. Les minéraux sont dans l'eau les éléments qui transportent l'énergie, l'électricité ; en mesurant la conductivité électrique d'une eau, on connaît sa teneur en minéraux. Une CE élevée révèle soit des pH anormaux des eaux, soit une salinité forte. Effectivement, parmi ces minéraux, nombreux sont des sels dissous, en particulier à Mendoza, ce qui amène bon nombre de chercheurs à utiliser l'un pour l'autre, et salinisation pour minéralisation. Selon BREMOND et VUICHARD (1973), la CE peut être élevée par une pollution industrielle (mines de potasse, houille, mines de fer). Lors de précédentes études (HOFFMANN et PELLEGRIN, 1996 ; PAULAIS, 2003 ; HOFFMANN, 2005 ; LAVIE, 2005 ; MACARY *et al*., 2006 ; CATTANEO *et al*., 2008), nous avions également prouvé, si cela était nécessaire, la concordance entre les baisses des températures et les hausses des conductivités électriques.

En ce qui concerne les seuils de potabilité, les mêmes auteurs notent que dans les années 1970, une eau de qualité excellente n'excédait pas 400 µS/cm de conductivité électrique, et au-delà de 1500 µS/cm, elle n'était pas considérée comme potable. En revanche, en 1999, le SEQ-eau (cf. *infra*) de l'Agence de l'Eau considérait la ressource comme de très bonne qualité jusqu'à 2500 µS, et non potable à partir de 4000 µS/cm ! Que dire de ces normes sinon qu'elles révèlent une trop forte tolérance des organismes de normalisation ? Nous utiliserons donc le classement qualitatif de la ressource établi par l'Agence de l'Eau de 1999 **(Tab. 3** et **4)**, mais nous prenons délibérément beaucoup de recul sur les seuils établis.

En ce qui concerne les usages, nous y reviendrons en quatrième partie, mais notons que de fortes conductivités ne sont pas propices à l'irrigation puisqu'elles abaissent les rendements (LLOP, 2002) ; de même certaines industries ne supportent pas des conductivités trop élevées, comme les brasseries par exemple (500 µS/cm).

6-1- La minéralisation des eaux de surface

En ce qui concerne les hydrosystèmes superficiels, nous disposons de plusieurs études, c'est même l'horizon que nous connaissons le mieux. En effet, trois études vont s'entremêler dans ce chapitre : une étude de l'INA sur la conductivité électrique de 101 points de l'oasis, une seconde étude du même organisme sur seize points, avec un suivi mensuel sur trois ans, enfin notre suivi personnel sur deux saisons, de manière hebdomadaire.

6-1-1- Vers une salinisation ?

La minéralisation participe donc à la salinisation puisqu'il s'agit de l'enrichissement de l'eau en ions ; les ions les plus fréquents sont le calcium, le magnésium, le potassium, le sodium, les chlorures, les sulfates, les bicarbonates et les carbonates, les nitrates et phosphates. Chaque ion peut être analysé de manière individuelle (cf. *infra*), mais il existe aussi des paramètres globaux ayant pour finalité l'évaluation de la salinité totale. Il s'agit d'abord de la conductivité électrique qui ne mesure pas la salinité mais la minéralisation « *certains composés chimiques s'ionis[ent] dans l'eau. Ces ions sont chargés positivement ou négativement. Cette ionisation permet à l'eau de transporter des charges électriques, de devenir conductrice. Cette propriété dépend des types d'ions en solution, de leur concentration et de la température de l'eau.(...) Chaque ion possède une conductivité spécifique. Elle est en général exprimée à 25°C, en µS/cm^{-1}. (meq/1)$^{-1}$. Il existe une relation mathématique entre la somme des conductivités spécifiques de tous les ions présents dans l'eau et la conductivité de l'eau. Ainsi, plus une eau est minéralisée, plus sa conductivité augmente. La conductivité est exprimée en S/m, Siemens par mètres. (...) Usuellement, pour les eaux douces naturelles en général peu chargées (par rapport aux eaux de mer, par exemple) on utilise les µS/cm ou les mS/cm.* » (HOFFMANN et PELLEGRIN, 1996)

Au début des années 2000, au moment où les travaux du barrage de Potrerillos commençaient, le Gouvernement de Mendoza a demandé à l'INA une étude sur l'efficacité de l'irrigation dans toute la zone dépendante du barrage de Potrerillos, à savoir l'oasis du río Mendoza. Cette étude, publiée sous la forme du mémoire de *Master en irrigation et drainage* de José A. MORÁBITO (2003), a consisté en 101 enquêtes de terrain, et parmi les très nombreuses données, 99 mesures de conductivité électrique dans l'eau d'irrigation des *fincas* (la *finca* est le domaine agricole, secteur primaire uniquement). En 2001 et 2002, les ingénieurs et techniciens de l'INA ont parcouru toute l'oasis. Si la représentativité temporelle est quasi nulle puisque chaque propriété n'a été consultée qu'une fois, la représentativité spatiale est intéressante. La **Fig. 46** nous présente ces résultats via une cartographie par figurés ponctuels et proportionnels.

Il apparaît sur cette cartographie, une minéralisation globale des eaux supérieure à 500 µS/cm, à laquelle s'ajoute un léger gradient de conductivité au fur et à mesure que l'on s'éloigne du barrage de Cipolletti. Les zones les plus basses se salinisent beaucoup **(Photo 3)**, et cela se manifeste parallèlement par une conductivité électrique élevée. Les zones 1, 2 et 3, proches de la prise d'eau, présentent des valeurs avoisinant 850 à 900 µS/cm, ce qui correspond à la conductivité moyenne au niveau du barrage, et donc une pression anthropique relativement faible en aval du barrage. Dans la zone du Carrizal (zone 1, rive droite du río, au sud), dans les points les plus bas, on a mesuré des valeurs à hauteur de 1200 µS/cm. Dans la zone 5 (Nord-est), sur les 15 points, la moyenne des conductivités s'élève à 1161 µS/cm, alors qu'elle est inférieure à 950 µS/cm pour les zones 1, 2, 3 et 6. Il faut savoir que dans cette zone, l'irrigation en 2002 ne se faisait pas directement depuis le barrage de Cipolletti. La prise d'eau s'effectuait au barrage Gustavo André (sur le río Mendoza, en zone 5) et l'eau dérivée du río Mendoza n'était pas prise sur le haut du piémont (barrage de Cipolletti) mais en plaine, en aval des nombreuses activités anthropiques.

A ce niveau, le río Mendoza recevait (et reçoit toujours) les eaux collectées dans le complexe pétroléo-gazier de Luján et restituées au río en aval du barrage de Cipolletti, les eaux d'un affluent dont l'origine est l'anticlinal du Carrizal (où est extrait le pétrole), les eaux de surplus de la station d'épuration des effluents domestiques Paramillo, et quelques rejets de collecteurs de drainage agricoles. Aujourd'hui, le problème a été traité puisque le canal Matriz San Martín qui irrigue le sud des zones 2 et 3, et la zone 6, a été prolongé jusqu'à la zone 5, et

cette zone est aujourd'hui alimentée directement par les eaux du barrage de Cipolletti (cf. *infra*).

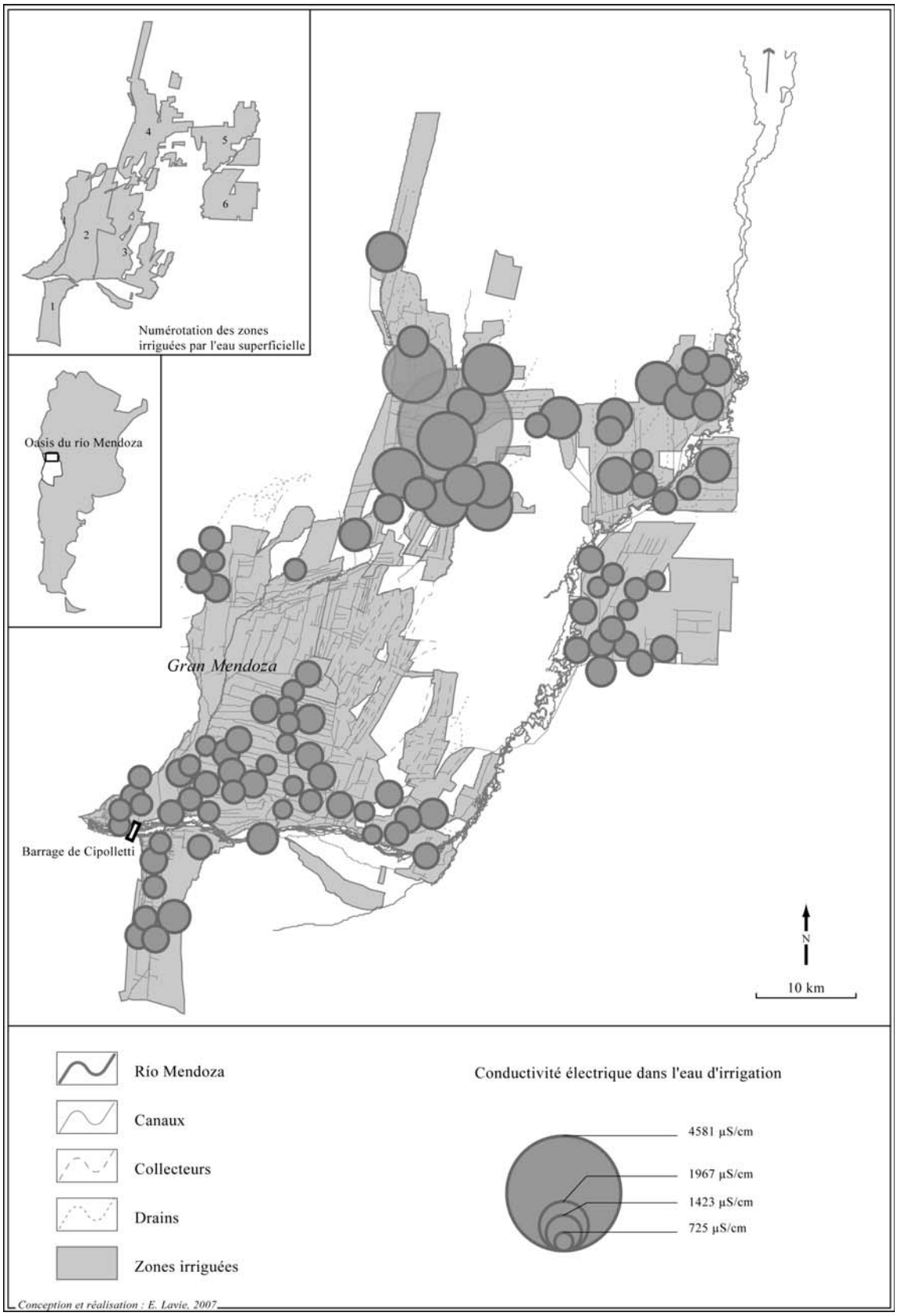


Fig. 46 : Conductivité électrique de l'eau d'irrigation dans les domaines agricoles (2001-2002)
Source : données d'enquête INA, Morábito, 2003

La zone 4 nous paraît être la plus préoccupante. Avec une moyenne des conductivités mesurées sur seize points, de 1624 µS/cm, soit presque le double des zones en amont, cette zone est particulièrement soumise à la minéralisation des eaux. Le plus gros problème concerne l'agriculture puisque certaines plantes (maraîchères surtout) ne supportent pas des eaux aussi conductrices. Il faut savoir que cette zone 4 est alimentée par des eaux déjà usées : celles du canal Jocoli et du collecteur Pescara (cf. *supra*). Ainsi, cette zone reçoit presque toutes les eaux urbaines (via le canal Cacique Guaymallén), des eaux domestiques, des eaux industrielles et des eaux agricoles.

Les résultats issus des enquêtes et analyses de l'INA sont de fait très intéressants sur le plan spatial. La représentativité spatiale est bonne avec 99 points, même si chaque site n'a été prélevé qu'une seule fois.

Sur le plan temporel, nous pouvons également proposer des résultats issus de nos bases de données conjointes avec l'INA. Pour la conductivité électrique, nous disposons des mêmes points de prélèvement que pour les bactéries et les solides, soit trois points en rivière, cinq points en canaux et huit points en collecteurs et drains. Les analyses de l'INA et de la FCA (Faculté d'Agronomie) sont issues de prélèvements mensuels sur la période 2003 à 2008, tandis que nos analyses personnelles sont hebdomadaires, sur deux saisons, hiver et printemps. La différence entre ces études et la précédente sur les 99 points, et que nous mesurons l'eau avant et après son utilisation en domaine agricole, tandis que l'étude précédente était faite sur l'eau d'irrigation au sein même des *fincas*.

Dans l'ensemble, au regard des **Fig. 47** et **48**, nous pouvons d'abord constater certaines différences entre les deux résultats. En effet, la base de l'INA présente des écarts plus forts, ce qui peut s'expliquer par une différence dans les périodes d'analyses, mais aussi par une possible amélioration de la qualité de l'eau ces dernières années (INA : moyenne 2003-2008 ; Lavie : 2006-2007). Mais il ressort aussi de nombreuses similitudes. En effet, la première constatation est un accroissement des conductivités électriques d'amont vers l'aval, au même titre que dans les *fincas*. Les drains de collecte des eaux agricoles (DII à DVII) sont nettement plus minéralisés que les canaux et le río Mendoza. De fait, la première cause semble être agricole. L'irrigation par ennoiement des terres est commune à Mendoza, le goutte-à-goutte et l'aspersion étant très coûteux. L'impact de ces pratiques agricoles semble se faire ressentir en aval de l'oasis.

On peut raisonnablement émettre l'hypothèse d'une minéralisation – suivie d'une salinisation – naturelle des terres basses, accentuée par les activités anthropiques.

Par ailleurs, les canaux et le río Mendoza apparaissent comme relativement épargnés par une minéralisation excessive ; trois points font exception : CII, CV et RIII, soit les mêmes points que pour la pollution par les solides et les bactéries. Au total, la source semble être liée, avec une pression domestique en aval des rejets des stations d'épuration et une pression industrielle via le collecteur Pescara ; ce qui semble confirmé par la forte conductivité électrique mesurée dans le collecteur Pescara en DVIII.

Cette analyse spatiale conclut à une hypothèse : **une minéralisation naturelle accentuée par les activités agricoles (irrigation), industrielles et domestiques**. Afin de vérifier cette hypothèse, une analyse sur le plan chronologique s'impose. En effet, il conviendra de comparer les dynamiques de minéralisation des cours d'eau en fonction des saisonnalités des activités anthropiques.

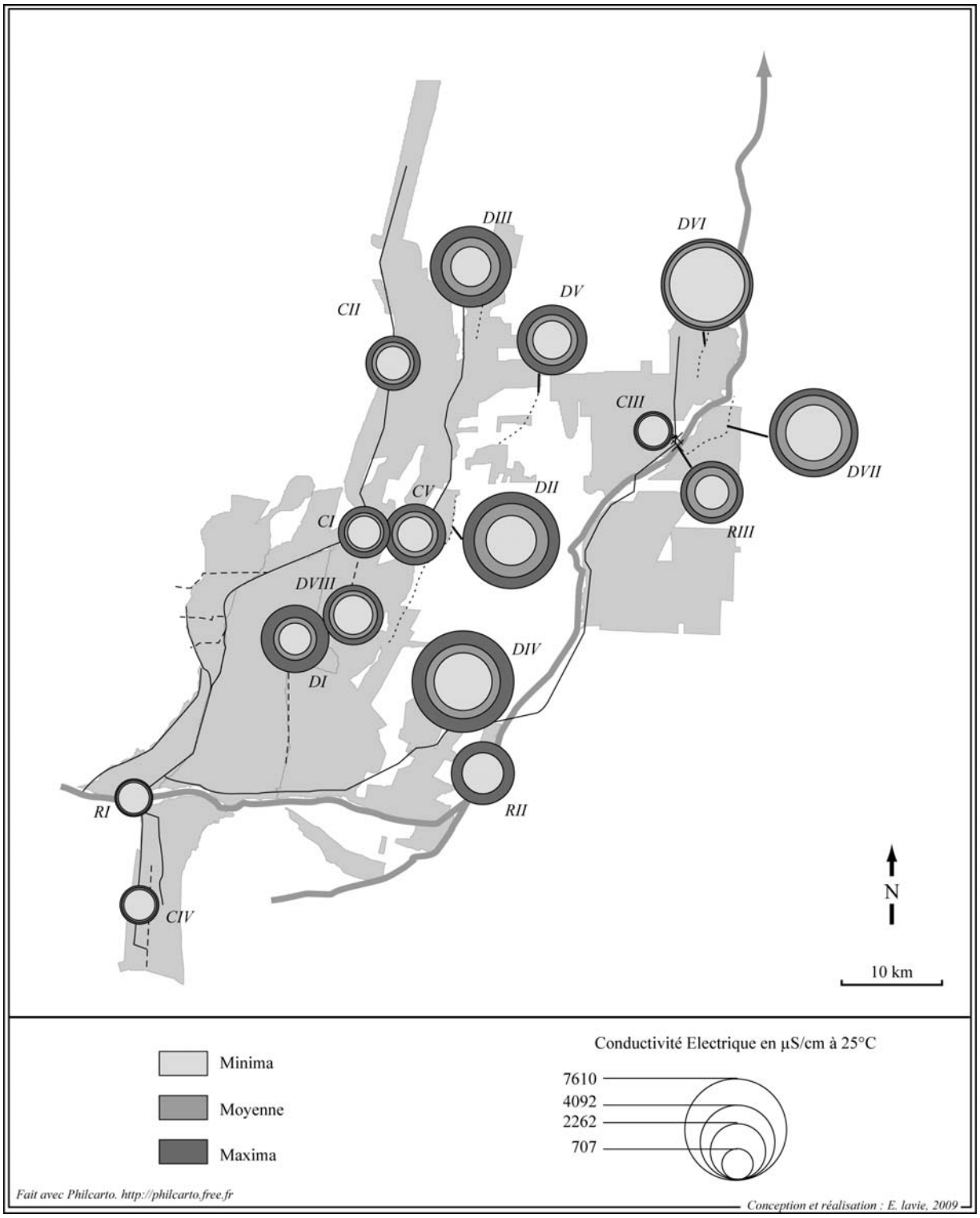


Fig. 47 : Conductivités électriques dans les points de suivi, données mensuelles 2003-2008
Source : données de l'INA

Pour ce faire, nous avons choisi trois sites :

- le point DIII car ce drain est un ruisseau au tracé naturel utilisé comme collecteur des eaux agricoles ;
- le point CV puisqu'il est le plus anthropisé des canaux ; il reçoit les eaux industrielles du collecteur Pescara ;

- et le point RIII sur le río Mendoza, situé en aval de l'oasis ; il est aussi le récepteur des eaux domestiques de la station d'épuration d'El Paramillo.

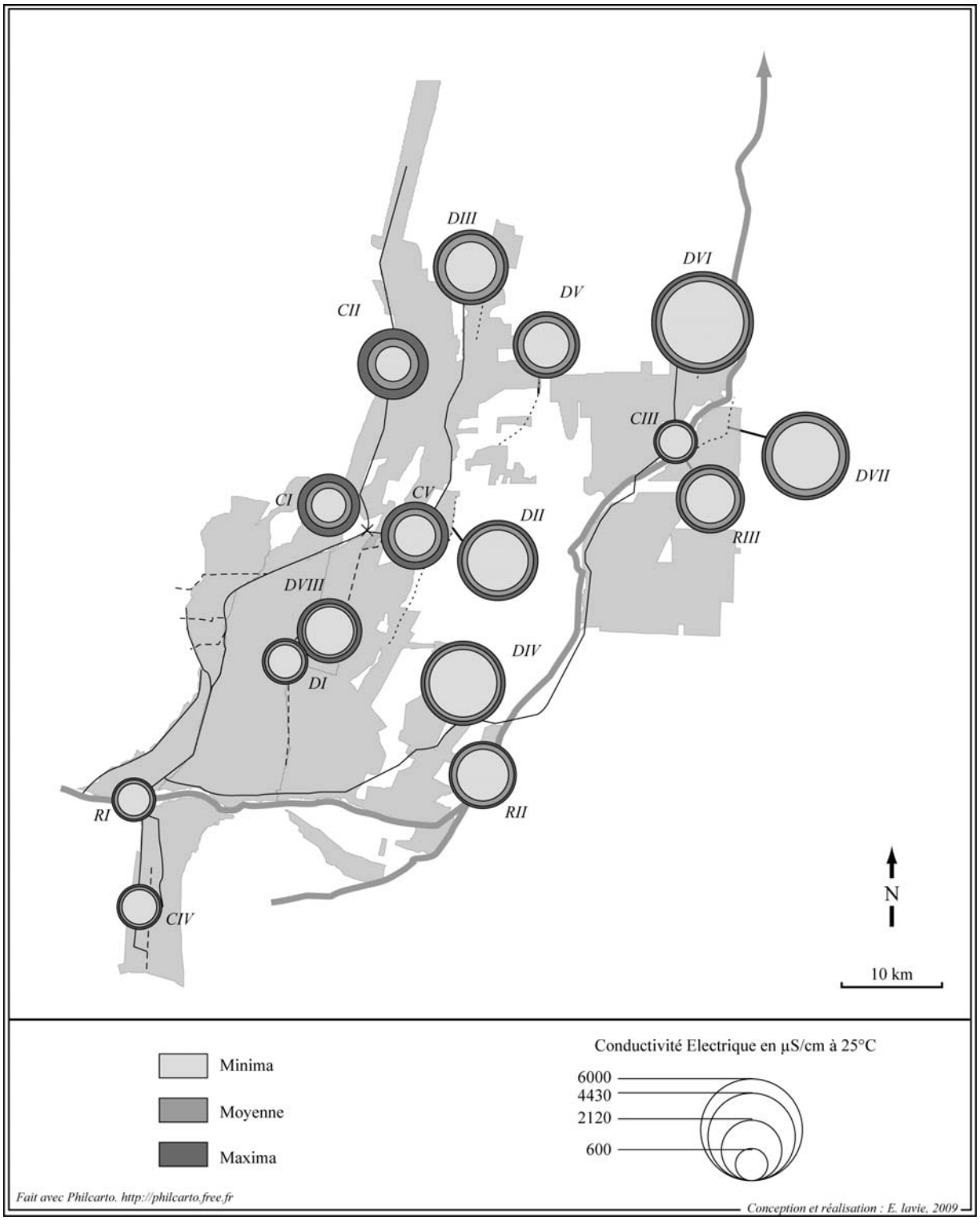


Fig. 48 : Conductivités électriques dans les points de suivi, données hebdomadaires, hiver 2006-printemps 2007
Source : données personnelles

Sur le **Graph. 17**, nous pouvons observer les suivis de conductivités électriques et de températures des points RIII, CV et DIII, sur la période 2003-2008. Le quatrième graphique présente quant-à-lui les valeurs de conductivités des trois points, sans prise en compte de la température pour plus de lisibilité. De fait, nous pouvons comparer sur le long terme les liens entre conductivités et températures **(Graph. 17 a, b** et **c)** et les profils de minéralisation de chaque point avec une fréquence hebdomadaire **(Graph. 17 d)**.

Dans l'ensemble, les trois points présentent **le même profil « en vagues »**, (ponctué par ce qui semble être un artefact en DIII le 14-11-2007). Les conductivités électriques augmentent de février à novembre et baissent de novembre à février. Il semble qu'il y ait donc deux semestres distincts. Ces vagues, identiques sur les trois points, laissent à penser que la saisonnalité des activités anthropiques n'a qu'un faible rôle. En effet, les activités industrielles, agricoles et domestiques n'ont pas la même temporalité, tandis que les profils de minéralisation sont les mêmes pour les trois points. En revanche, si sur le plan temporel ces activités sont secondaires, sur le plan des quantités de minéraux dissous, on observe une différence entre RIII et CV d'une part, et DIII d'autre part. Il demeure important de rappeler ici que le drain III situé en aval (et de surcroît en zone 4, la plus basse) est plus minéralisé que les canaux et la rivière.

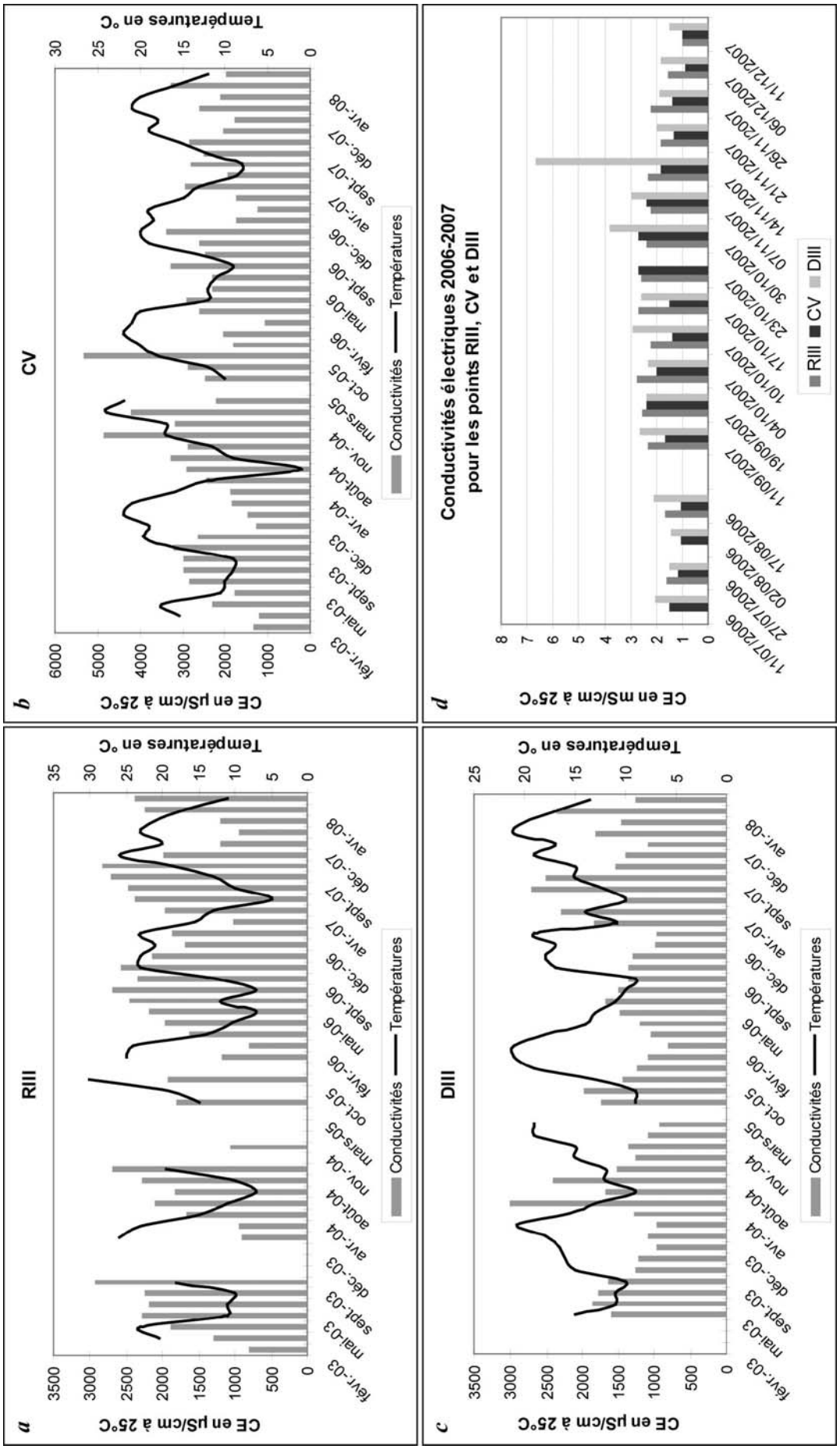
Les vagues des profils baissent donc du printemps à l'automne, puis augmentent à nouveau de l'automne au printemps. Il y aurait donc une minéralisation plus importante l'hiver.

Deux hypothèses peuvent être proposées ici :

- d'une part, il est depuis longtemps connu que la minéralisation est quelque fois inversement proportionnelle à la température (PAULAIS, 2003 ; HOFFMANN, 2005 ; LAVIE, 2005 ou CATTANEO *et al*., 2008 entre de nombreux autres). De fait, lorsque les températures augmentent, les conductivités électriques baissent, ce qui implique que les valeurs mesurées sont plus fortes en hiver. L'arrivée du printemps vers octobre et novembre implique souvent une baisse des conductivités électriques. Rappelons que les températures de l'eau sont liées à la température de l'air ambiant lorsqu'il s'agit de réseau superficiel. Une exception en ce qui nous concerne : le point DVIII connaît des températures plus hautes de 2°C par rapport à DI, situé sur le même point, 1 km à l'amont et prélevé 10 min après, ce qui implique une pollution physique ici (cf. *infra*) ;
- d'autre part, **le rôle de la végétation** (anthropique) **sur le comportement minéral** du réseau semble primordial. En effet, les minéraux sont fixés par les plantes lors de leur période de croissance, ce qui constitue en quelque sorte un engrais naturel. Le choix de la date du second séjour-terrain a été dicté par l'idée que le **réveil végétal printanier** pouvait jouer un rôle sur l'élimination de certains polluants. Il semble donc que ce soit **vérifié pour la minéralisation**.

  Lors de la croissance, les végétaux utilisent donc les minéraux nécessaires, ce qui explique la baisse des valeurs mesurées à partir de la fin du mois d'octobre. A l'inverse, à la fin de l'été, commence la récolte. Les fruits sont coupés et transportés vers les zones industrielles. D'abord, les plantes n'ont plus besoin des minéraux, le filtrage ralentit ; ensuite, les feuilles mortes tombent en hiver, restituant aux sols les minéraux qu'elles contiennent. La date des récoltes sonne de fait le début de la ré-augmentation des valeurs de conductivités électriques dans l'eau.[51]

[51] : Nous noterons cependant un problème dans notre suivi : en effet, sur nos propres données, en hiver 2006, les valeurs sont basses, bien en deçà de celles de l'INA, et ne correspondent en rien à nos conclusions. Sans aucune explication scientifique possible, nous pensons qu'il s'agit là d'un artefact, d'un problème dans les mesures, problème venant soit de l'appareil, soit de notre manière de l'utiliser (problème d'étalonnage ?).



Graph. 17 a, b, c et d : Conductivités électriques et températures des points RIII, CV et DIII
Sources : a, b et c : d'après la base de données de l'INA, 2003-2008 ; d : données personnelles, hiver 2006, printemps 2007

Nonobstant, si la **minéralisation** (chimique) de l'eau est plus forte en hiver qu'en été pour les raisons évoquées ci-avant, cela ne signifie pas que la **salinité** (physique) des sols ait le même profil saisonnier. En effet, en été le soleil est haut et fort, et l'évaporation et l'évapotranspiration deviennent donc importantes, ce qui favorise la formation des cristaux de sels en surface.

6-1-2- Des pressions domestiques et industrielles fortes sur le système calco-sulfaté

Dans ce chapitre, nous traiterons les ions qui composent le système naturel calco-sulfaté à l'exception des nitrates et des phosphates que nous avons délibérément choisi d'observer de manière plus précise en fin de chapitre.

L'eau dérivée du río Mendoza est issue de la fonte des neiges de la haute montagne et s'est chargée des minéraux présents dans les roches qu'elle parcourt. Le contexte géologique est relativement complexe (cf. *supra*), mais pour simplifier, il s'agit de roches métamorphiques avec alternance de **gypse**. Ce gypse est composé de sulfates de calcium $CaSO_4.2(H_2O)$ qui donnent à l'eau superficielle un comportement minéral calco-sulfaté naturel. Il faut ajouter à ce profil naturel des pressions anthropiques subies par l'hydrosystème en amont du barrage de Cipolletti et dans l'ensemble de l'espace irrigué, qui augmentent les concentrations en ions carbonates et ions sulfates, tout en modifiant les profils. Tous les points ont été analysés en ce qui concerne ces paramètres. Pour ne pas surcharger le diagnostic et par soucis de lisibilité, nous avons volontairement fait le choix de présenter trois systèmes : le río Mendoza à sa prise au barrage de Cipolletti, le système Cacique Guaymallén-Jocoli (points RI-CI-CII) et le système de collecte du Pescara (points RI-DI-DVIII).

Au regard des **Graph. 18** et **19** et du **Tab. 7**, le profil calco-sulfaté apparaît clairement. Le calcium (Ca^{2+}) et le sulfate (SO_4^{2-}) sont les deux ions dominants depuis RI jusqu'à CII ou DVIII. A l'inverse, le potassium (K^+) et les carbonates (CO_3^{2-}) sont assez peu présents. Entre ces deux extrêmes, on retrouve les cations sodium (Na^+) et magnésium (Mg^{2+}) et les anions chlorure (Cl^-) et hydrogénocarbonate (HCO_3^-). Notons que ce qui importe, c'est moins les valeurs en soi, que les variations de ces concentrations dans le temps et dans l'espace. D'autant plus que nous avons fait le choix d'exprimer les ions en Meq/l, comme le veut la norme internationale (bien que l'Agence de l'Eau les exprime en mg/l). Or, les variations des concentrations en Meq./l sont bien plus étendues qu'en mg/l.

Que dire d'abord de chacun de ces ions ?

Le **calcium** est naturellement présent dans ces eaux qui ont traversé des terrains gypseux et calcaires notamment. En effet, si le gypse est calco-sulfaté, le calcaire est lui aussi composé de calcium. Ce calcium, combiné aux carbonates, se transforme en carbonate de calcium, le composé du calcaire et de la craie.

$$Ca^{2+} + CO_3^{2-} \rightarrow CaCO_3$$

Le **magnésium** est un minéral fréquemment associé aux systèmes carbonatés.

Le **potassium** est ion sel assez vite oxydé, ce qui fait qu'il est assez peu présent naturellement. Néanmoins, on le retrouve dans le collecteur Pescara. Le potassium est un des composés des engrais dits NPK, la potasse étant un bon fertilisant. Mais il est aussi utilisé dans l'industrie, notamment par les tanneries (cf. *infra*).

Le **sodium** est un ion dominant, au même titre que le calcium. Il a donc tendance à très vite s'associer à des anions différents et à changer le profil minéral d'un cours d'eau. Il est lié le plus souvent au chlorure, pour former le chlorure de sodium, plus communément appelé « sel ».

$$Na^+ + Cl^- \rightarrow NaCl$$

Mais le sodium est aussi utilisé dans l'industrie de l'hygiène. En effet, le savon est composé de sodium et de potassium par exemple. La javel contient du chlorure de sodium (NaCl) et la plupart des détergents sont fabriqués à partir de carbonate de sodium, c'est notamment le cas de nombreuses lessives.

$$2(Na^+) + CO_3^{2-} \rightarrow Na_2CO_3$$

L'ion **chlorure** est donc un composé du sel et prend place dans certains produits d'hygiène comme la javel. Associé au sodium, leurs profils sont presque identiques sur les **Graph. 18** et **19**.

Le **sulfate**, bien que naturellement présent dans le gypse, peut aussi être considéré comme un polluant d'origine anthropique. En effet, il entre dans la composition de nombreux intrants agricoles (comme la bouillie bordelaise composée de sulfate de cuivre) comme fongicide et bactéricide. Le sulfate de cuivre est un produit phytosanitaire visant à éviter le développement de maladies et de champignons sur les ceps de vigne, d'où le nom associé de bouillie bordelaise. Mendoza étant une province très nettement viticole, le cas du sulfate, bien que présent de manière naturelle, sera à observer.

Enfin, les deux derniers anions sont les **carbonates** et les **hydrogénocarbonates**. Une réaction chimique entre l'eau H_2O et le dioxyde de carbone CO_2 crée l'acide carbonique H_2CO_3.

$$H_2O + CO_2 \rightarrow H_2CO_3$$

L'acide carbonique est un acide très léger, que l'on retrouve dans le sang ou dans l'eau gazéifiée. En solution, cet acide peut perdre un proton et former l'hydrogénocarbonate[52] HCO_3^- si le pH est inférieur à 8,3. Quand le pH est supérieur à 8,3, l'acide carbonique perd deux protons et devient carbonate CO_3^{2-}.

[52] : L'hydrogénocarbonate est le nom récent du bicarbonate.

Photo 3 : Salinité visible des sols
Photo prise en zone 4. La végétation basse au second plan (niveau du genou de la personne) délimite le lit de l'arroyo Tulumaya (c'est notre point DIII).
Cliché : E. Lavie, juillet 2006

En Meq/l	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}
RI	2,1	0,1	5,4	1,7	0,0	1,8	1,7	5,7
CI	2,8	0,1	6,6	2,4	0,0	2,5	2,3	7,0
CII	4,4	0,2	6,9	2,6	0,0	2,8	3,1	8,2
DI	3,7	0,7	7,1	2,4	0,0	3,2	4,2	7,1
DVIII	5,4	1,6	8,3	2,8	0,0	4,2	4,8	9,0

Tab. 7 : Moyennes des concentrations des ions dans les points RI, CI, CII, DI et DVIII, colorées en fonction de la qualité (seuils du SEQ-Eau, Tab. 3 et 4)
Source : données INA

Quel est l'impact anthropique sur le profil calco-sulfaté ?

Une légère baisse du calcium et des sulfates s'observe à l'automne, mais les profils sont assez multimodaux **(Graph. 18** et **19)**.

Sur l'ensemble des années de suivi par l'INA (2003-2008), le comportement naturel du río (point RI) présente un parallélisme des courbes de calcium, de magnésium et de sulfate ; on appelle cela un profil en phase. Au contraire, les courbes de sodium, de bicarbonates et de chlorures suivent un profil inverse ; ils sont en opposition de phase. En résumé, lorsque le calcium et le sulfate augmentent, le sodium et le chlorure baissent. Il semble y avoir comme une « compétition » entre deux types d'associations d'ions. **Le sulfate de calcium ($CaSO_4.2(H_2O)$) domine mais il peut diminuer au profit du chlorure de sodium (NaCl)**. En regardant plus précisément, il semble, mais cela est très léger, que cette augmentation du sel apparaisse quand les carbonates augmentent, donc quand le pH augmente lui aussi. Néanmoins, il reste difficile de l'affirmer comme un fait systématique.

Le comportement minéral naturel (du moins en tête du système oasien), présente de très bonnes qualités moyennes pour le sodium, le potassium, le calcium, le magnésium et le chlorure (au regard du SEQ-Eau). En revanche, ces eaux se révèlent d'une relative mauvaise qualité sulfatée. Cela-dit, peut-on attribuer ces 5,7 meq/l de sulfates en moyenne à la circulation dans les gypses, ou aux rares activités anthropiques connues en amont ? Nous pensons pour notre part que la plus grande proportion est naturelle, tout en n'excluant pas un impact anthropique. Il faudrait pour confirmer cette hypothèse, faire appel à d'autres marqueurs (cf. *infra*).

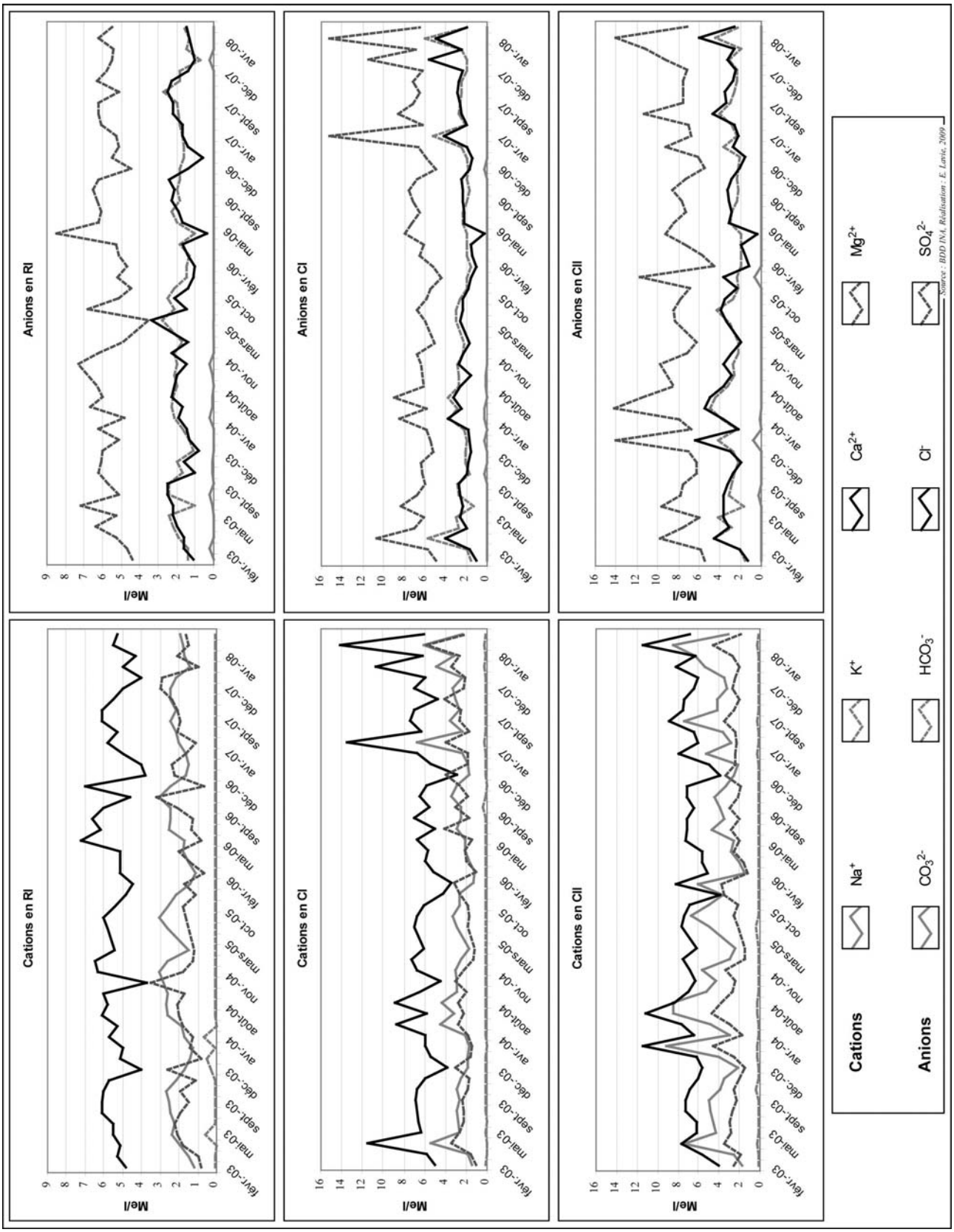
Sur le plan spatial donc, nous avons choisi deux systèmes à comparer au point RI : le système urbain-domestique et le système industriel. Notons que pour l'un comme pour l'autre, nous observons **une augmentation des valeurs moyennes d'amont vers l'aval, et ce pour tous les ions**. L'impact de l'oasis, ce milieu anthropique, est donc à prendre en compte.

- **Le système urbain-domestique**

Afin d'évaluer le rôle de l'agglomération sur le comportement minéral, nous allons donc comparer le point RI (tête du système) au point CI, situé en aval de l'agglomération en fin du canal Cacique Guaymallén, et au point CII, en aval de CI sur le canal Jocoli, mais aussi implanté en aval des rejets de la station d'épuration de Campo Espejo (cf. *supra*).

De fait, même si les quantités croissent de RI en CI et de CI en CII, les cations restent de très bonne qualité. Les chlorures passent de très bonne à bonne qualité et les sulfates augmentent, passant de mauvaise à très mauvaise qualité entre CI et CII (seuils Agence de l'eau, cf. **Tab. 3** et **4**). On ne peut donc pas parler de pollution proprement dite par impact urbain.

Néanmoins, la ville a des répercussions sur le comportement minéral. En effet, nous avions noté en RI un parallélisme des courbes de sulfate, de calcium et de magnésium, à l'inverse des courbes de sodium et de chlorures. Or, en CI, certains jours, le profil est proche de celui de RI avec deux comportements distincts ; d'autres jours, toutes les courbes sont parallèles ! Il semble qu'à certaines périodes, notamment à l'automne, les courbes de sodium et de chlorures s'inversent pour suivre le profil du calcium et des sulfates, les ions majoritaires. Il semblerait que le profil soit proche du naturel (RI) en été (décembre à février) et totalement transformé à l'automne. En CII, les courbes sont toutes parallèles, très rares sont les exceptions. De fait, si les moyennes présentaient une absence de pollution, on observe sur le plan temporel un **impact des activités anthropiques sur le comportement minéral**. En CI, l'impact anthropique semble le plus fort en automne et le plus faible en été. Or, l'Argentine connaît une spécificité : les trottoirs sont carrelés, et les ménagères ne cessent de nettoyer à grands coups de détergents et d'eau potable leurs bouts de trottoir, par soucis de propreté ou par habitude culturelle. Si certaines se contentent de balayer, nous avons observé de nombreuses Mendocinas briquer jour après jour leurs trottoirs avec des détergents très mousseux. C'est d'autant plus intéressant que sur le plan temporel, ce ménage quotidien ou hebdomadaire suit le comportement minéral. En effet, il est interdit de nettoyer son trottoir avant 22h l'été pour éviter le gaspillage de l'eau potable, il est donc assez logique que l'eau en aval de l'agglomération garde un profil proche de celui du río. En revanche, deux saisons sont rythmées par l'utilisation des détergents : le printemps où les trottoirs sont couverts d'une mince couche de pollens jaunes (des platanes) et l'automne où les feuilles des mêmes platanes jonchent les sols, les trottoirs et les *acequias*. Or, c'est bien l'automne qui présente le profil minéral le plus anthropisé.



Graph. 18 : Les ions dans les points RI, CI et CII
Source : données de l'INA

Quand au printemps, il est probable que le réveil végétal joue son rôle et que la végétation épure une partie des ions sodium, même si cela est plus souvent vérifié sur le potassium.

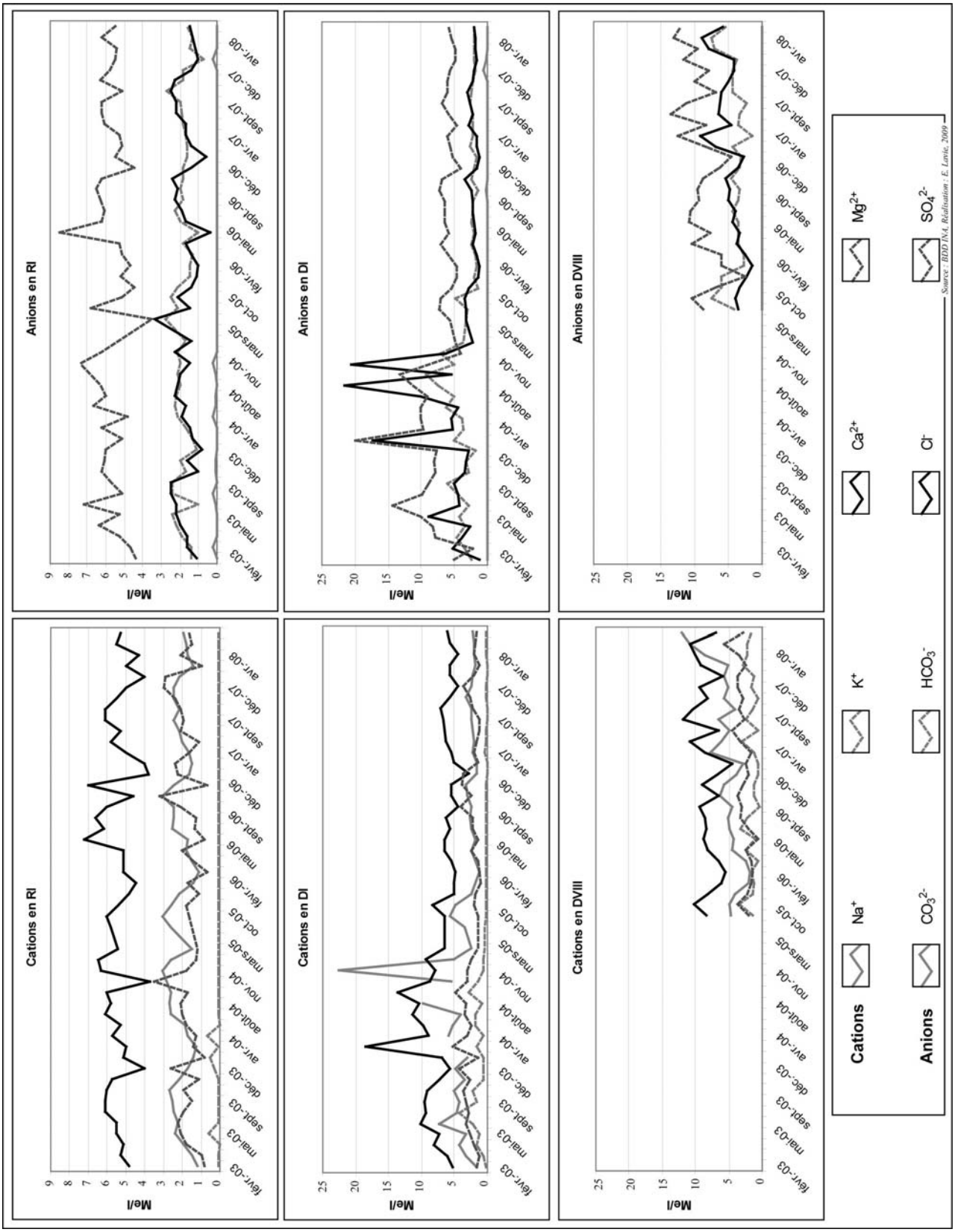
Il semble donc que le chlorure de sodium et le carbonate de sodium contenus dans les produits ménagers soient transportés par les *acequias* jusqu'au canal Cacique Guaymallén. Ceci est confirmé en CII par un profil minéral transformé. Les courbes sont ici systématiquement en phase. Nous pouvons d'ailleurs attribuer cet impact anthropique fort aux effluents domestiques, chargés en chlorures de sodium et en carbonates de sodium. En effet, le chlorure de sodium est principalement présent dans l'eau de javel, utilisée comme antibactérien dans les foyers, et dans le sel que nous consommons et que l'on retrouve dans les urées humaines. Le carbonate de sodium quant-à-lui est principalement utilisé dans les lessives, ce qui explique sa présence dans les effluents domestiques. Il aurait tendance à transformer le profil minéral, le sodium et le chlorure étant des ions dominants en chimie. Notons par ailleurs que l'autre composé principal des lessives est le phosphate, qui augmente considérablement en aval des stations d'épuration (cf. *infra*).

- **Le système industriel du Pescara**

Nous avions observé à l'occasion de notre premier stage à l'INA en hiver 2006, l'impact fort des eaux d'origine industrielle sur la qualité minérale de l'eau à finalité agricole. Bien plus que les activités agricoles, nous avions démontré l'impact fort de la *Zona alcoholera* sur les eaux, dans un rapport de stage ensuite censuré (par qui ?). Ce travail, en partie publié en France (LAVIE, 2007a) démontrait l'inefficacité du Système de dilution du Pescara. De fait, nous allons présenter une partie des résultats à partir de la comparaison des points RI (tête du système oasien), DI et DVIII sur le collecteur Pescara. La *Zona alcoholera* rejetait ses effluents industriels en amont de DI jusqu'en 2004. En octobre 2004, le Système Pescara était inauguré : les effluents industriels sont depuis traités en partie de manière privative par les entreprises de la zone industrielle, puis collectés par un tube souterrain qui les transportent jusqu'à une chambre de mélange. Dans cette chambre, une batterie de pompes dilue ces effluents industriels prétraités à de l'eau fossile souterraine avec de restituer le tout dilué au collecteur Pescara, entre les points DI et DVIII. De fait, les moyennes en DVIII sont calculées sur 2004-2008 et celles de RI et DI sur 2003-2008.

Néanmoins, on observe sur le **Tab. 7** une augmentation des ions d'amont en aval, depuis RI jusqu'à DVIII. Le potassium augmente de manière considérable entre RI et DI, passant l'eau de très bonne à mauvaise qualité ! Le problème est le même entre DI et DVIII où les valeurs ont doublé. La problématique chlorures importe aussi, avec des eaux industrielles de qualité moyenne. Enfin, comme pour les eaux domestiques, les eaux industrielles sont sulfatées, passant de 5,7 meq/l en RI à 9 meq/l en DVIII. Si on observe des relations entre les ions des points RI, CI et CII, les variations du comportement minéral de RI au collecteur Pescara **(Graph. 19)** sont assez lourdes de conséquences.

La première partie du profil en DI, soit avant la mise en place du Système Pescara présente pour les cations comme pour les anions, des pics de concentrations minérales, notamment en calcium, magnésium, sulfates et chlorures, mais aussi en sodium, potassium et bicarbonates (ce qui semble réduit par la différence d'échelle des graphiques consacrés à RI d'une part et à DI et DVIII d'autre part).



Graph. 19 : Les ions dans les points RI, DI et DVIII
Source : données de l'INA

Les activités industrielles étaient responsables de rejets occasionnels, augmentant les quantités de certains minéraux aux dépends d'autres. A titre d'exemple, les augmentations des teneurs en potassium et en sulfate peuvent s'expliquer par la présence de tanneries et de *bodegas* dans la *Zona alcoholera*. En effet, les tanneries « *utilisent et donc rejettent de l'alun, un composé sulfaté double d'aluminium et de potasse* » (LAVIE, 2007a). De même, les effluents vinicoles sont chargés en sulfate de cuivre, utilisé dans certains produits phytosanitaires de la vigne comme la bouillie bordelaise (cf. *supra*). Le potassium peut éventuellement provenir des engrais NPK apportés aux légumes mis en conserve dans cette même zone industrielle.

La qualité de cette eau reçue par les agriculteurs en aval était mauvaise et avec des variations très fortes. Aucun exploitant agricole n'était à l'abri d'un rejet accidentel qui anéantirait la récolte. C'est avant tout pour résoudre ce problème de variation de la minéralisation que le Gouvernement provincial et le DGI ont mis en place le Système de dilution des effluents industriels.

Depuis, on observe deux comportements différents :

- d'une part, en DI, les courbes se sont nettement stabilisées. On n'observe plus de pics et les concentrations moyennes ont baissé. Notez que l'on retrouve certaines similitudes d'avec RI, comme le profil en opposition de phase, entre des courbes de calcium, magnésium et sulfates d'un côté, et les courbes de sodium et de chlorure de l'autre ;
- d'autre part, en DVIII, le profil est proche du profil de DI avant octobre 2004, avec des moyennes fortes mais des variations plus limitées. Le problème qualitatif n'est donc pas totalement réglé, mais le fonctionnement automatique des pompes de dilution – lorsque les eaux du collecteur dépassent certaines concentrations – a grandement limité la présence de pics de pollutions.

A titre personnel, nous confirmons que **ce système nous apparaît comme un gaspillage d'argent public**. L'ouvrage a coûté aux Mendocinos 10 millions de $AR (soit 2,5 millions d'€, valeur 2004) pour un résultat médiocre puisque les analyses en DVIII présentent des concentrations en potassium 16 fois supérieures à RI, il y a 2 fois plus de calcium, 1,5 fois plus de chlorures et de sodium que dans le río Mendoza !

6-1-3- Une pression azotée relativement limitée

« *L'azote est un des éléments essentiels de la vie végétale. Il est absorbé par les racines soit sous forme d'acide nitrique* HNO_3*, ou sous forme de composés ammoniacaux* NH^{4+}*. Ils sont issus de la minéralisation de la matière organique. Certaines bactéries vivant dans le sol convertissent l'ammoniac en nitrites dans des conditions aérobies. Ces nitrites sont ensuite oxydés en nitrates toujours sous conditions aérobies.* » (HOFFMANN et PELLEGRIN, 1996).

Les nitrates sont naturellement présents dans le milieu, et ce jusqu'à des valeurs dépassant parfois 3 mg/l. De fait, on considère qu'il y a pollution anthropique à partir de 5 mg/l et que l'impact de l'homme devient conséquent à partir de 10 mg/l, valeur considérée comme seuil d'alerte pour le milieu. On estime (HOFFMANN et TARRISSE, 2000), que certaines conséquences seront irréversibles pour l'écosystème à partir de ce seuil de 10 mg/l de nitrates NO_3^-. En fait, nous avons suivi la classification de l'Agence de l'Eau qui estime à 2 mg/l la concentration maximale pour une eau de très bonne qualité et à 10 mg/l pour une

eau de bonne qualité. Au-delà, les eaux sont de qualité moyenne (jusqu'à 25 mg/l), de mauvaise qualité jusqu'à 50 mg/l, et de très mauvaise qualité au-delà de ce seuil, considéré comme limite de potabilité en France. Rappelons que pour ce paramètre, la norme de potabilité argentine est moins tolérante (45 mg/l) et que la norme-guide européenne est de 25 mg/l.

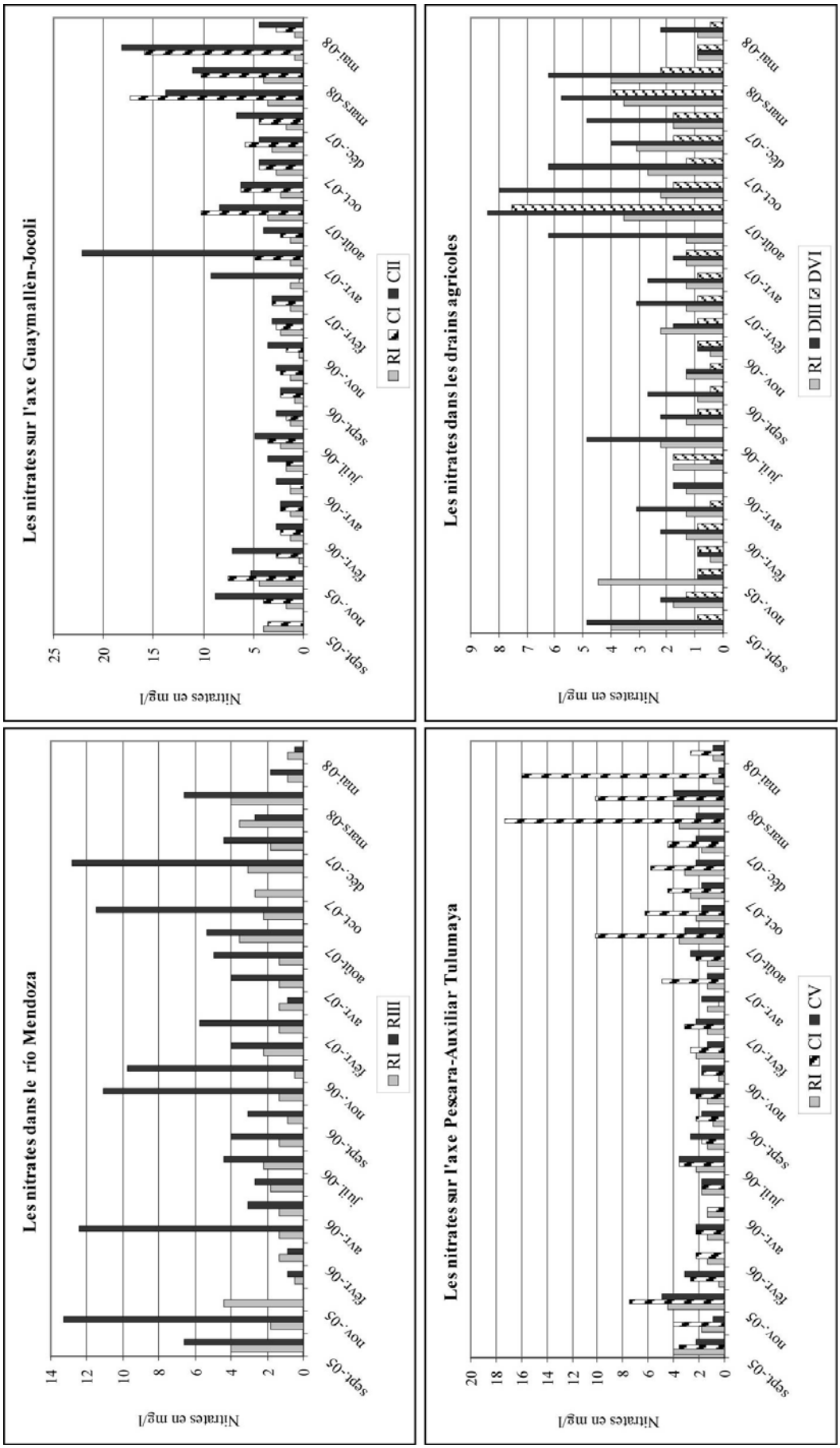
Dans l'évaluation des nitrates, nous disposons de deux études, celle de l'INA et notre base personnelle. En ce qui concerne les données mises à notre disposition par l'INA, quelques points ont fait l'objet d'un suivi régulier, d'autres de prélèvements et analyses ponctuels (entre un et cinq prélèvements en six ans). Nous ne présenterons donc que les résultats sur le long terme. Cela concerne les points RI, RIII, CI, CII, CV, DIII et DVI. Pour ce qui est de nos propres données, nous ne disposons que des résultats des six dernières semaines de suivi[53], il nous est donc impossible de présenter des minima, maxima ou des graphiques permettant une évaluation du comportement saisonnier. La **Fig. 49** ne cartographiera qu'une classification de qualité en fonction des moyennes.

L'analyse des nitrates par l'INA et la FCA n'a débuté qu'en septembre 2005, ce qui est relativement récent. Nous ne disposons donc pas de données de comparaison pour évaluer les modifications des comportements de l'hydrosystème depuis la mise en eau du barrage de Potrerillos (jusqu'à 2004) ou de la mise en place du Système Pescara (octobre 2004).

Néanmoins, nous pouvons, sur deux années et demie, observer les profils des nitrates **(Graph. 20)**, avec des comparaisons amont aval dans le río Mendoza, dans le système Guaymallén-Jocoli et dans le système Tulumaya-Pescara. De même, si en général quand l'INA doit faire des économies d'analyses, elle les fait sur les drains, ici deux drains ont été mesurés en continu.

De fait, dès la tête du système oasis (point RI), on observe de légères variations de concentrations, ne dépassant pas les 4,5 mg/l. En RI, les concentrations sont donc totalement naturelles. **Le profil « en vague »** que nous avons pu noter sur tous les graphiques précédents se retrouve ici. L'évolution de la conductivité électrique révèle le fonctionnement du cycle végétal. Il en va de même pour les nitrates, composants de la conductivité. **Les valeurs baissent à partir d'octobre-novembre (le réveil végétal), et raugmentent dès la fin des récoltes en février**.

[53] : Les nitrates nous ont posé de nombreux problèmes matériels. D'abord, nous sommes partie avec très peu de tubes à réaction en 2006, puisque les réactifs reçus par le LGPA ne correspondaient pas à l'appareil fourni. L'entreprise allemande nous a renvoyé les réactifs adéquats, mais trop tard. Nous n'avons que très peu de résultats pour 2006, ce qui rend les résultats caducs. Mais le plus gros inconvénient est arrivé l'année suivante. Les résultats de nos analyses en 2007 ne correspondaient en rien aux résultats de l'INA pour les années précédentes. Les quantités de nitrates détectées par l'appareil étaient en deçà de 0,5 mg/l de nitrates ! Nous avons refait l'étalonnage de l'appareil à de nombreuses reprises, disposant de 9 solutions-étalon provenant des 9 boites reçues. Les étalonnages successifs ne changeaient rien au problème. Le mode d'emploi de l'appareil spécifiait également que les solutions-étalon étaient constituées d'eau distillée, et que l'utilisateur qui manquerait de solution pouvait utiliser de l'eau distillée… ce que nous avons fait. L'étalonnage des six dernières semaines de suivi a de fait été réalisé avec de l'eau distillée, et nos résultats sont égaux à ceux de l'INA (analyses réalisées par la FCA). A 0,5 mg/l de nitrates près, tous nos résultats correspondent, pour les 2 journées et les 7 points communs. Nous avons donc fait le choix de ne présenter que ces 6 derniers résultats par point de mesure.



Graph. 20 : Les nitrates dans les points de suivi de l'INA
Source : d'après la base de l'INA

En RIII, soit en aval de l'oasis, après le rejet des effluents domestiques de la station d'épuration de Paramillo, le profil n'est plus en vague, mais **multimodal** (en pics). Ces modes correspondent généralement au printemps ou à l'automne, mais aucune généralité ne peut visiblement en être dégagée. Ce profil multimodal, en inadéquation avec le cycle naturel de l'azote, peut être interprété comme le signe d'une pollution d'origine anthropique. La station d'épuration de Paramillo semble être le responsable désigné, en absence d'autre source plausible, à moins que l'exsurgence de la nappe phréatique en amont de RII puisse apporter des nitrates de manière irrégulière. Sans mesure en RII, nous ne pouvons pas répondre à cette hypothèse.

En ce qui concerne l'impact urbain, le profil RI-CI-CII nous présente quelques vagues déjà observées en RI, mais aussi une augmentation quasi-systématique des concentrations en nitrates d'amont en aval. L'agglomération (située entre RI et CI) et la station d'épuration de Campo Espejo (entre CI et CII) semblent jouer un rôle. En effet, l'azote est avant tout utilisé par l'homme comme engrais, agricole bien sûr, mais aussi domestique. Les valeurs mesurées en nitrates dans la nappe phréatique (cf. *infra*) confirmeront d'ailleurs l'impact du secteur urbain sur la qualité de l'eau, bien supérieur à l'impact agricole.

Mais si l'augmentation d'amont en aval est à noter, nous devons observer deux choses : d'abord que **l'impact est relativement limité**. En effet, avec des moyennes de 4,7 mg/l pour CI et 6,7 mg/l sur CII, on peut conclure à une pollution par l'azote, mais ce n'est pas une catastrophe sur le plan écologique. De plus, ces engrais sont assez vite absorbés par les plantes irriguées par la suite. Ensuite, les valeurs augmentent d'un coup depuis mars 2007 jusqu'à avril 2008. Le fait que cette augmentation soit soudaine et sur une année exactement nous interroge. Si RI et RIII avaient suivi le même profil, nous aurions de suite pensé à un changement d'appareil ou à un étalonnage douteux. Or, ces brusques augmentation et baisse ne se vérifient que dans les canaux CI, CII et CV et dans les drains. Que les trois points CI, CII et CV, alimentés depuis le canal Cacique Guaymallén suivent le même profil s'explique aisément. Mais si le point DIII est en aval de cette même zone 4, ce n'est pas le cas de DVI, localisé dans le secteur alimenté par le canal San Martín, ne recevant aucune eau d'origine urbaine. Est-ce une question de débit ? Aucune explication ne s'offre à nous.

Enfin, au regard de la comparaison RI-CI-CV. On constate que le point CV, qui reçoit pourtant les eaux du canal Pescara, est moins pollué que CI (2,2 mg/l pour CV, contre 4,1 mg/l pour CI), pourtant sur le même canal, mais en amont.

Nos rares analyses révèlent sur le collecteur Pescara (DVIII, **Fig. 49**) une pollution moyenne à l'azote (14,5 mg/l de nitrates en moyenne), une pollution notable en CI (9,2 mg/l) et une pollution très limitée en CV (4,2 mg/l). De fait, ces deux études pourtant réalisées à des périodes et avec des fréquences différentes montrent les mêmes résultats en termes de comparaison amont-aval, même si les moyennes sont plus hautes pour notre suivi.

La pollution en nitrates mesurée en CI et en DVIII disparait (ou s'atténue beaucoup) en CV. CV n'étant alimenté en eau que via CI et DVIII, **la dilution est une hypothèse tout de suite écartée**. L'absorption de l'azote par la végétation reste la seule hypothèse valable. En effet, en ce qui concerne la pollution à l'azote, la distinction entre les canaux imperméabilisés et ceux colonisés par la végétation prend tout son sens. Le canal Cacique Guaymallén est en partie imperméabilisé depuis RI jusqu'à CI (en réalité, neuf km sur trente-six seulement). Mais les rives non imperméabilisées sont nettoyées régulièrement par les agents du DGI. Il n'y a donc pas d'installation pérenne de la végétation, ce qui explique l'augmentation des concentrations en nitrates entre l'amont du canal (RI) et l'aval (CI), soit entre l'amont et l'aval de l'agglomération.

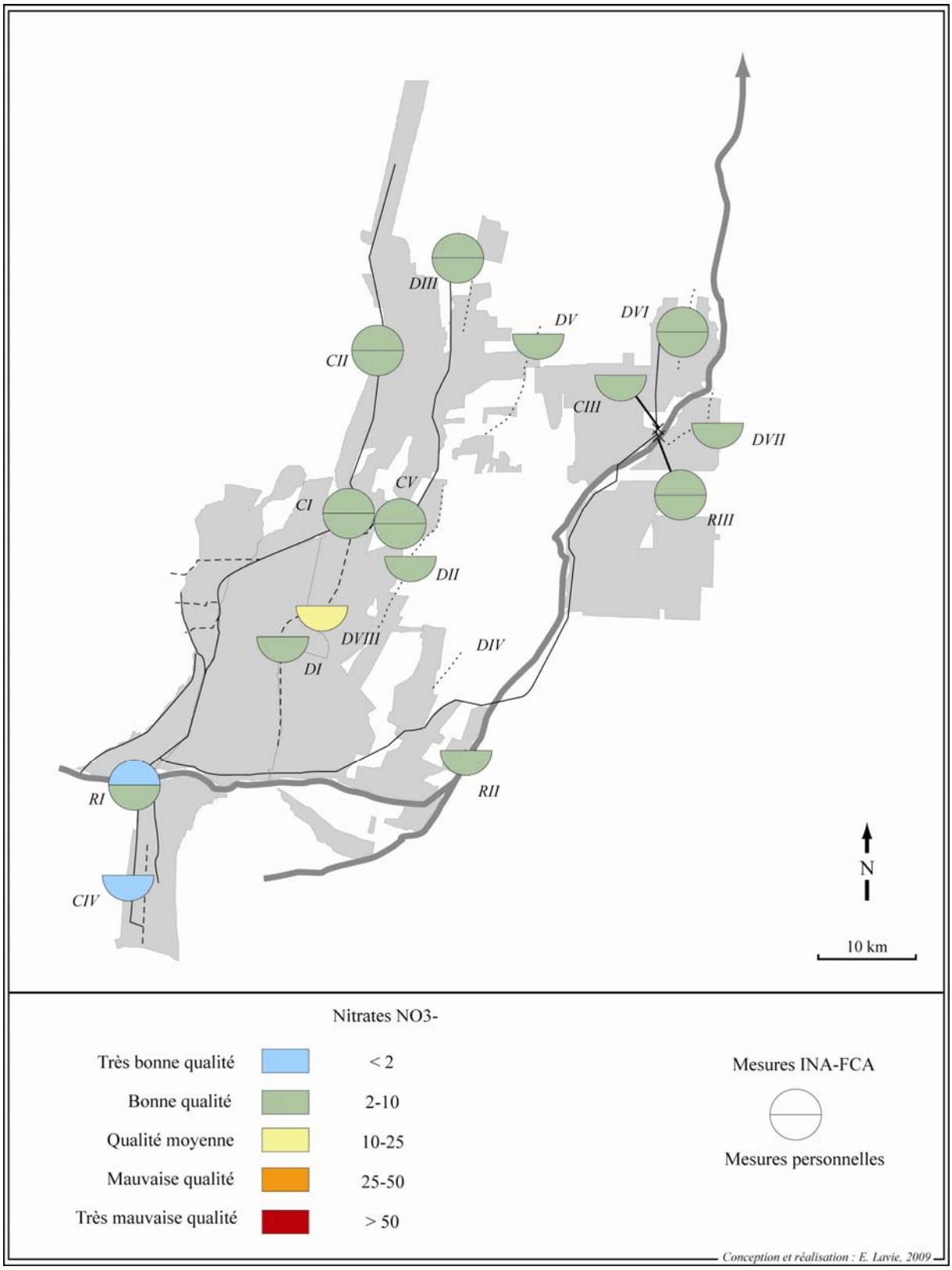


Fig. 49 : Classement de qualité des nitrates
Sources : Données de l'INA et suivi personnel

A l'inverse, à partir de la division du canal Cacique Guaymallén (au niveau du point CI) en deux branches (Jocoli, point CII et Auxiliar Tulumaya, point CV (cf. *supra*)), les canaux sont en terre. Si sur le Jocoli, les berges sont bien nettoyées, avec quelques parties

imperméabilisées, l'Auxiliar Tulumaya est lui encadré d'une végétation rivulaire relativement dense. Cette végétation semble de fait jouer un rôle d'épurateur des nutriments nitrates dans le canal.

Enfin, les drains DIII et DVI, situés dans deux parties déconnectées du réseau d'irrigation superficiel présentent des profils similaires : « des vagues » agrémentées d'une brusque augmentation les mêmes mois que les canaux. Néanmoins, les valeurs sont assez basses pour des drains d'origine agricole. De nouveau, le faible écoulement ralentit les eaux et la végétation rivulaire semble favoriser une épuration des nitrates d'origine agricole chargés dans l'eau d'irrigation.

Le classement qualitatif des nitrates dans le réseau superficiel étudié met de fait en évidence une relative bonne qualité azotée. A l'exception du canal Pescara, affecté par des pollutions industrielles, les sites analysés présentent des concentrations moyennes inférieures à 10 mg/l. Par ailleurs, la végétation rivulaire est partie prenante de cette bonne qualité générale, puisqu'il apparaît qu'elle participe à l'épuration des nitrates dans les eaux.

6-1-4- Une pression phosphatée diffuse et très importante

« *Le phosphore est présent dans les eaux naturelles presque essentiellement sous forme de phosphate. Trois types de phosphates sont rencontrés : les orthophosphates, les phosphates condensés (pyrophosphates, métaphosphates, polyphosphates) et les phosphates liés organiquement. Bien que les phosphates soient essentiellement pour la croissance des végétaux, ils sont en général en quantité très faible dans les eaux (moins de 0,1mg/l) car réutilisés assez rapidement. (…) Des concentrations élevées dans les cours d'eau entraînent aussi une eutrophisation de ceux-ci par développement anarchique des algues (les phosphates étant le facteur conditionnant la croissance des végétaux). Le développement augmente encore s'il y a pollution par les nitrates* » (HOFFMANN et PELLEGRIN, 1996).

Le chiffre de 0,1 mg/l comme seuil de pression anthropique est fréquemment avancé (*ibid*.), mais les normes de potabilité (bien que peu nombreuses dans le monde concernant ce nutriment) sont supérieures. A Mendoza, le *Código Alimentario Argentino* (Code alimentaire argentin) n'a pas fixé de limite pour les phosphates. Le seuil de 1 mg/l de phosphore a néanmoins été retenu, ce qui est relativement haut. L'EPAS, organe responsable de l'eau domestique à Mendoza, n'a pas mis les phosphates ni le phosphore dans sa grille de contrôle de qualité des eaux (Document EPAS sur les paramètres analyses, www.epas.gov.ar). Les Agences de l'Eau en France ont fixé la limite de potabilité de l'eau à 0,3 mg/l, soit trois fois le seuil de pression anthropique.

Nous disposons pour ce qui est de la pollution phosphatée, des deux mêmes bases que précédemment pour les nitrates, soit les analyses de la Faculté d'Agronomie pour l'INA, sur les points RI, RIII, CI, CII, CV, DIII et DVI, et de nos analyses sur les 16 points, mais avec un suivi complet sur l'hiver 2006 et le printemps 2007.

Les résultats présentés en **Fig. 50** démontrent **une gravité sans précédent pour les autres polluants**. Tous les points mesurés par l'INA présentent des moyennes au-delà de 0,5 mg/l de PO_4^{3-}. En CI, CII, et RIII, depuis septembre 2005, date de début de ces analyses en phosphates, pas une seule fois les résultats sont en deçà de 0,5 mg/l, soit 5 fois le seuil de pollution ! **A l'exception du point RI, tête du système oasis, pas une mesure n'a révélé des valeurs inférieures à 0,25 mg/l** (seuil de la classe « mauvaise qualité », SEQ-Eau).

Pour ce qui est de nos propres analyses, les résultats sont équivalents. Si certains dates ont présenté des valeurs de très bonne, bonne ou moyenne qualité, la grande majorité des analyses s'avérait appartenir aux classes orange et rouge (mauvaise et très mauvaise qualité).

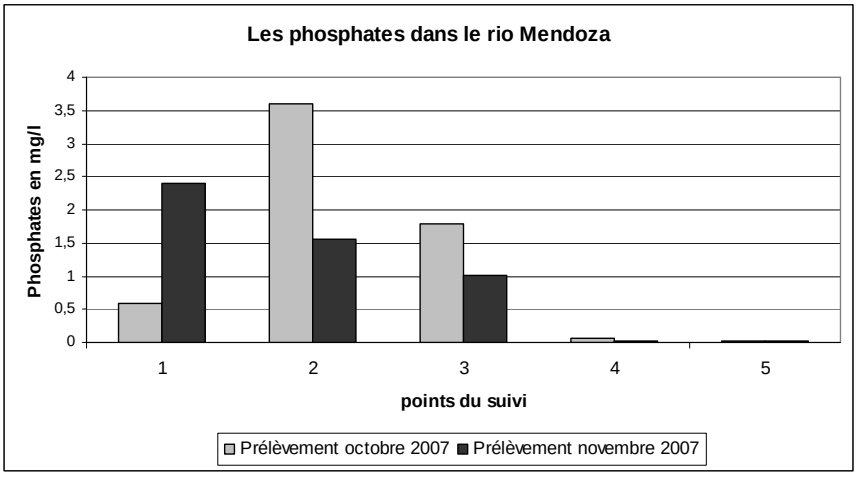
Trois conclusions principales se dégagent ici :

- **une pollution déjà importante en RI ;**
- **une diffusion de la pollution dans toute l'oasis ;**
- **une très grave contamination des points CI, CII, RIII et DVIII.**

- **Une pollution des eaux dans le río Mendoza en amont de l'oasis**

On constate au niveau du point RI, une meilleure qualité phosphatée que dans les autres points du suivi, bonne qualité toute relative lorsqu'on observe précisément ce point. En effet, selon les données de l'INA, avec un minimum de 0,1 mg/l, une moyenne de 0,5 mg/l et un maximum de 0,9 mg/l, les chiffres « flirtent » à chaque fois avec le seuil de la classe supérieure. D'après notre suivi, le minimum est nul, la moyenne de 0,2 mg/l et le maximum de 0,55 mg/l. De fait, cette rivière connaît une pollution d'origine anthropique, toute modérée soit-elle. Afin de comprendre l'origine et le comportement de ce point, nous avons effectué deux séries d'analyses (cf. méthodologie en *supra*) de la qualité de l'eau du río sur cinq points : en amont et en aval d'Uspallata, sur les rives amont du lac de Potrerillos, à Alvarez Condarco, et au barrage de Cipolletti (RI).

Les courbes présentées sur le **Graph. 21** ne sont pas exactement parallèles. Si en octobre les valeurs sont moyennes avant Uspallata (point 1) et très hautes après la confluence de l'arroyo Uspallata avec le río Mendoza (point 2), en novembre, les valeurs sont déjà très hautes avant la confluence. Si en octobre le río dépassait 6 fois la valeur naturelle (0,1 mg/l), en novembre il la dépassait 24 fois ! Ceci signifie qu'à ce niveau de la rivière, la pression anthropique existe déjà et il est probable que les villages de haute montagne n'aient pas de système d'assainissement très efficace.



Graph. 21 : Suivi amont-aval des phosphates dans le río Mendoza

Par ailleurs, selon Gabriela VICENCIO, responsable du service Environnement de la municipalité de Las Heras, le voisinage de ces villages de haute montagne a porté réclamation auprès des services municipaux : en effet, les habitants auraient surpris des camions citernes de collecte des boues domestiques des fosses septiques en train de rejeter ces effluents directement dans le río Mendoza.

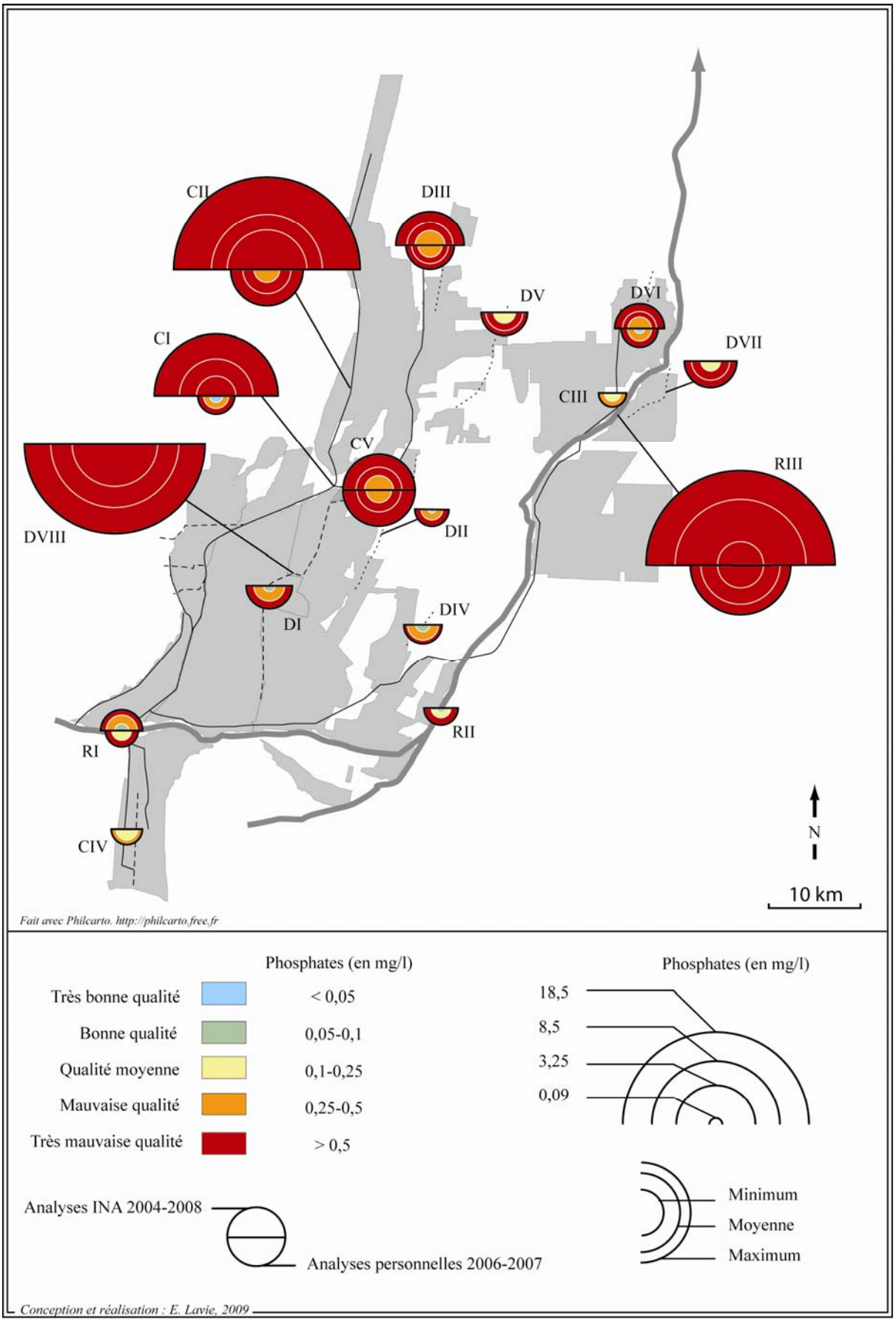


Fig. 50 : Cartographie de la qualité phosphatée de l'eau d'irrigation
Sources : donnée de l'INA et données personnelles

Les éléments de preuve sont certes minces, il faut cependant prendre en compte cette hypothèse. Au niveau du point 2, la pression phosphatée augmente beaucoup en octobre, jusqu'à atteindre 3,6 mg/l, soit 36 fois la valeur naturelle. En revanche, en novembre, même si la concentration est importante (1,56 mg/l), elle est plus basse qu'au point précédent. L'influence de l'arroyo Uspallata, drain naturel du village d'Uspallata (municipalité de las Heras)[54], est donc à prendre en compte dans cette pollution anthropique du río Mendoza aux phosphates. En résumé, il apparaît **que le réseau privatif d'assainissement révèle une efficacité assez basse en haute et moyenne montagne**.

Par chance, à mesure que le río Mendoza poursuit son parcours, la concentration en phosphates baisse aussi, jusqu'à atteindre 0,06 mg/l à Alvarez Condarco (point 4), et 0,03 mg/l en RI (il se trouve qu'à ces deux dates, il n'y avait que très peu de phosphates en RI (point 5 ici)). La végétation des Andes sèches est trop rachitique pour jouer un rôle épurateur important. De fait, nous proposons comme hypothèse que la baisse des concentrations dans le río vient de la dilution des polluants par les eaux apportées par les affluents. Il est aussi possible que le barrage de Potrerillos permette une certaine lixiviation des minéraux au fond du lac, dans les boues.

Néanmoins, cette étude a été faite au printemps, au moment où le débit du río est important (débâcle) et que la pression anthropique n'est pas très forte. On peut alors penser que les concentrations en phosphates sont plus fortes l'hiver où les débits baissent et que les camions attendent par centaines que le tunnel international ouvre (il ferme les jours de neige) ou l'été quand la saison touristique est à son maximum[55].

Malgré tout, si la rivière paraît supporter la pollution aujourd'hui, avec une capacité de dilution importante, rien ne prouve qu'avec la baisse des débits, conséquence annoncée du réchauffement climatique, **la situation n'empire pas dans les années à venir**.

En résumé, en cherchant à interpréter l'origine des phosphates en RI, nous avons effectué des analyses dont les résultats présentent une quasi absence de ce polluant sur ce point. Néanmoins, ces analyses nous ont permis de mettre le doigt sur une très plausible inefficacité du système privatif d'assainissement dans le bassin d'alimentation du río Mendoza.

- **Une pollution diffuse à l'échelle de l'oasis**

La cartographie **(Fig. 50)** présente une diffusion du problème de pollution aux phosphates dans toute l'oasis. Nos résultats, comme ceux de l'INA démontrent des moyennes fortes. Au mieux, les sites présentent une qualité moyenne (RI, RII CIII et CIV), mais douze points sont en mauvaise ou très mauvaise qualité. Il n'y a pas de distinction faite entre la rivière, les canaux ou les drains. Néanmoins, à l'exception de certains points très problématiques (cf. § suivant) qui ont un profil temporel multimodal, la majorité des points présentés a un profil temporel « en vagues » **(Fig. 51)**. Les vagues sont identiques aux nitrates ou à minéralisation. Les valeurs baissent au printemps pour raugmenter en automne, le **rôle de la végétation**, déjà abordé, semble ici primordial (cf. *supra*).

[54] : Dans son circuit de montagne, depuis sa naissance à Punta de Vacas, jusqu'au barrage de Compuertas, le río Mendoza est encadré des municipalités de Las Heras (rive gauche au nord) et de Luján de Cuyo (rive droite, au sud).

[55] : Nous n'avons pu réaliser de prélèvements en 2009, au moment du rallye « Dakar » dont le circuit passait par cette route transandine entre Mendoza et Valparaíso. La population présente à Uspallata sur deux jours (8-9 janvier 2009) pour une capacité d'assainissement très limitée a certainement dû influer le comportement qualitatif de la rivière.

Le caractère diffus de la pollution phosphatée a déjà été observé par le LGPA dans de nombreuses études (AULY *et al*., 2002, PAULAIS, 2003, HOFFMANN *in* SALOMON et PRAT, *Dir*., 2004 , HOFFMANN, 2005, LAVIE, 2005, CATTANEO *et al*., 2008…). Nous l'avons d'ailleurs généralement associé au mauvais entretien des fosses septiques privatives. Lorsque la pollution aux phosphates est localisée, l'hypothèse la plus probable est celle d'un rejet en aval de station d'épuration (cf. § suivant). En effet, les effluents domestiques, qu'ils soient traités de manière privative ou collective, sont assez chargés en phosphates. Les excréments et certaines lessives et détergents sont les premiers responsables des pollutions aux phosphates. C'est aussi pour ces raisons que les zones d'élevages intensifs sont généralement polluées. Mendoza n'étant pas une province d'élevage, la responsabilité en incombe à trois acteurs principaux : les foyers domestiques et dans une moindre mesure certaines industries ou les agriculteurs utilisant des engrais de type NPK.

- **Quelques sites très pollués**

Enfin, nous pouvons noter la surreprésentation de quelques points sur la **Fig. 50**. La valeur-guide de 0,5 mg/l, seuil de très mauvaise qualité, est largement dépassée, souvent multipliée. Trois secteurs sont concernés :

- Le secteur Cacique Guaymallén-Jocoli. Les moyennes dont dispose l'INA sur 2005-2008 démontrent des augmentations extraordinaires depuis RI jusqu'à CII. Entre l'amont et l'aval du Canal Cacique, les valeurs moyennes passent de 0,5 à 2,8 mg/l, soit une multiplication par 5. Mais cette augmentation se poursuit entre CI et CII, passant de 2,8 à 6,4 mg/l, soit un doublement des quantités. De RI à CII, les quantités ont donc été décuplées ! Nos résultats sur l'hiver 2006 et le printemps 2007 sont plus réduits, mais le développement des phosphates s'observe également, passant de 0,2 à 0,3 mg/l de RI à CI, puis à 1,2 mg/l en CII, soit multiplication par 6 au total ;

- Le secteur Pescara. L'INA n'a mesuré que le point CV, dont la pollution est plus limitée qu'en CI, pourtant en amont sur le même canal Auxiliar Tulumaya. C'est pourquoi nous n'utiliserons que nos propres données, d'ailleurs très proches de celles de l'INA pour CV **(Fig. 50)**. Nous disposons sur le collecteur Pescara de deux points, distants d'1 km, situés en amont et en aval de la *cámara de mezcla* (chambre de dilution des effluents industriels) du Système Pescara. Nous avons mesuré sur les deux saisons du suivi, une moyenne de 0,49 mg/l en DI, contre 8,5 mg/l en DVIII, soit une multiplication par 17 ! Il nous apparaît cependant important de préciser le problème méthodologique et technique que nous avons eu pour ce point, qui permet de relativiser le chiffre de 8,5 mg/l. *La spectrocolorimétrie des phosphates se fait par coloration de l'eau dans les bleus. Or, les eaux du collecteur sont « naturellement » noires ou grises. L'appareil de mesure semblait tout de même détecter la présence de phosphates, au-delà de son seuil de détection. Nous avons donc dû diluer une à deux fois l'échantillon avec de l'eau distillée qui en théorie rend l'eau moins turbide et colorée. Nous nous étions déjà posé la question pour la spectrocolorimétrie des nitrates, mais dans une moindre mesure. Pour les phosphates, les valeurs sont tellement fortes qu'il convient de rester prudente. Néanmoins, l'INA a effectué une seule mesure pour ce point, en septembre 2005, et il a détecté 9,76 mg/l, ce qui reste dans notre gamme de valeurs.*

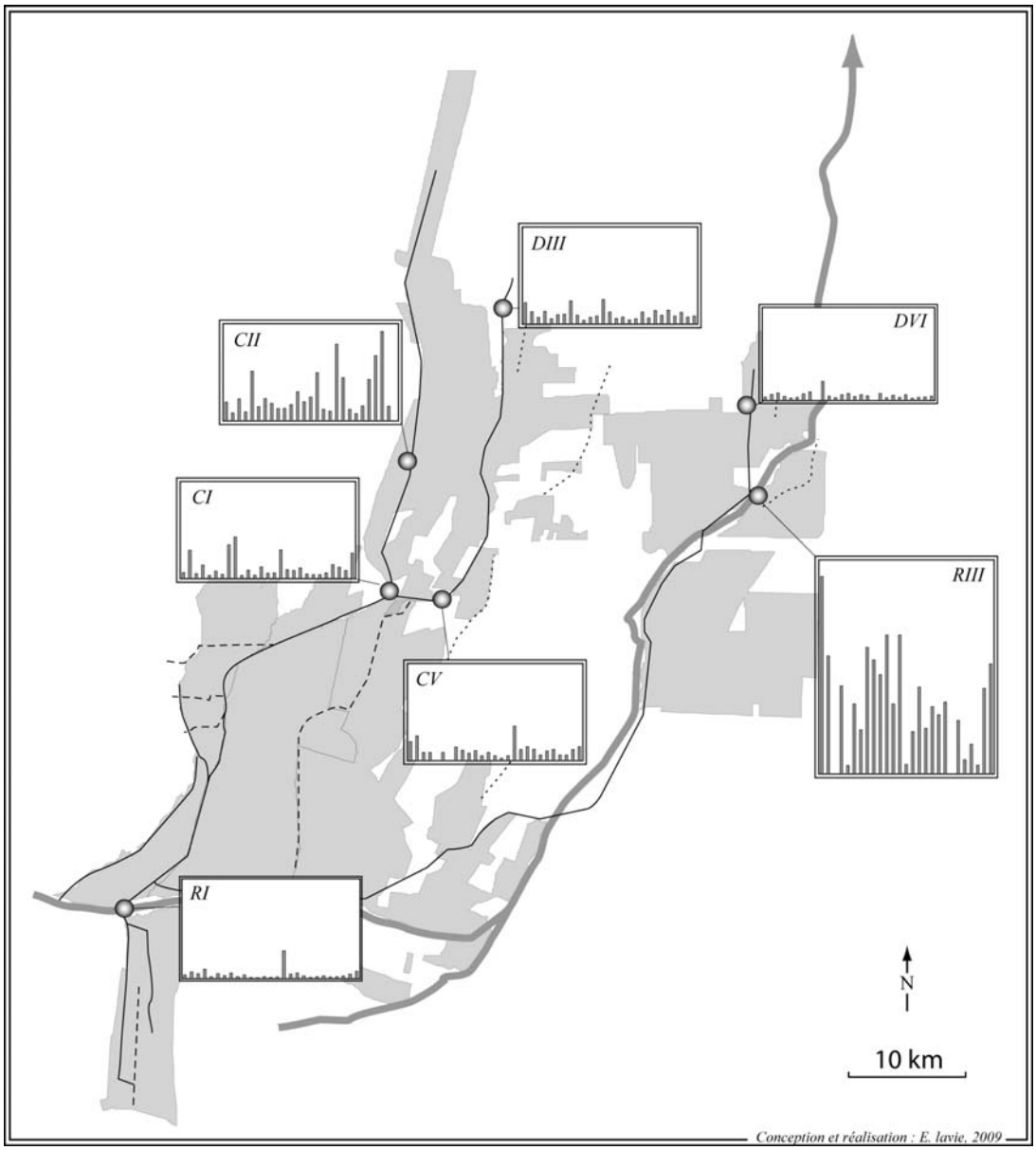


Fig. 51 : Variations temporelles des phosphates dans les points suivis par l'INA, 2003-2008
Source : données INA

- Le río Mendoza en partie aval. Nous avons mesuré en 2006-2007 une moyenne de 0,2 mg/l en RII pour 3,25 mg/l en RIII, soit 16 fois plus ! l'INA obtient même une moyenne de 8,9 mg/l ! Néanmoins, là encore, il convient de nuancer notre propos. Nous ne savons comment sont analysés les phosphates par la Faculté d'Agronomie, personnellement, nous utilisons la spectrocolorimétrie. Or, si le collecteur Pescara est lui-même teinté de noir ou gris, le río Mendoza en RIII est teinté de vert. Le vert étant composé de bleu, nous préférons relativiser notre propre mesure. Bien entendu, les valeurs de l'INA nous confortent dans la pollution aux phosphates entre RII et RIII.

Au regard des chiffres présentés sur ces trois secteurs Cacique-Jocoli, Pescara et río Mendoza-aval, il s'avère que la pollution aux phosphates, bien que **diffuse dans l'oasis, peut**

aussi être très concentrée dans certaines zones. Ces trois zones ont un point commun : le profil temporel est multimodal **(Fig. 51)** et la source n'est pas agricole.

D'abord, le profil ne suit pas les vagues des autres sites dont la pollution est plus modérée. Ces sites très pollués semblent être soumis à des pics très forts, des rejets ponctuels signes d'une pollution anthropique.

Ensuite, on peut proposer l'hypothèse de deux sources de pollution : le canal Pescara via des **effluents industriels** et les rejets des **effluents domestiques**. Cela concerne le canal Cacique Guaymallén (entre RI et CI) par efficacité réduite de l'assainissement, et le canal Jocoli (CII) et le río Mendoza (RIII) en aval des rejets des stations d'épuration. Les concentrations excessives en phosphates dans les points CII et RIII ne peuvent être attribuées qu'aux rejets des stations d'épurations. De plus, il fut question de fermer le drain qui conduisait les eaux de la station de Campo Espejo vers le canal Jocoli, et de renvoyer cette eau vers le désert, pour ne pas qu'elle pollue la zone 4. Or, les agriculteurs ont insisté pour garder cette eau, chargée en nutriments NPK (Mario LURASCHI, directeur de la police de l'eau au DGI, communication personnelle).

Enfin, les points DVIII, CII et RIII, déjà pointés du doigt en ce qui concerne les bactéries et les solides, sont les premiers concernés par la pollution par les phosphates. Les bactéries et les phosphates auraient **la même source domestique**. Par ailleurs, il conviendra de rappeler le rôle de la végétation. En effet, nous avons observé à de nombreuses reprises l'influence du réveil végétal et des récoltes sur le comportement minéral ; il faudra aussi noter que, comme pour les nitrates, la baisse des concentrations en phosphates entre CI et CV peut très certainement être attribuée à l'épuration par la végétation rivulaire.

En conclusion, la minéralisation des eaux de surface a révélé une moindre influence de la dilution pour ce paramètre, et le grand rôle joué par la végétation. L'épuration des eaux de surface par la végétation et la diffusion de ces minéraux posent-elles des problèmes de pollution plus en profondeur ? Les aquifères sont-ils protégés de la pollution minérale ? C'est ce que nous allons tenter d'analyser par la suite.

6-2- La minéralisation des aquifères

Les aquifères constituent le troisième horizon hydrologique après le réseau superficiel et l'eau contenue dans les sols. Par flux vertical ou confinement, les eaux de surface et du sol s'infiltrent en profondeur dans les trois aquifères. Rappelons que le piémont andin possède sous ses glacis un aquifère libre en amont (de Cacheuta à l'anticlinal du Carrizal) et un aquifère semi-confiné à l'est de l'anticlinal. Cet aquifère semi-confiné se compose de trois niveaux, le niveau phréatique jusqu'à -80 m, le niveau intermédiaire (-100 à -180 m) et le niveau profond (>-200 m) (cf. *supra*, partie I).

Les eaux souterraines constituent une réserve estimée à quelques 22 000 km², soit à peu près 8 000 hm^3 économiquement exploitables ; c'est dire l'intérêt que constitue cette ressource pour la survie de l'oasis. On lit souvent dans la bibliographie locale que le premier niveau (phréatique) est inapte au pompage, puisque trop pollué (plus précisément trop salin). Les sels dissous n'étant pas propices à l'irrigation et l'AEP nécessitant des eaux peu minéralisées, on est amené à se demander si le niveau phréatique est contaminé et si les autres niveaux constituent un milieu qualitativement irréprochable.

Pour ce faire, nous disposons de données sur la conductivité électrique, et sur les nitrates, phosphates, le fluor et le bore, et ce à des échelles spatiales et temporelles distinctes.

6-2-1- Une conductivité électrique inquiétante

Les aquifères se rechargent en grande partie par les pertes du río Mendoza et des canaux d'irrigation ou autres drains. Un tiers de la recharge a lieu dans l'aquifère libre, à l'ouest de l'agglomération, là où la minéralisation est la plus basse (LLOP, 2002). Le reste de l'alimentation est permis par le río en aval du barrage de Cipolletti et par l'infrastructure d'irrigation.

Or ces drains lavent les sols riches en minéraux, surtout en sels, et transportent ces éléments de pollution des eaux. Les pertes en eau de ces drains et collecteurs non imperméabilisés permettent une infiltration en profondeur ce qui pollue les différents horizons souterrains, depuis le niveau phréatique jusqu'aux aquifères plus profonds. Selon LLOP (2002), le río Mendoza, à son entrée en plaine de Cuyo, contient en moyenne 0,75 mg/l de sels, pour une conductivité électrique (CE) oscillant entre 588 et 1130 µS/cm, soit un bruit de fond relativement bas pour une rivière de piémont. Ce bruit de fond, bien qu'assez variant, reste sous le seuil des 2500 µS/cm et les eaux sont ainsi de bonne qualité minérale. Néanmoins, les seuils de qualité sont plus stricts pour les eaux souterraines, qui ont bénéficié d'un filtrage des pollutions lors de leur infiltration. En l'occurrence, les travaux publiés par l'INA (ALVAREZ, 1995 et LLOP, 2002) et la Faculté d'Agronomie (MASTRANTONIO, 2006) révèlent des conductivités électriques préoccupantes dans les aquifères de Mendoza.

- **Les trois niveaux d'aquifère sont concernés**

Amilcar ALVAREZ (1995) a réalisé un suivi de la conductivité des eaux souterraines depuis 1978. Nous ne connaissons pas la représentativité des points au niveau temporel, mais la représentativité spatiale est importante puisqu'au total 380 puits ont été analysés (cf. *supra*). Ces résultats sont les seuls disponibles pour les trois niveaux d'aquifère **(Fig. 54)**. Ils révèlent une contamination minérale relativement conséquente du niveau supérieur, en particulier au nord de l'oasis et dans ce que l'on nomme à Mendoza la « zone centrale », à l'est, entre les deux rivières, avec des conductivités dépassant le seuil de 4000 µS/cm en 1992. La majorité des plantes ne supporte pas des conductivités supérieures à 2000 µS/cm (cf. *infra* Partie IV), même les plus résistantes, ce qui interdit aujourd'hui l'exploitation de ce premier niveau.

De manière plus précise, les ingénieurs de l'INA ont travaillé sur cet aquifère phréatique, sur les deux zones les plus à risques, à savoir la zone d'exsurgence (secteur vertical sur les **Fig. 54 a** et **b**) et le secteur de Lavalle (secteur au nord-est, sur ces mêmes figures). Ainsi, à partir des données de 2002 et 2004, ORTIZ MALDONADO *et al.* (2004) ont présenté une série de statistiques et deux cartographies de la conductivité électrique sur ces deux secteurs. Il résulte que 2 % de la surface contiennent des valeurs en CE inférieures à 2000 µS/cm et que 90 % dépassent 4000 µS/cm. Dans ce secteur, 90 % des eaux sont de très mauvaise qualité et seules 2 % sont aptes à irriguer. Or la zone d'exsurgence est la zone de la ceinture verte maraîchère de Mendoza. Dans l'ensemble, on remarque une légère augmentation de la CE entre 2002 et 2004, notamment à Lavalle. Enfin, ces prélèvements ont été faits à des dates proches (séparation de deux ans seulement), sans que nous connaissions la saison des prélèvements.

Il est intéressant d'observer sur ces deux cartes, bien que partielles puisqu'elles ne représentent pas toute l'oasis, que le **gradient sud-ouest – nord-est** que nous avions noté dans la minéralisation des sols incultes, apparaît assez nettement là aussi. Nous pouvons cependant regretter la plus faible fréquence spatiale des piézomètres au nord-est de la zone étudiée. Quand la représentativité des points baisse, les superficies affectées sont à observer avec un certain recul.

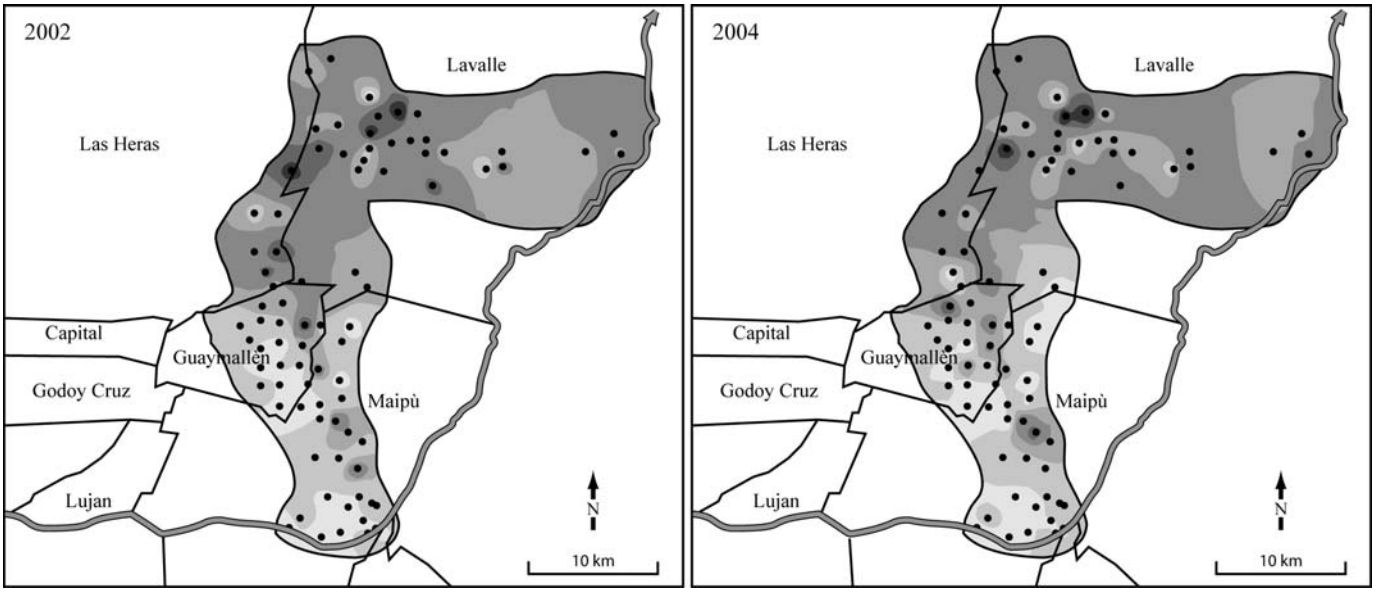


Fig. 52 a et b : Superficies affectées en fonction des différents rangs de CE de l'eau phréatique (<80 m)

Les valeurs s'étendent de 2 000 µS/cm pour le gris le plus clair, à 4 000 µS/cm pour le plus foncé. Nous ne disposons pas de la légende complète. Les points noirs représentent les piézomètres.
Source : ORTIZ MALDONADO *et al.*, 2004)

Armando LLOP (2002) a également présenté des travaux spécifiques sur le second niveau de l'aquifère **(Fig. 53)**. D'une manière générale, celui-ci connaît une forte minéralisation, avec des tendances à la contamination à l'est, dans la zone dite « centrale ». La partie de cet aquifère situé en rive gauche du río Mendoza est encore apte à l'irrigation dans sa partie ouest. Un traitement pour l'AEP est aussi envisageable. Il est par ailleurs intéressant d'observer la progressive augmentation de la conductivité électrique en moins de dix ans, ce qu'on ne peut attribuer **qu'à l'action humaine** puisque naturellement, un aquifère ne peut pas se minéraliser aussi rapidement.

Quant au troisième niveau, même s'il est à regretter que l'ouest de l'aquifère n'ait pas subi d'analyses, il est encore protégé de la pollution en rive gauche du río Mendoza, mais son exploitation est extrêmement coûteuse et seuls quelques grands domaines peuvent se permettre de construire des forages de 200 m de profondeur. De ce fait, **la minéralisation du second niveau, principal pourvoyeur d'eau souterraine dans l'oasis, est inquiétante**. Inquiétante pour l'agriculture qui à défaut d'autres eaux, irriguera avec celle-ci, et abaissera les rendements, salinisera encore les sols… Mais aussi inquiétante pour l'AEP puisque sur la rive droite du río (zone centrale, secteur de Junín), l'AEP se fait via les Opérateurs de Gestion Communautaire, strictement par eau souterraine.

Dans l'ensemble, il s'avère ainsi qu'il existe un **flux vertical** des eaux. On se réfèrera à la **Fig. 64** pour comprendre la circulation verticale des eaux. Bien que facilité par des

actions anthropiques, il existe un flux vertical naturel : en effet, les limons de confinement sont semi-perméables et parfois discontinus, et permettent le passage de l'eau vers la profondeur par gravité (cf. *infra*).

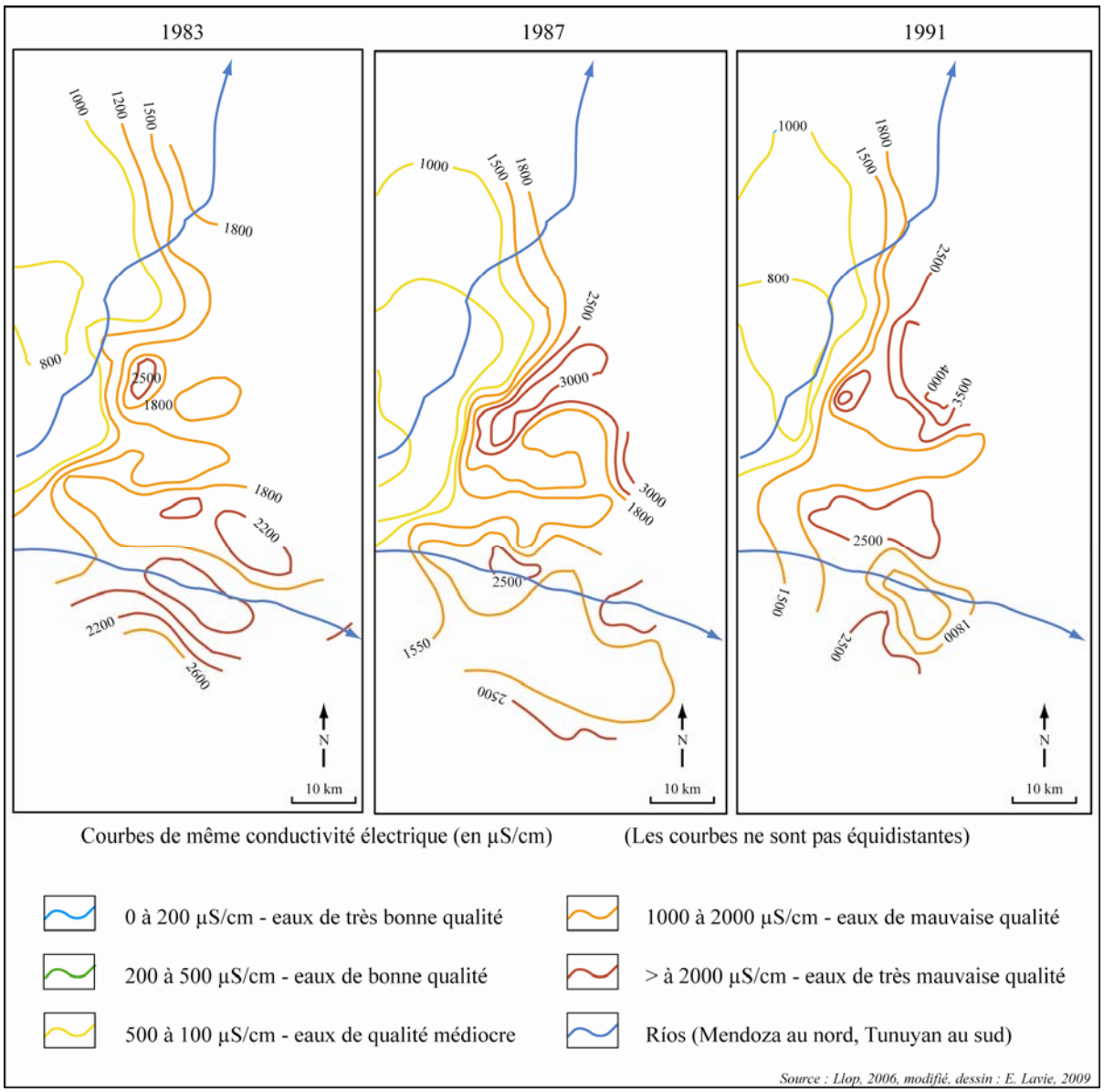


Fig. 53 : Conductivités électriques dans le second niveau de l'aquifère, en 1983, 1987 et 1991
Source : Llop, 2002, *modifié*

On notera également un **flux horizontal**, dans le sens de la pente naturelle du niveau piézométrique, c'est-à-dire de la pente du glacis, vers le nord-nord-est. Ainsi les minéraux présents dans les aquifères suivent-ils le même cheminement horizontal que ceux contenus dans les sols.

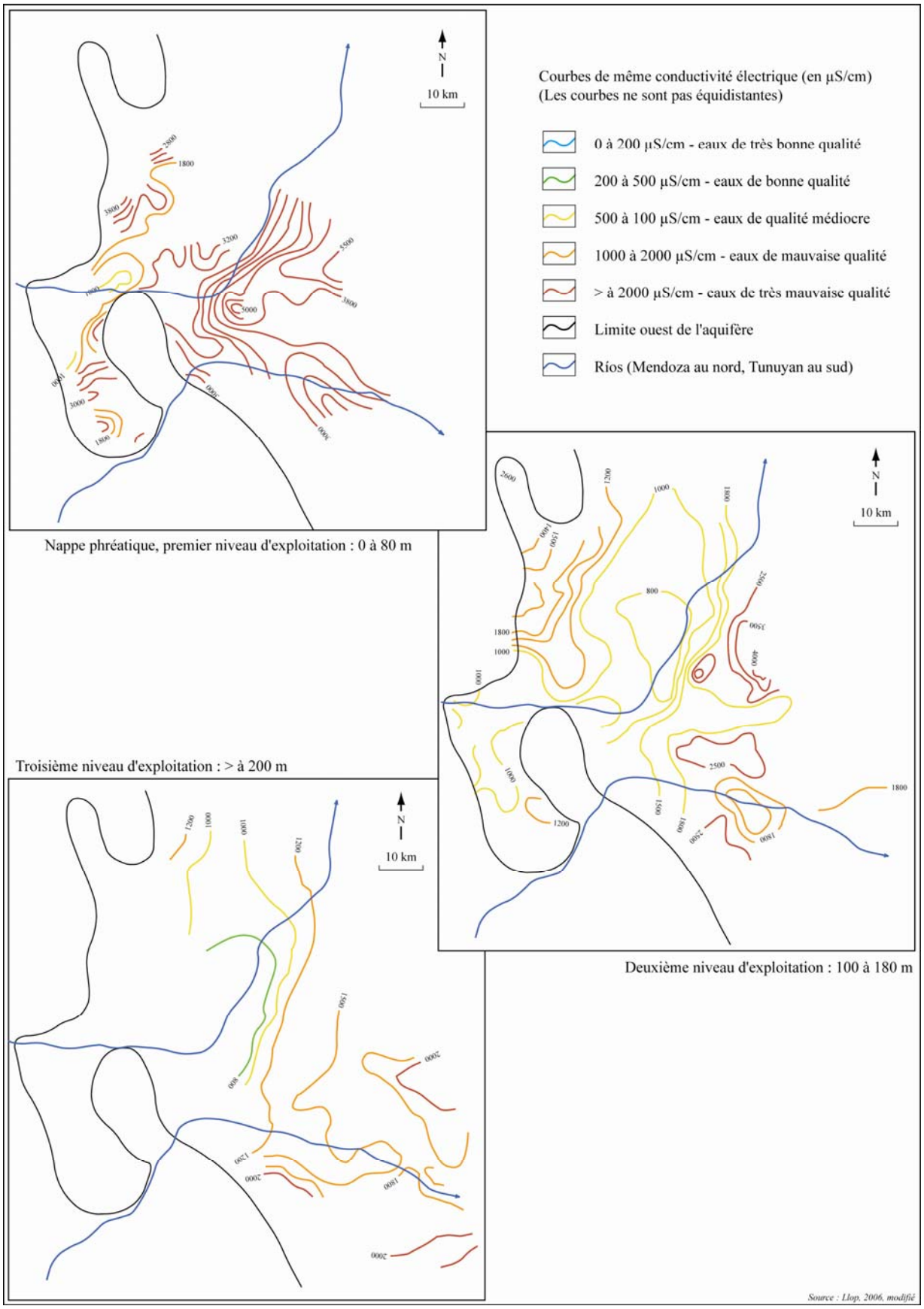


Fig. 54 : Conductivité électrique dans les trois niveaux exploités de l'aquifère en 1991-1992

Source : Alvarez, 1995, *in* Llop 2002

Selon ALVAREZ (1995), les minéralisations les plus basses se trouvent dans la zone de recharge de l'aquifère, au niveau de l'aquifère libre, ce qui est un point positif puisqu'apparemment la pollution ne vient pas de l'amont. En revanche, le secteur le plus pollué de cet aquifère libre est situé dans le sous-bassin du Carrizal, celui-là même qui connaît une baisse de la ressource en termes de quantité. Cette pollution est surtout concentrée dans le second niveau d'exploitation. Nous ne pouvons pas à ce stade du chapitre expliquer précisément les raisons de l'accumulation des minéraux dans ce sous-BV. En effet, la configuration « confinée », en cuvette, des aquifères de ce secteur peut expliquer les valeurs mesurées de CE. De même, le sous-BV du Carrizal est situé en aval du complexe industriel de Luján. Peut-être pouvons-nous nous interroger sur la responsabilité de la raffinerie (pétrole et gaz) dans la pollution des aquifères ?

- **La pollution souterraine des ACREs**

Afin de compléter notre diagnostic de l'impact des activités anthropiques sur la qualité de l'eau souterraine, nous disposons du travail de MASTRANTONIO (2006) sur la qualité des eaux phréatiques des ACREs, espaces agricoles irrigués par les effluents domestiques traités. Les cartographies présentées par l'auteur **(Fig. 55)** sont assez simplifiées puisque seuls deux prélèvements ont été effectués, sur peu de piézomètres. Néanmoins, on peut observer une certaine amélioration de la qualité des eaux phréatiques sous l'ACRE Campo Espejo entre 2005 et 2006. Mais la différence de saison entre les deux prélèvements peut nous amener à nous interroger sur les conclusions à proposer. En effet, le premier prélèvement a été effectué au printemps, le second à l'automne. Par ailleurs, les analyses présentées pour octobre 2005 démontrent une certaine amélioration de la qualité de l'eau depuis l'amont vers l'aval. Le sol et les végétaux du sol joueraient ainsi le rôle d'épurateur des minéraux.

En ce qui concerne l'ACRE Paramillo, elle présente une minéralisation inquiétante, mais qui peut s'expliquer par la localisation même de la surface agricole. En effet, les lagunes et l'ACRE sont implantées sur la zone saline, zone d'exsurgence de la nappe phréatique. Les sols y sont naturellement salins, même si la pression anthropique n'est pas à négliger.

En conclusion, le travail de MASTRANTONIO (2006) a le mérite de présenter la seule cartographie à l'échelle des zones irriguées par les effluents domestiques, même si le petit nombre de prélèvements oblige à une certaine distanciation vis-à-vis des résultats.

6-2-2- Des nitrates d'origine urbaine

D'après ALVAREZ (1995), on trouve des nitrates en fortes quantités sous le *Gran Mendoza*, avec une tendance à l'accroissement vers l'est, jusqu'à Guaymallén, avec des valeurs allant d'ouest en est, de 20 mg/l à 100 mg/l, soit des eaux de mauvaise à très mauvaise qualité. Selon l'auteur, les déchets organiques produits par les activités et la vie humaines expliqueraient ces concentrations, les liquides domestiques percoleraient en profondeur. Le sol de Mendoza, malgré ses nombreux édifices, ses routes et ses *acequias* bétonnées, n'est donc aucunement imperméable.

A l'inverse, sous les zones cultivées, les nitrates oscillent entre 5 et 40 mg/l, avec des secteurs contenant moins de 1 mg/l (restons prudente sur ce chiffre tout de même assez bas pour un niveau phréatique). Selon l'auteur lui-même, le manque d'information sur ce premier niveau amène à minimiser ces données.

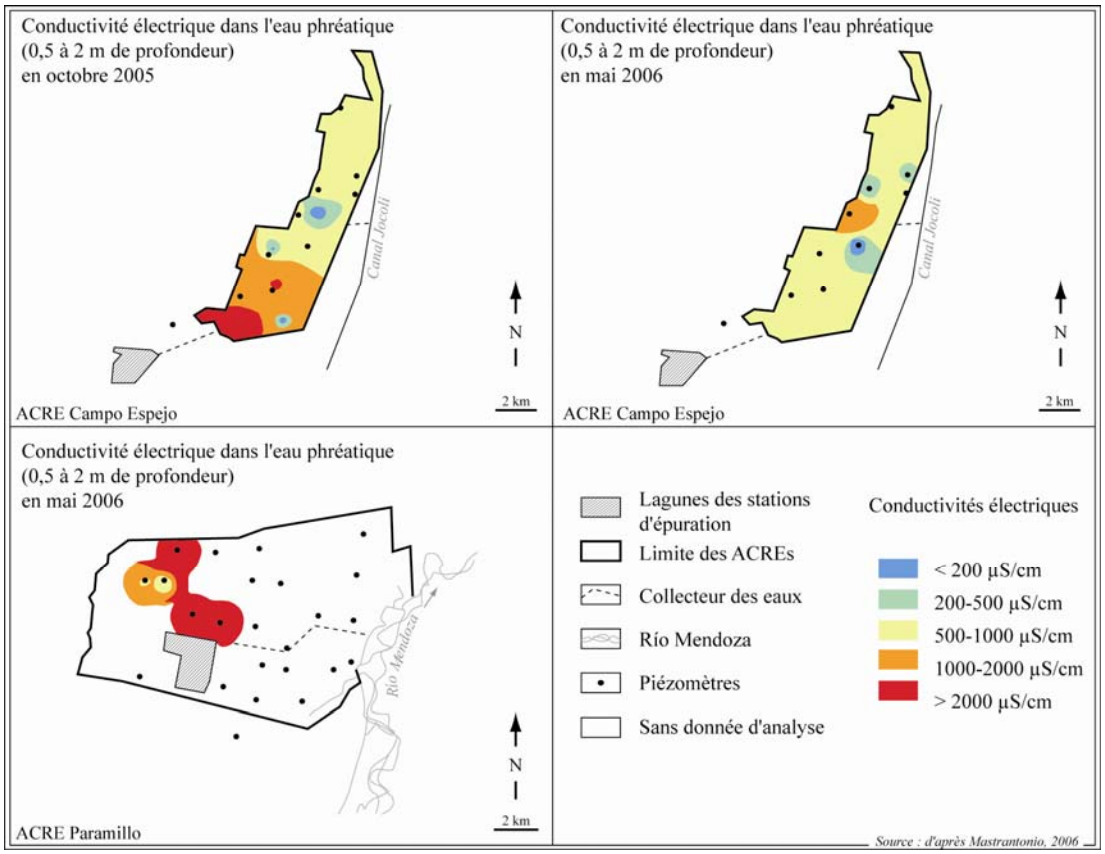


Fig. 55 : Pollution minérale des eaux souterraines des ACREs
Source : d'après Mastrantonio, 2006

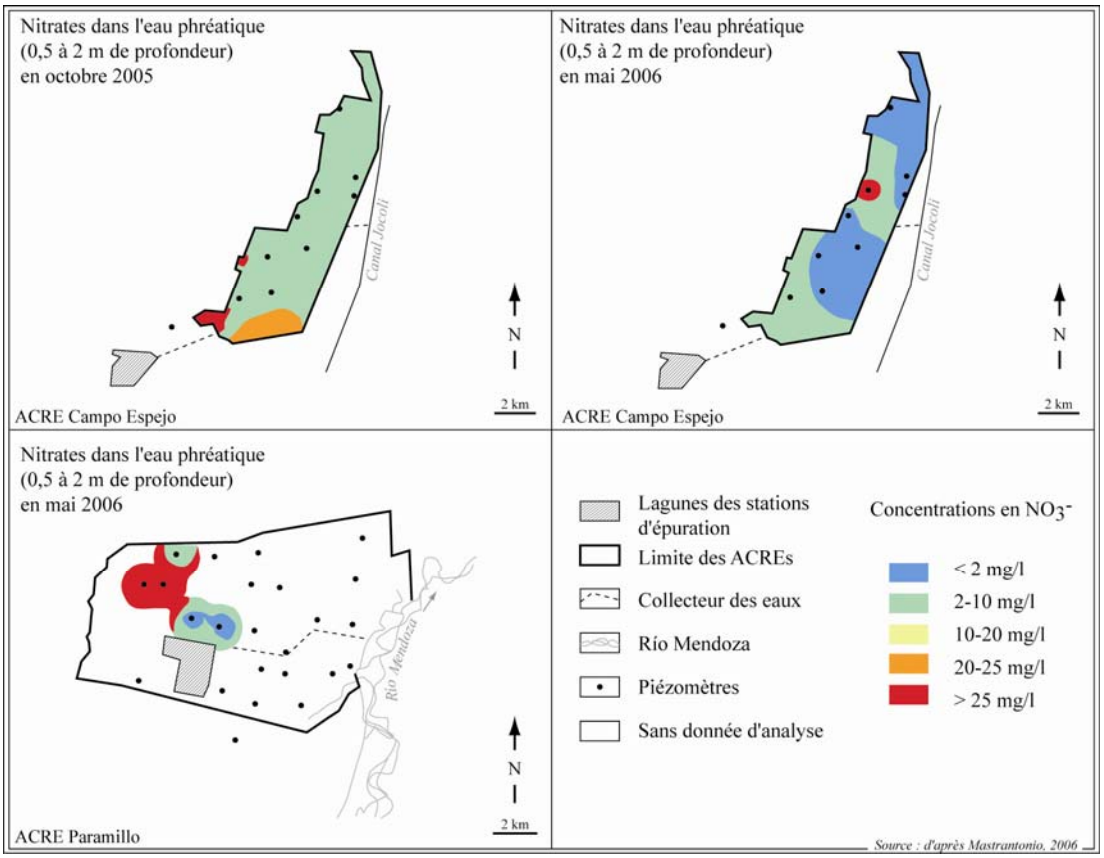


Fig. 56 : Pollution nitratée des eaux souterraines des ACREs
Source : d'après Mastrantonio, 2006

Dans l'aquifère libre les concentrations sont toujours supérieures à 10 mg/l. A l'est, à la limite entre les aquifères libre et semi-confiné, les valeurs mesurées oscillent d'une manière générale entre 20 et 40 mg/l. On sait depuis longtemps que les secteurs dépassant 20 mg/l dans l'aquifère libre correspondent aux secteurs maraîchers, plus friands en fertilisants que les vergers ou la vigne. Certains doutes pèsent sur les activités industrielles existantes à Maipú et Guaymallén (conserveries et surtout *bodegas*).

Dans le second niveau, les mêmes résultats apparaissent. On observe des valeurs dépassant 20 mg/l sous l'agglomération et des concentrations oscillant entre 10 et 20 mg/l dans les zones maraîchères. Mais dans cet horizon la responsabilité industrielle est plus marquée. En effet, selon ALVAREZ (1995), les infiltrations depuis le canal Pescara seraient une source importante de contamination par les nitrates (le Système Pescara date de 2004).

Bien que moins pollué par les nitrates que la nappe phréatique, ce niveau d'aquifère connaît les mêmes processus de contamination qui s'avèrent inquiétants pour cette ressource en eau largement exploitée.

Pour le troisième niveau, n'ont été mesurées que des valeurs inférieures à 1 mg/l, à l'exception d'une frange dans la zone dite Centrale (entre les deux ríos) où les concentrations dépassent 5 mg/l, et une pollution locale concentrée à Rivadavia (extrême est de l'aquifère) où l'on a mesuré plusieurs fois plus de 20 mg/l de nitrates. Cette faiblesse de pollution s'explique notamment par la protection du limon sablo-argileux, plus argileux ici, séparant les deuxième et troisième niveaux, mais cela ne concerne pas l'oasis du río Mendoza. Il s'agit du río Tunuyán inférieur.

Enfin, les cartographies des nitrates dans les eaux phréatiques des ACREs **(Fig. 56)** confirment la faible pollution azotée des zones agricoles. Il semblerait que les plantes réutilisent assez vite ce fertilisant, protégeant le sous-sol d'une pollution anthropique prononcée. Cependant, une fois de plus, un certain recul est nécessaire, lorsqu'on mesure de 2 à 25 mg/l de nitrates à quelques centaines de mètres de distance dans l'ACRE Paramillo.

6-2-3- Des phosphates d'origine domestique

Malgré nos recherches, nous n'avons à notre disposition que le travail de MASTRANTONIO sur les ACREs, plus précisément sur la seule ACRE Campo Espejo. Déjà, nous avions noté une pollution assez préoccupante par les phosphates dans l'ensemble du réseau superficiel. Ce paramètre semble être le problème principal en ce qui concerne la qualité de la ressource. Nous avions également mis en exergue la responsabilité des effluents domestiques dans cette diffusion des pollutions au phosphore. Or, la cartographie présentée par l'auteur **(Fig. 57)** pour octobre 2005 et mai 2006 présente une pollution au phosphore dépassant le seuil de très mauvaise qualité de 0,5 mg/l. En réalité, ce sont des valeurs oscillant entre 1 et 51 mg/l que MASTRANTONIO a mesurées, soit **510 fois le seuil de pression anthropique** ! On peut ici aussi regretter la représentativité spatiale et temporelle, mais cette cartographie ne fait que confirmer l'impact des effluents domestiques sur la qualité de l'eau en ce qui concerne les phosphates.

Les résultats présentés en ce qui concerne les nitrates et les phosphates semblent indiquer **une responsabilité de l'agglomération dans la diffusion des pollutions à l'azote et au phosphore**, rendant les irrigants victimes d'une situation qu'ils sont contraints d'accepter.

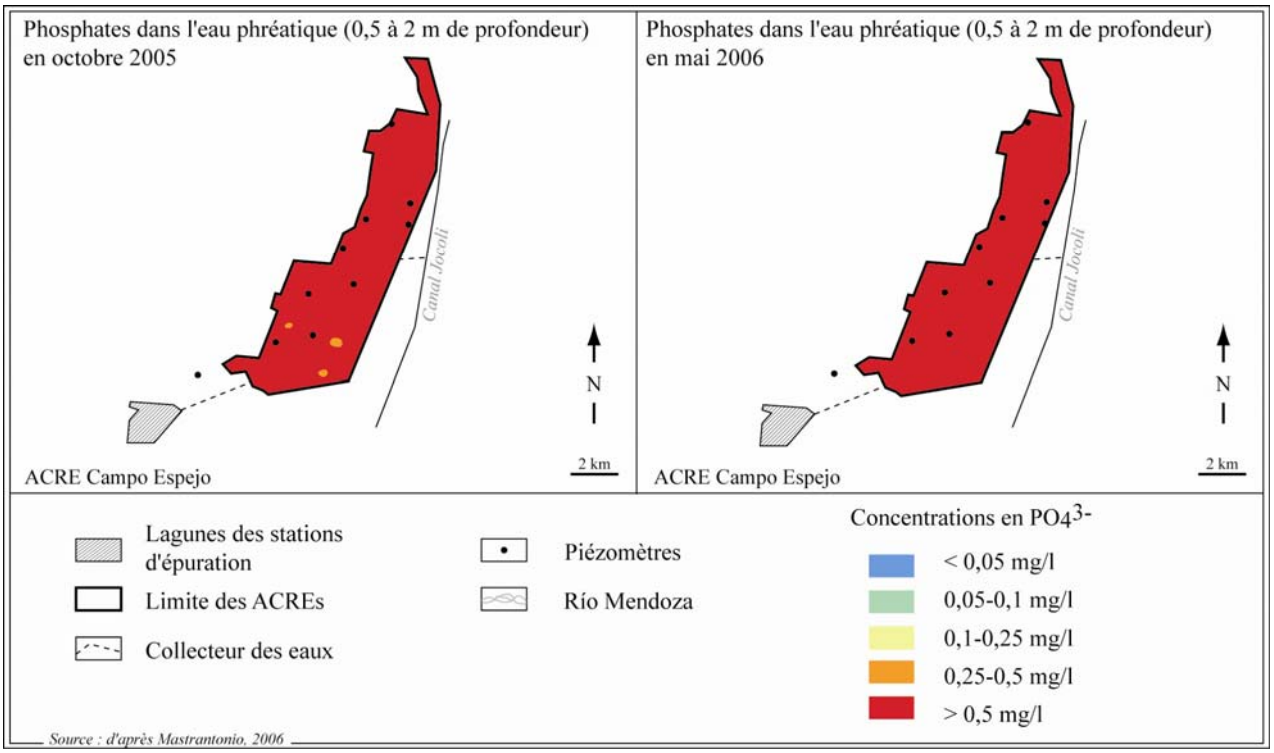


Fig. 57 : Pollution phosphatée des eaux souterraines des ACREs
Source : d'après Mastrantonio, 2006

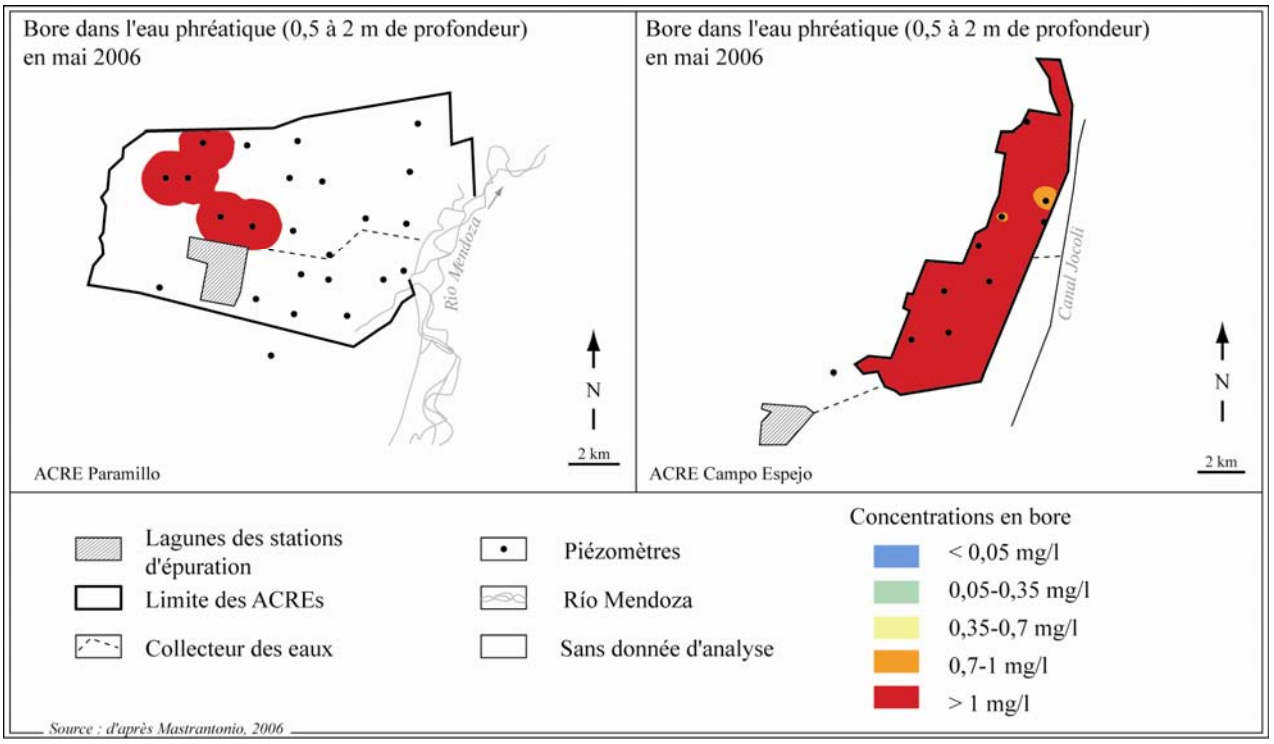


Fig. 58 : Pollution au bore des eaux souterraines des ACREs
Source : d'après Mastrantonio, 2006

6-2-4- Les autres éléments

- **Le bore**

Le bore est un élément chimique que l'on retrouve dans la nature sous la forme de *borax*. Il est généralement utilisé sous forme de perborate de sodium ($NaBO_3$), qui entre notamment pour « *20 à 30 % des formulations des poudres lessivielles domestiques* » (PAIN, *et al.*, 1996). Ses composés ne sont pas retenus par les stations d'épuration et le bore est intégralement rejeté en milieu naturel[56]. Par sa présence dans les lessives, il est considéré comme un excellent traceur des eaux domestiques par nombre de chercheurs. Ce n'est pas un élément très toxique, mais les autorités préconisent la norme de 1 mg/l pour l'AEP.

Le choix du bore comme paramètre analysé par MASTRANTINIO (2006) dans les ACREs de l'oasis n'est donc pas anodin. De fait, bien que l'auteur ne dispose que d'une date de prélèvement par site, sa cartographie **(Fig. 58)** présente une **très haute pollution de l'eau phréatique** des ACREs Campo Espejo et Paramillo **au bore**.

- **Le fluor**

Le fluor est indispensable (en petites quantités) pour l'organisme humain, en particulier pour la dentition et il est naturellement présent dans les eaux. L'OSM.SA. considère même qu'une eau n'est pas bonne à boire si elle contient moins de 700 µg/l ; le plafond admissible est de 1200 µg/l, et le seuil tolérable de 2000 µg/l[57].

Selon ALVAREZ (1995), le premier niveau oscille entre 500 et 1400 µg/l. Dans le sous-BV du Carrizal et dans une frange encadrant de part et d'autre le río Mendoza, il y a moins de 700 µg/l, plancher pour l'OSM.SA., l'eau manque donc de fluor. Quelques secteurs en revanche dépassent 1400 µg/l mais l'auteur ne précise pas lesquels.

En ce qui concerne le second niveau, la majeure partie de la surface contient moins de 700 µg/l de fluor, les zones au niveau du *Gran Mendoza* contiennent des valeurs moyennes (700 à 1000 µg/l). Seulement à l'extrême ouest de l'aquifère (hors de l'oasis du río Mendoza), les valeurs mesurées vont de 1000 à 5000 µg/l, soit 2,5 fois la norme tolérable qui est déjà assez haute. L'auteur ne donne aucune explication mais nous pouvons émettre l'hypothèse d'une circulation de l'eau vers le nord-est, dans le sens de la pente du niveau piézométrique, comme nous l'avions déjà observé pour la conductivité électrique.

Enfin le troisième niveau possède des valeurs inférieures à 700 µg/l. Il reste cependant une ressource possible pour l'AEP, à la condition que la technique de l'incorporation de fluor ne soit pas trop coûteuse.

***

La bibliographie touchant aux milieux arides s'est d'abord intéressée à la problématique quantitative, afin de trouver des solutions au manque d'eau, avant d'étendre les diagnostics à la problématique qualité. Or, la très grande majorité des travaux sur la

[56] : Seule la législation espagnole semble aujourd'hui obliger ses stations d'épuration à traiter cet élément (Wikipedia).

[57] : Le seuil admissible est la norme du DGI. Le seuil tolérable est une tolérance exceptionnellepour une entreprise faisant des efforts, ou en cas d'accident.

qualité de l'eau en milieu aride et/ou désertique concerne les problèmes de salinité des sols et de l'eau des sols.

Cette salinité, phénomène physique, est créée par la présence de sels minéraux dans les eaux de sub-surface. L'enrichissement des eaux en sels minéraux est consécutif à la concentration de ces sels après évaporation des eaux en surface. De fait, l'évaporation, puis l'évapotranspiration étant accrues dans ces domaines arides où la couverture nuageuse est faible et l'ensoleillement long, la salinité des sols est un problème récurrent. Il s'agit ici d'une minéralisation naturelle, accentuée par les pratiques agricoles, comme une irrigation mal maîtrisée par exemple (cf. infra).

Mendoza ne fait pas exception. Ses sols sont très salins, et d'autant plus que l'on va vers l'aval. On observe de fait un gradient minéral depuis le barrage de Cipolletti vers les zones agricoles les plus basses, 4, 5 et 6. Concrètement, ce Chapitre 6 s'est attaché à qualifier la minéralisation des eaux superficielles et souterraines de l'oasis, laquelle a comme conséquence la salinisation des sols, agricoles notamment. Au total, quelles conclusions peut-on dégager ici ?

Les résultats présentés, sur l'eau de surface comme sur l'eau des aquifères, aboutissent à une série d'observations :

- *D'abord, les minéraux n'ont pas un comportement homogène face à la pression anthropique, en fonction de leur usage.*
    - *On observe de fait un gradient des conductivités électriques d'amont en aval, depuis les zones urbaines vers les zones agricoles ;*
    - *Ensuite, de lourdes pollutions par certains minéraux, comme les phosphates, très diffus, touchant tous les horizons de l'hydrosphère et tout l'espace de l'oasis. D'autres sels augmentent et changent de comportement, comme le potassium dans le collecteur Pescara, le chlorure et le sodium, qui fonctionnent en couple, ou encore les sulfates ou le bore ;*
    - *En revanche, on peut noter une relative pollution à l'azote. Les zones agricoles présentent des concentrations limitées, même si l'agglomération semble contaminer son sous-sol.*
- *Ensuite, la diffusion de la pollution minérale à l'échelle de toute l'oasis (contrairement aux solides et aux bactéries) n'empêche en rien de distinguer la responsabilité de certains acteurs dans cette dégradation de la ressource superficielle et souterraine :*
    - *Une première hypothèse sera donc celle d'une implication des irrigants dans la minéralisation des eaux des zones aval de l'oasis, par des pratiques agricoles peu adaptées (et l'utilisation de certains intrants NPK) ;*
    - *Une seconde hypothèse sera la très grande responsabilité des industriels et des foyers sur les modifications des profils minéraux des cours d'eau, sur l'accroissement de certains éléments comme les sulfates ou le potassium, mais avant tout les dérivés des lessives et autres détergents : bore, phosphates et chlorure de sodium.*
- *Enfin, le caractère saisonnier du comportement minéral des eaux superficielles. La minéralisation baisse généralement au printemps pour augmenter à l'automne, ce qui démontre les interrelations entre le cycle végétatif et l'épuration des minéraux.*

***

Chapitre 7 :

Les autres paramètres chimiques

La vocation principalement agricole de l'oasis a orienté les chercheurs vers des recherches prioritaires, voire quasi exclusives, sur la salinisation. Ce problème étant la priorité des priorités sur cet espace où les études sont relativement nombreuses et diverses, nous avons fait le choix de traiter à part le phénomène. Cependant, il ne faudrait pas commettre l'erreur de ne penser que la minéralisation constitue la seule pollution chimique de la ressource. D'autres paramètres sont à prendre en compte en ce qui concerne la chimie des eaux. Nous avions proposé comme hypothèse en conclusion de la Seconde partie, que l'aspect de l'eau (couleur, odeur) était révélateur d'autres troubles d'ordre physico-chimiques. En effet, une couleur verte ou une odeur de rance peuvent être signes d'une eutrophisation des eaux, notamment lorsque les nutriments phosphatés sont déjà nombreux. Nous avons mesuré de manière systématique la température (paramètre physique) et le pH (paramètre chimique). Dans l'ensemble, ils ne révèlent pas de pollution, à l'exception des effluents industriels. Nous avons donc fait le choix de ne pas leur consacrer de chapitre. Enfin, deux pollutions très lourdes de conséquences sur le milieu sont montrées du doigt depuis quelques décennies : les pesticides d'origine agricole et les métaux lourds.

Nous traiterons dans ce Chapitre 7 les problèmes de pollution des eaux superficielles en ce qui concerne l'oxygénation, les pesticides et les métaux lourds. Pour ce qui est des eaux souterraines, seuls ces derniers seront diagnostiqués, ne disposant pas d'autres données.

7-1- Une asphyxie du milieu ?

L'oxygène dissous (OD) joue un rôle dans l'auto-épuration des charges polluantes par le développement de la végétation, et donc dans la survie du milieu. La présence d'oxygène est indispensable à la vie des poissons, des plantes, du plancton et autres petits organismes végétaux et animaux. Par contre, en ce qui concerne les usages, autant la présence d'oxygène ne pose aucun problème pour l'eau de boisson, autant certaines industries (chaudières) ne supportent pas des valeurs en oxygène dissous supérieures à 2 mg/l.

Les pollutions, en particulier aux nitrates et phosphates peuvent faire baisser les concentrations en oxygène par le biais de l'**eutrophisation**.

Pour déterminer la Demande Chimique en Oxygène (DCO), on pratique une oxydation de la matière organique de l'eau. La DCO représente l'oxygène utilisé pendant la réaction et permet d'évaluer la capacité de biodégradabilité de la matière organique.

L'Oxygène dissous est mesuré soit en taux de saturation (%), soit en poids par volume d'eau (mg/l), la DCO est mesurée en mg/l elle aussi.

7-1-1- L'Oxygène dissous de l'eau, des comportements variés

La quantité d'oxygène contenu dans l'eau est donc un révélateur des premiers signes d'eutrophisation des eaux. Nous disposons pour réaliser ce diagnostic, des données de l'INA sur cinq ans, comprenant les points sur les canaux et le río, et de nos propres données sur quelques mois[58], pour tous les points.

La mesure de la quantité d'oxygène s'est révélée assez fastidieuse pour les points où l'eau stagnait légèrement ou dont le débit était très ralenti. En effet, l'oxymètre montrait des difficultés à se stabiliser. La **Fig. 59** présente des qualités relativement bonnes de l'eau de ces cours d'eau. Elle révèle une assez faible variation des valeurs ce qui est plutôt bien pour les organismes de ces écosystèmes. **L'oxygène semble donc présent**, et de manière assez stable. Malgré cette remarque générale, on peut observer **quelques cas particulier** : les points RIII, CV, DVII et DVIII présentent des qualités moindres. Pour ce qui concerne DVII, l'eau stagnait régulièrement, il est donc plus prudent de ne pas tenir compte de ce point. Mais les points RIII, CV et DVIII, déjà pollués par ailleurs par bien d'autres éléments (solides, bactéries, couleur, odeur, phosphates, sulfates…), font encore office d'exception. Il semble en effet que l'ensemble des rejets d'origine anthropiques subis par les eaux au niveau de ces points (effluents domestiques et industriels) ait pour conséquence une baisse des teneurs en oxygène dans l'eau. Plusieurs hypothèses peuvent être proposées ici : soit certains rejets comme les matières organiques, favorisent le développement de bactéries qui utilisent l'oxygène pour se développer ; soit la très forte turbidité de l'eau de ces points empêche (ou du moins limite fortement) l'entrée des rayons solaires dans l'eau. Or l'énergie solaire est indispensable au processus de photosynthèse qui permet l'oxygénation de l'eau.

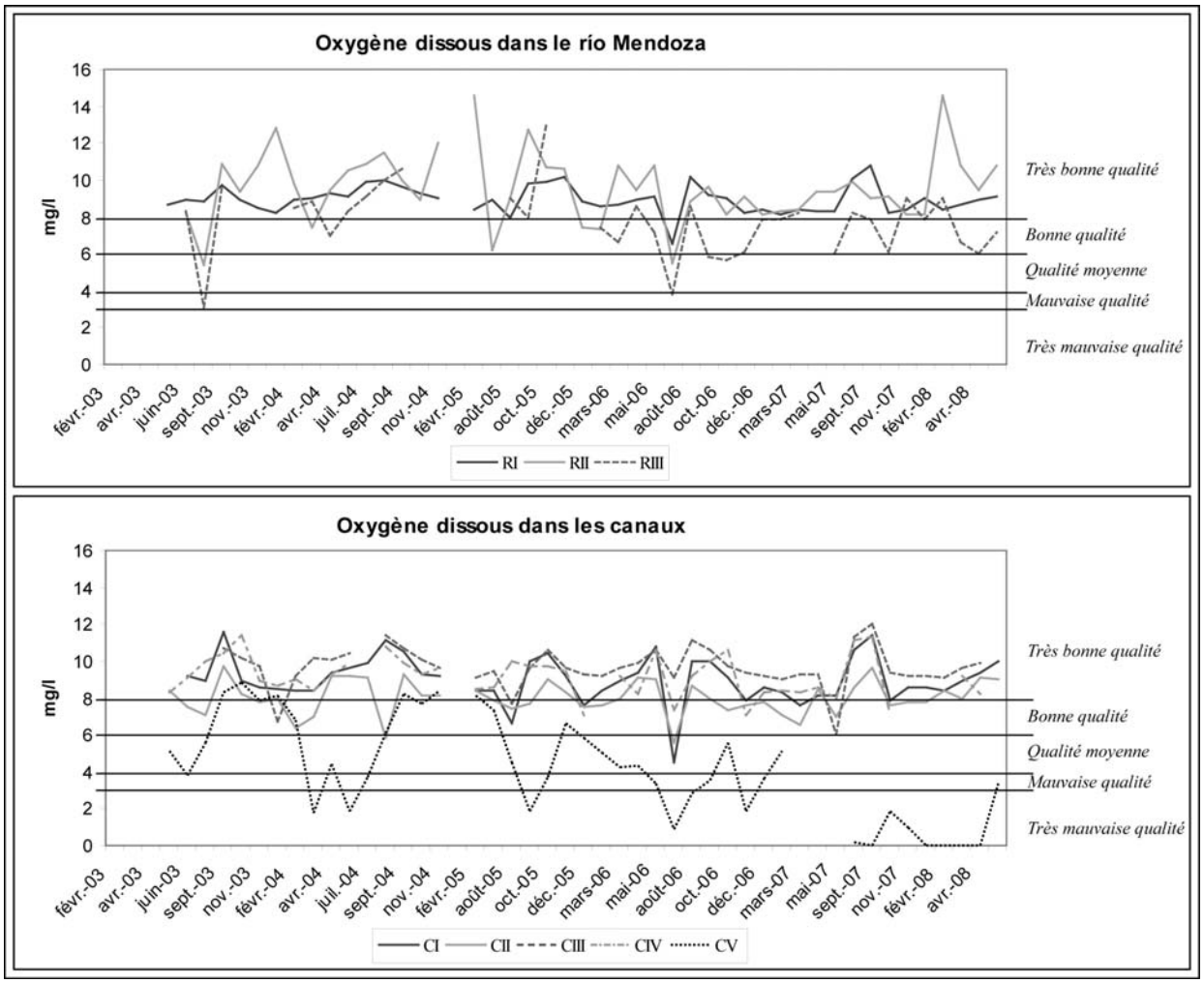
Sur le plan temporel, le **Graph. 22** confirme nos hypothèses : on observe une très bonne qualité des eaux du río Mendoza en amont des rejets de la station de Paramillo et une très bonne à bonne qualité des canaux, à l'exception du canal Auxiliar Tulumaya en aval de sa confluence avec le Pescara (CV). On pourrait donc proposer une hypothèse maintes fois vérifiée : l'asphyxie des eaux serait due aux effluents domestiques et industriels. Or, le point CII révèle de très bonnes à bonnes qualités des eaux et ce tout le long du suivi. L'impact domestique n'est donc pas confirmé.

De fait, quels sont les possibles impacts anthropiques sur l'oxygénation du collecteur Pescara et de son tributaire l'Auxiliaire Tulumaya, et sur celle du río Mendoza ?

En ce qui concerne le collecteur Pescara, nous proposions deux hypothèses : celle du développement de bactéries qui consomment l'oxygène et celle d'une très forte turbidité qui limiterait la photosynthèse. Le Pescara collecte des eaux industrielles, notamment des

[58] : Nous disposons des données pour l'hiver 2006 lorsque les cours d'eau étaient en eau. Mais en 2007, en fin de suivi (mi-novembre), la sonde de mesure de l'oxymétrie s'est cassée. Il faut savoir que ce matériel est fabriqué en Allemagne et n'a jamais dû être testé en milieu aride. Malgré nos soins dans le nettoyage de la sonde, elle s'est chargée des sels de l'eau, et l'évaporation est tellement forte qu'en l'espace de quelques jours, le sel a complètement bouché une membrane, qui s'est rompue lorsque nous avons cherché à la nettoyer. De fait, pour ne disposer que d'une dizaine de mesures par point, nous ne présentons que les moyennes et non les minima et maxima.

effluents vinicoles, connus pour être chargés en DCO et en matières organiques (BERVILLE, 2001 et MACARY, 2002). De plus, ses eaux sont très troubles, de couleur noire. La photosynthèse s'y avère très limitée. Les journaux locaux ont d'ailleurs plusieurs fois fait mention de poissons flottant à la surface du drain, morts d'asphyxie d'après les auteurs. Le profil du point CV **(Graph. 22)**, oscillant de très bonne à très mauvaise qualité, avec une moyenne de seulement 4,2 mg/l d'oxygène dissous, semble confirmer l'asphyxie annoncée du collecteur Pescara.



Graph. 22 : Une bonne oxygénation de l'eau générale
Source : données INA

Pour ce qui est du río Mendoza, il parcourt au niveau de RIII un paysage bien différent de sa partie amont. Dans sa partie la plus en aval, le río se présente sous la forme d'un cours très sinueux, anastomosé, dont les multiples bras sont encadrés, voire couverts, d'une végétation rivulaire très dense. Les débits y sont de plus en plus faibles. Avant l'imperméabilisation des derniers tronçons du canal San Martín (cf. *infra*), la zone 5 était irriguée via les eaux du río Mendoza, prises au barrage de Gustavo Andre, au niveau où nous prélevons le point RIII. Depuis l'inauguration du nouvel ouvrage hydraulique, la zone 5 est alimentée par le canal San Martín (point CIII), depuis le barrage de Cipolletti. Le DGI n'a donc plus l'obligation de laisser un débit conséquent à la rivière.

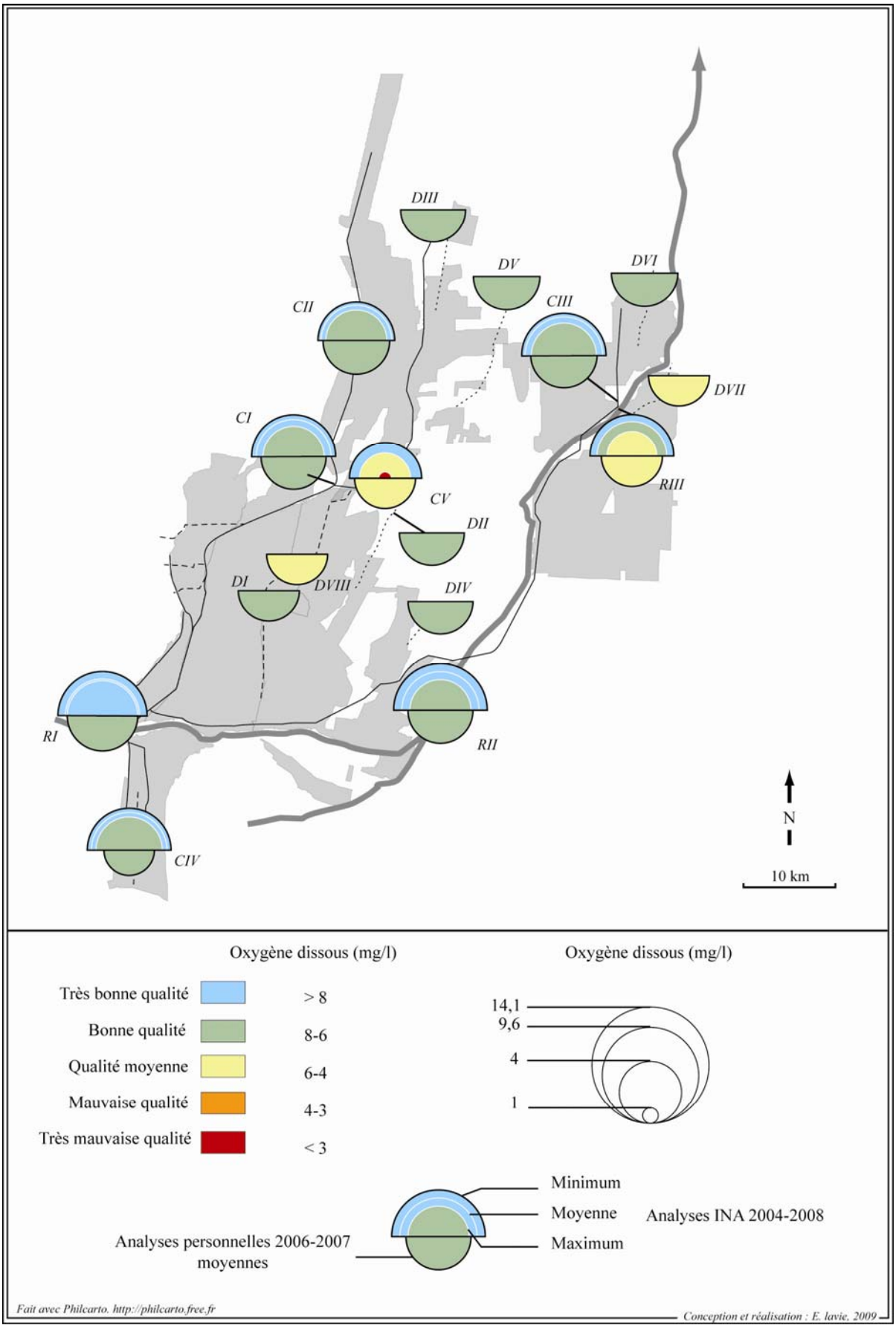


Fig. 59 : L'oxygène dissous dans les eaux des points du suivi
Source : données INA et Lavie

Or, la faiblesse des débits, liés à une pente très faible et une végétation abondante, ont créé un paysage typique de lac en comblement. Les berges s'assèchent de plus en plus, la couleur de l'eau est verte, l'odeur particulière… si bien que nous avions très vite pensé que la rivière était en processus avancé d'eutrophisation. Au vu des données dont nous disposons, il semble que le río est loin d'être anoxique. Néanmoins, il présente certains jours des déficits importants en oxygène.

7-1-2- Une Demande Chimique en Oxygène très haute

La demande chimique en oxygène représente donc l'oxygène utilisé pendant la réaction et permet d'évaluer la capacité de biodégradabilité de la matière organique. Une DCO élevée est nocive pour le milieu, puisqu'elle conduit à une hypoxie puis à l'anoxie[59]. La DCO est donc un des signes de l'eutrophisation des milieux, au même titre qu'une faible quantité d'oxygène dissous.

Nous disposons pour ce diagnostic des données de l'INA de 2003 à 2008 sur la rivière et les canaux, soit huit points de mesure. Nous n'avons personnellement pas effectué d'analyses de DCO. Au regard de la **Fig. 60**, les résultats aboutissent aux mêmes conclusions que pour l'oxygène dissous.

Dans l'ensemble, les moyennes présentent une DCO de très bonne qualité, malgré quelques pics de moyenne à mauvaise qualité. On conclura donc à une plutôt bonne oxygénation des eaux analysées dans le río et les canaux. Cependant, tout comme pour l'oxygène dissous, deux points présentent des moyennes assez élevées, accompagnées de nombreux pics : il s'agit des mêmes points RIII et CV. Nous avons observé une DCO moyenne de 75 mg/l pour CV et de 59 mg/l pour RIII, avec de très grandes variations, dépassant quelquefois 100 mg/l pour RIII et 200 mg/l (voire plus) pour CV. On peut noter que les pics en CV correspondent plutôt à la période de vinification (avril/mai), mais dans l'ensemble, il demeure difficile de reconnaître des cycles saisonniers sur les graphiques de la **Fig. 60**.

Les hypothèses proposées ci-avant pour l'oxygène dissous semblent être confirmées ici. De fait, il apparaît que les rejets domestiques et le manque de débit dans le río Mendoza en aval de l'oasis (RIII) ont entraîné une certaine hypoxie de la rivière. Il faut savoir que les pêcheurs se plaignent de plus en plus des baisses de quantités de poissons dans le río Mendoza à Lavalle, malgré une protection affichée des frayères de leur part.

Par la même, la DCO confirme le problème d'hypoxie prononcée du canal Auxiliar Tulumaya, vraisemblablement due à son affluent le collecteur Pescara. La DCO mesurée en CV, oscillant entre mauvaise et très mauvaise qualité, semble confirmer l'impact des industries riveraines du collecteur. Il faut dire que les effluents vinicoles sont très chargés en DCO (cf. *infra*), ce qui explique les pics observés à l'automne au point CV.

Enfin, on observera quelques pics de DCO pour le point CIII, que nous ne sommes pas parvenu à expliquer. Les eaux en CIII sont canalisées depuis le barrage de Cipolletti (RI) et ne subissent aucun impact conséquent. Deux explications peuvent être proposées : il peut s'agir soit d'un défaut de mesure, soit de prélèvements faits lorsque les eaux de canal étaient stagnantes en *turnos chicos*.

[59] : Hypoxie : pauvreté en oxygène ; anoxie : absence d'oxygène.

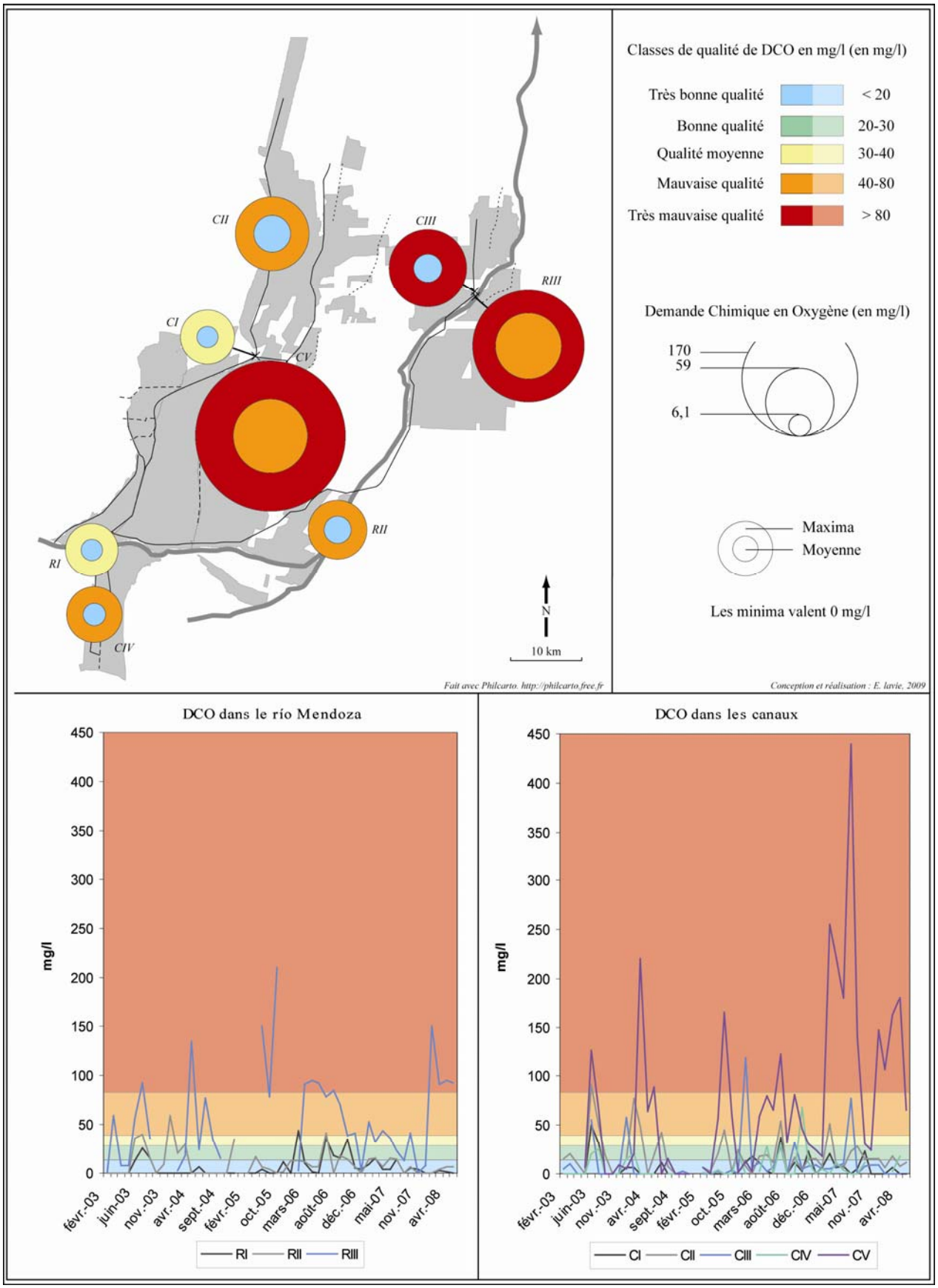


Fig. 60 : Une DCO très élevée
Source : Données INA

7-2- Les pesticides

Selon l'ISCAMEN, organisme de contrôle de l'usage des agro-fertilisants et phytosanitaires en Argentine, parmi les produits utilisés à Mendoza, 63,1 % sont des fongicides, 20,4 % des insecticides, 14,4 % des herbicides, 0,3 % des acaricides, et 1,8 % d'autres.

FERNANDEZ *et al.*, lors des *Journées d'actualisation en irrigation et ferti-irrigation* (Mendoza, Août 2006), ont présenté un travail réalisé par le Département Général d'Irrigation (DGI) sur l'évaluation de l'impact environnemental total de l'usage des produits phytosanitaires dans l'espace irrigué du río Mendoza.

A partir des produits utilisés à Mendoza (liste disponible sur *www.iscamen.ar*) et de leurs degrés d'écotoxicité pour les abeilles, les oiseaux, les organismes aquatiques et sur l'homme (toxicité, cancérogénicité, mutagenèse, tératogenèse), les chercheurs du DGI ont réalisé un indice d'« impact environnemental total » (IAT, *Impacto Ambiental Total*). La base de données ainsi dressée a permis de réaliser une cartographie de cet « impact environnemental total » à l'échelle de l'oasis, avec comme unité de base l'unité de gestion (*unidad de manejo*), c'est-à-dire l'échelon auquel se décide la distribution de l'eau à l'échelle locale **(Fig. 61)**.

Sans aucune autre étude comparative, sans unité de mesure autre que cet indice, il nous est impossible de conclure quoi que ce soit de cette cartographie, sinon que l'impact apparaît plus important dans le *Gran Mendoza* et dans la zone d'horticulture de l'oasis. Il apparaît également que certaines zones, plutôt polluées par ailleurs (ACRE ou zone centrale saline), sont ici épargnées par les pesticides. En effet, dans le détail des calculs, les aires ACREs n'apparaissent pas comme recevant des pesticides. Est-ce un oubli ou un manque d'information de la part des acteurs ?

Néanmoins, il est important de noter que si le coût prohibitif d'analyses hydrochimiques rend quasi-impossible l'évaluation de la qualité de l'eau et des sols en ce qui concerne les produits phytosanitaires. Cet organisme pallie le manque d'information par des études via l'usage des pesticides. Les auteurs précisent d'ailleurs eux-mêmes que leur méthode n'est applicable qu'à ce terrain d'étude.

Il nous apparaît nécessaire de noter que si la méthodologie est relativement peu avancée et comporte un biais important qui est celui de la non-validation par des mesures hydrochimiques, le DGI paraît avoir conscience du problème et cherche à évaluer l'impact environnemental de l'agriculture.

Dans l'ensemble, même si l'usage des produits phytosanitaires à Mendoza peut être réduit, il est demeure relativement faible. Selon Fernando MESTRE, Ingénieur agronome de l'Université de la Rioja, Espagne (MANRIQUE, 2007), les cultures mendocinas ne nécessitent que peu de produits phytosanitaires et il serait intéressant de l'utiliser comme élément marketing à l'exportation. En effet, cela signifie moins de pollution de l'eau et des sols, mais aussi de l'air par l'absence de fumigation. De même, les normes de sécurité étant généralement peu respectées en Argentine, cette limitation des usages de pesticides peut abaisser le nombre de cancers chez les agriculteurs.

Enfin, il est un élément exogène qu'il faut savoir prendre en compte : la santé économique du pays. Quand le peso argentin a un coût proche de celui du dollar américain ou de l'euro, cela favorise les importations des ces produits, et donc leur utilisation. Selon

l'Ingénieure agronome SALATINO de l'INA, depuis la crise des années 2001-2002, l'utilisation des produits phytosanitaires a chuté, et il s'avère qu'elle recommence à croître ces dernières années.

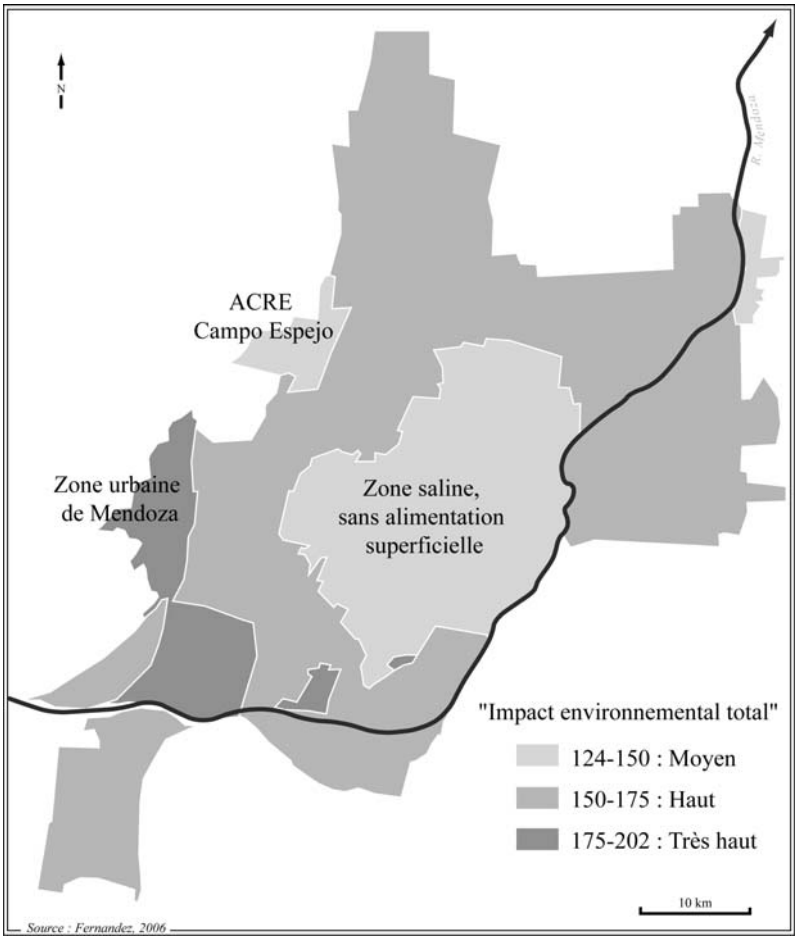


Fig. 61: Cartographie de l'indice « impact environnemental total » à l'échelle de l'unité de gestion
Source : D'après Fernandez, 2006

7-3- Les métaux lourds

L'analyse des métaux lourds est coûteuse, ce qui implique que les données sont assez limitées. Néanmoins, il faut noter l'effort financier de l'INA qui a procédé à des analyses de cuivre, zinc, chrome, cadmium et plomb, sur les trois points du río Mendoza (RI, RII, RIII) et les cinq points des canaux (CI à CV).

Par ailleurs, les travaux d'ALVAREZ sur les aquifères (1995), présentent des résultats en ce qui concerne les teneurs en arsenic dans les trois niveaux souterrains.

7-3-1- Les métaux lourds dans le réseau superficiel

En ce qui concerne le **chrome**, les analyses se sont étalées sur une année seulement (février 2003-février 2004), soit dix mesures, ce qui nous empêche d'observer le comportement de ce métal sur le temps long. Cependant, les résultats disponibles sur les

huit points aux dix dates, révèlent des eaux de bonne à très bonne qualité en ce qui concerne ce paramètre.

Pour ce qui est du **plomb**, la Faculté d'Agronomie, qui procède aux analyses, nous a demandé la plus grande prudence, ayant eux-mêmes des doutes sur la fiabilité de leur appareil. C'est pourquoi nous ne présenterons pas les résultats à notre disposition.

Enfin, en ce qui concerne les métaux **cuivre**, **cadmium** et **zinc**, nous disposons de cinq années d'observation (2003-2008).

A l'exception de quelques très rares pics, probablement des artefacts de mesure, les teneurs en cuivre, cadmium et zinc dans le réseau superficiel sont relativement stables. On n'observe pas de grandes amplitudes, ni de saisonnalité dans les variations. En réalité, l'analyse temporelle apporte peu à ce diagnostic. Nous procéderons donc à une analyse spatiale à partir de la **Fig. 62**.

- **Le cadmium**

La cartographie révèle une **pollution très prononcée en cadmium**. Toutes les mesures dépassent le seuil de très mauvaise qualité de 5 µg/l. Déjà en tête du réseau d'irrigation (barrage de Cipolletti, RI), la moyenne des quantités de cadmium mesurées est de 23 µg/l, soit près de cinq fois le seuil de très mauvaise qualité ! Dans l'ensemble, les concentrations baissent d'amont en aval (points CI, CII, CIII et CV) ce qui peut s'expliquer par la **dilution** des métaux. La dilution nous paraît plus vraisemblable puisque certains de ces canaux sont en grande partie imperméabilisés.

Néanmoins, deux systèmes voient leur pollution en cadmium augmenter : le río Mendoza (profil RI-RII-RIII) et le canal Flores, en rive droite du río (profil RI-CIV). Les concentrations en cadmium vont jusqu'à atteindre une moyenne de 37 µg/l en RIII et de 40 µg/l et CIV, ce qui est conforme aux autres canaux. Mais les maxima en CIV, RII et RIII soit assez éloquents. De fait, la Faculté d'Agronomie (FCA) a mesuré jusqu'à 100 µg/l de cadmium en CIV, et jusqu'à 130 et 170 µg/l en RII et RIII !

Quelles hypothèses pouvons-nous alors proposer ?

Tout d'abord, les valeurs en RI impliquent une **pollution d'origine anthropique en amont du barrage de Cipolletti**. Les activités humaines de montagne ou sur l'amont du piémont exercent une pression sur le río Mendoza pour ce paramètre. *A priori*, nous sommes tentée de pointer l'activité du Parc Industriel Provincial. Le PIP, communément appelé parc de la Raffinerie, situé à Luján, sur la rive droite du río Mendoza, accueille les industries de transformation des hydrocarbures, la Centrale thermique (CTM), entre autres activités industrielles polluantes. Il faut savoir que le cadmium est généralement employé pour la combustion des produits pétroliers.

Or, ce parc est censé traiter ses effluents puis les restituer au río par deux drains. Un de ces drains aboutit en amont du barrage de Cipolletti, ces eaux sont donc utilisées par l'oasis ; le second est dirigé vers l'aval du barrage, soit entre RI et RII. Les eaux, d'un débit très faible, s'infiltrent dans la nappe phréatique et sont restituées au réseau superficiel qu'en amont de RII, par exsurgence de la nappe.

Il est donc possible que les **effluents industriels du PIP participent à la pollution en cadmium** en RI, puis en RII.

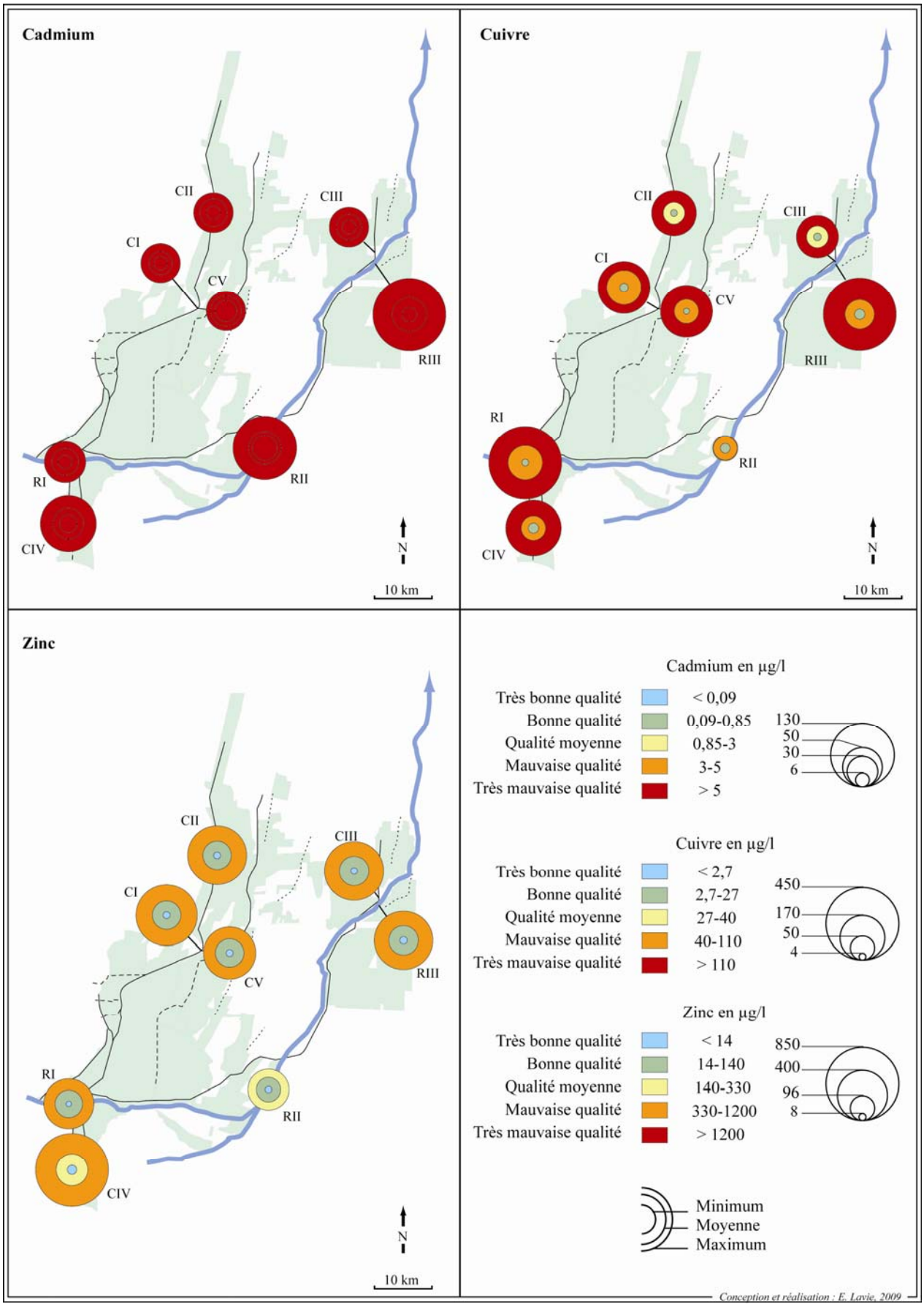


Fig. 62 : Diffusion des métaux lourds dans le réseau superficiel
Source : données INA

Ensuite, le PIP, bien qu'il rejette ses effluents dans le río Mendoza, est géographiquement implanté dans le sous-BV du Carrizal (arroyo Carrizal). Les eaux de ruissellement du parc d'hydrocarbures ne fluent pas vers le nord (vers le río), mais se dirigent vers le sud, vers le lac du Carrizal. Le canal Flores où nous prélevons le point CIV, collecte une partie de ces eaux de ruissellement industrielles. Or, ce site CIV révèle des concentrations en cadmium très élevées (6 fois le seuil de très mauvaise qualité). L'hypothèse proposée d'une pollution des eaux superficielles en cadmium par le PIP semble donc se confirmer.

Enfin, si les eaux en RII peuvent comporter des ions cadmium issus de l'exsurgence de la nappe phréatique, comment peut-on expliquer la hausse des valeurs en RIII ?

A priori, le seul rejet anthropique situé entre RI et RIII vient de la station d'épuration de Paramillo (cf. *supra*). Or, la baisse des concentrations entre CI et CII (27 à 24 µg/l en moyenne) implique que la station de Campo Espejo ne pollue pas l'eau pour ce métal lourd. Nous ne pouvons de fait pas attribuer la pollution en RIII aux effluents domestiques. **Il existe donc un rejet anthropique entre RII et RIII que nous n'avons relevé jusqu'ici.**

Or, quelles sont les activités les plus polluantes en métaux lourds ? Les industries lourdes et les pesticides d'origine agricole. Malgré l'artificialisation du réseau hydrographique superficiel, le río Mendoza reste le drain naturel de son BV. De fait, les eaux agricoles (issues des drains), les eaux de ruissellement, voire les eaux de la nappe alluviale, sont restituées au río Mendoza. D'ailleurs, si les eaux agricoles de la zone 2 (alimentées par le canal Cacique Guaymallén) sont collectées par le Pescara et alimentent la zone 4, les eaux de la zone 3 (alimentées par le canal Naciente) sont drainées vers le río Mendoza en aval de RII. Nous pouvons proposer comme hypothèse qu'une partie du cadmium mesuré en RIII dans le río Mendoza provient des **pesticides agricoles** utilisés dans l'oasis. Ajoutons que le cadmium entre dans la composition de certains engrais phosphatés. La présence conjointe de cadmium et de phosphates en RIII semble confirmer cet impact anthropique des engrais organo-phosphatés.

Finalement, deux sources principales sont possibles dans l'état actuel des connaissances : **les produits phytosanitaires** et **l'industrie de transformation des hydrocarbures**.

- **Le cuivre**

La pollution en cuivre est prononcée, avec des qualités moyennes à mauvaises et des pics de très mauvaise qualité pour tous les points à l'exception de RII.

La pollution en RI est déjà élevée (70 µg/l), supérieure au seuil de mauvaise qualité (40 µg/l), comme pour le cadmium. Les activités du PIP semblent donc polluer les eaux en cuivre. Néanmoins, le cuivre paraît s'auto-épurer, puisqu'à l'exception de RIII, toutes les valeurs baissent d'amont en aval. Or, le cuivre est un élément utilisé dans l'oasis comme pesticide. En effet, on le retrouve dans certains produits phytosanitaires chimiques, mais il est aussi le principal constituant, avec le sulfate, de la bouille bordelaise (cf. *supra*). Il serait donc assez logique de le retrouver dans les drains agricoles (dont le río Mendoza en RIII) mais aussi dans les collecteurs des effluents vinicoles. Or, la pollution en CV est relativement limitée puisqu'en moyenne l'eau y est moins chargée en cuivre qu'en RI (50 µg/l contre 70 µg/l en RI). Comment expliquer alors une baisse des teneurs en cuivre dans le canal Auxiliar Tulumaya (CV) qui reçoit pourtant les effluents vinicoles de la *Zona alcoholera*, tandis que RIII voit ses valeurs augmenter ?

Les concentrations en cuivre en RIII semblent provenir des eaux de drainage agricole (bouille bordelaise) Toujours est-il que la présence de rejet(s) d'origine anthropique entre RII

et RIII dans le río Mendoza semble se confirmer. Quant-à l'absence de rejet cuivré en CV, nous ne sommes pas parvenue à l'expliquer.

- **Le zinc**

Le zinc est un métal généralement utilisé dans les alliages (le laiton par exemple), de l'industrie de l'automobile, des constructions ou dans les équipements industriels. Il entre dans la composition des aciers galvanisés et est parfois employé pour apporter des oligo-éléments en agriculture dans le cas de sols très calcaires, ce qui n'est pas le cas à Mendoza.

La **Fig. 52** indique des maxima assez hauts (mauvaise qualité > 330 µg/l), mais qui cachent des moyennes relativement faibles puisqu'à l'exception de CIV, tous les points présentent de bonne qualités en zinc. Comme pour le cuivre, il apparaît que les concentrations en zinc baissent entre RI et RII, ce qui peut *a priori* indiquer une bonne filtration de ces métaux dans le sol. En effet, le barrage de Cipolletti dérive la quasi-totalité des eaux du río Mendoza vers les canaux San Martín ou Cacique Guaymallén. De fait, en aval du barrage, ne circule qu'un très faible débit d'eau andine et les effluents du PIP. Le débit étant très faible, les eaux s'infiltrent ou s'évaporent. Elles ne sont restituées au río qu'au niveau de l'exsurgence de la nappe. Ces eaux subissent une certaine filtration dans les sols. Pour le cuivre et le zinc, il semble que le sol ait joué un rôle épurateur, ce qui n'est pas le cas pour le cadmium, présent en bien plus grandes quantités.

Observons tout de même une légère croissance de la pollution entre RI et CI, ce qui peut indiquer une pollution par la ville. En effet, le zinc est utilisé pour galvaniser les canalisations, ce qui peut expliquer sa présence en aval de l'agglomération.

Enfin, le seul point sensible pour ce paramètre zinc est le canal flores (CIV), collecteur des eaux de ruissellement de cette zone agricole de la rive droite du río, mais aussi les eaux de ruissellement du PIP. Il semble que pour le zinc aussi, ce parc de transformation des hydrocarbures pollue les eaux de surface.

- **Le PIP est-il responsable de la pollution du río Mendoza en métaux lourds ?**

Au regard de ces résultats, nous avons cherché à déterminer l'origine exacte des métaux lourds dans le río Mendoza.

Pour résumer, nous savons que la rivière contient du cadmium, du cuivre et du zinc (et *a priori* du plomb également) au niveau du barrage de Cipolletti. Ne pouvant considérer cette pollution comme naturelle, nous en avons cherché la cause anthropique.

Nous avons de fait prélevé des échantillons en montagne afin d'observer le profil des métaux lourds, d'amont en aval. Les points choisis sont ceux déjà présentés pour la turbidité et les phosphates. Il s'agit de deux points en amont et en aval du bourg d'Uspallata ; d'un point sur la rive du lac de barrage de Potrerillos, du site Alvarez Condarco en amont des activités du PIP, et de RI au barrage de Cipolletti, en aval de ce parc industriel. Les eaux prélevées ont été apportées au DETI (Faculté d'Ingénierie), qui a procédé à des analyses en cadmium, plomb, zinc, cuivre et chrome, et ce à deux reprises (octobre et novembre 2007).

Telle ne fut pas notre déception à la réception de ces résultats ! L'ensemble des valeurs était en deçà du seuil de détection de leur appareil de mesure.

Or, d'une part, le fait que nous ne disposions d'aucun chiffre nous interdit la comparaison entre les différents sites ; d'autre part, les seuils de détection sont relativement hauts **(Tab. 8)**. En effet, pour le cadmium par exemple, le seuil de détection est au delà de la norme de rejet du DGI ; et au-delà de la norme de potabilité de l'OMS et de l'EPAS. Pour le plomb aussi, le seuil de détection de l'appareil est supérieur à la norme de potabilité de l'EPAS.

µg/l		Seuil de détection DETI	Norme qualité du DGI	Norme de potabilité	
				EPAS	OMS
Cadmium	Cd	10	**3**	**3**	**3**
Cuivre	Cu	40	2000	1000	2000
Chrome	Cr	40	< 500		50
Plomb	Pb	50	50	**10**	50
Zinc	Zn	20	50	3000	15000

Tab. 8 : Seuils de détection des appareils de mesure du DETI par rapport aux normes de qualité
(en gris les normes supérieures au seuil de détection)
Source : DETI, DGI, OMS, EPAS

Enfin, et cela nous apparaît relativement inquiétant : ce laboratoire est celui qui analyse les pollutions pour le DGI. De fait, **comment le gestionnaire de la ressource en eau, responsable du contrôle de sa qualité, peut-il exercer la police de l'eau sans connaître la réalité de la qualité de cette ressource ?**

Nous avons donc porté deux[60] nouveaux échantillons à la Faculté d'Agronomie, dont le seuil de détection est plus bas, afin de proposer des hypothèses quant à l'origine des métaux lourds dans le río Mendoza.

Un premier point a été choisi dans le río en amont de la raffinerie, soit au niveau d'Alvarez Condarco (cf. *supra*). Nous aurions souhaité prélever de l'eau dans le drain du PIP situé en amont du barrage mais il fallait pour cela l'autorisation de Repsol-YPF. Le second point est le río en aval de ce rejet d'effluents industriels traités par lagunages, soit le point RI au barrage de Cipolletti. Le dernier point a été prélevé dans le drain de rejet des effluents traités en aval du barrage dans le lit à sec du río Mendoza **(Fig. 63)**.

Les résultats sont ponctuels, mais ils permettent d'observer le profil des métaux lourds dans le río Mendoza.

Au regard de la **Fig. 63**, on observe d'abord que les valeurs mesurées en cadmium sont hautes, bien au-delà des normes de potabilité (3 µg/l). Déjà en amont du PIP, là où aucune activité industrielle ne peut avoir d'impact sur la qualité de l'eau, la valeur mesurée en cadmium est de 27 µg/l, soit neuf fois la norme de potabilité, et plus de cinq fois le seuil de très mauvaise qualité de l'Agence de l'Eau. Il existe donc **une pollution de l'eau en cadmium** dans le bassin d'alimentation, soit en montagne. Cette pollution peut donc être naturelle comme elle peut provenir d'un impact anthropique en haute montagne. Nous ne pouvons donner d'explication à ce résultat ponctuel[61]. Le plus étonnant est que la valeur baisse entre l'amont et l'aval de la raffinerie. Enfin, le drain de rejet des effluents industriels en aval du barrage de Cipolletti présente une haute valeur en cadmium. Or, il s'agit de la même eau que dans le drain de rejet en amont du barrage, elles sont traitées dans la même station[62]. De fait, soit il y a une pollution en cadmium et montagne et une dilution des eaux entre nos deux points de prélèvement (amont et barrage de Cipolletti), soit il y a eu une erreur

[60] : A la réception des résultats du DETI, nous n'avions plus le temps d'effectuer plusieurs prélèvements. De même, le coût des analyses, plus chère à la FCA qu'au DETI, a limité l'étude à deux échantillons en plus de RI.
[61] : Les prélèvements ont été faits tardivement pour des raisons expliquées ci-avant. Mais, surtout, nous aurions pu demander à l'INA de procéder à de nouveaux prélèvements en notre absence. Or, la FCA a mis 1 an ½ à nous envoyer les résultats (reçus en mars 2009), ce qui a rendu impossible une nouvelle analyse.
[62] : Il s'agit d'une petite station par boues activées et de quelques bassins de lagunage. Nous ne connaissons pas le procédé de traitement.

humaine dans l'analyse ou dans le tableur qui nous a été envoyé. N'y a-t-il pas eu inversion des deux données ? La pollution en montagne est fort probable étant donnés les chiffres dont nous disposons. Mais aucune entrée d'eau n'a lieu entre Alvarez Condarco et le barrage de Cipolletti, à l'exception d'un drain du PIP. Les effluents industriels seraient-ils moins pollués que le río ?

Nous pensons qu'une pollution des eaux en cadmium a lieu en montagne, mais que les deux chiffres des points « amont » et RI sont biaisés.

En ce qui concerne le **zinc** et le **cuivre**, nous pouvons observer une augmentation des valeurs d'amont en aval dans le río Mendoza, entre le premier point et le barrage de Cipolletti. L'un comme l'autre indiquent une pollution des eaux, certes modérée, par le PIP pour ces deux ions (ce qui nous conforte dans le biais d'analyse en cadmium). La pollution n'est pas importante mais on peut observer une pression anthropique du PIP. En aval du barrage, les effluents domestiques sont légèrement pollués, mais moins qu'en RI, même moins qu'en amont de la rivière.

Au terme de cette étude sur l'impact des métaux lourds par le PIP, il nous est difficile de proposer des résultats. En effet, nous ne disposons que d'un prélèvement par point, dont nous doutons même d'une partie des résultats. Il semble néanmoins que le PIP pollue le río, au moins en zinc et en cuivre.

Par ailleurs, nous nous interrogeons sur la pollution physico-chimique des effluents industriels. En effet, les **Photos 4 a** et **b** présentent une eau stagnante, envahie par la végétation de surface et rivulaire. Les plantes y sont très vertes, bien plus que la plupart de la végétation de l'oasis.

Elles colonisent en surface la masse d'eau, comme dans les étangs en processus d'eutrophisation. L'eau est de plus couverte d'un film huileux en surface et nous y avons mesuré une température de 30°C un jour où l'air était à 10°C. Il y a donc clairement une pollution organique et physique des eaux de ce drain.

Photos 4 a et b : Drain de rejet des effluents du PIP dans le lit à sec du río Mendoza en aval du barrage de Cipolletti
Source : E. Lavie, octobre 2007

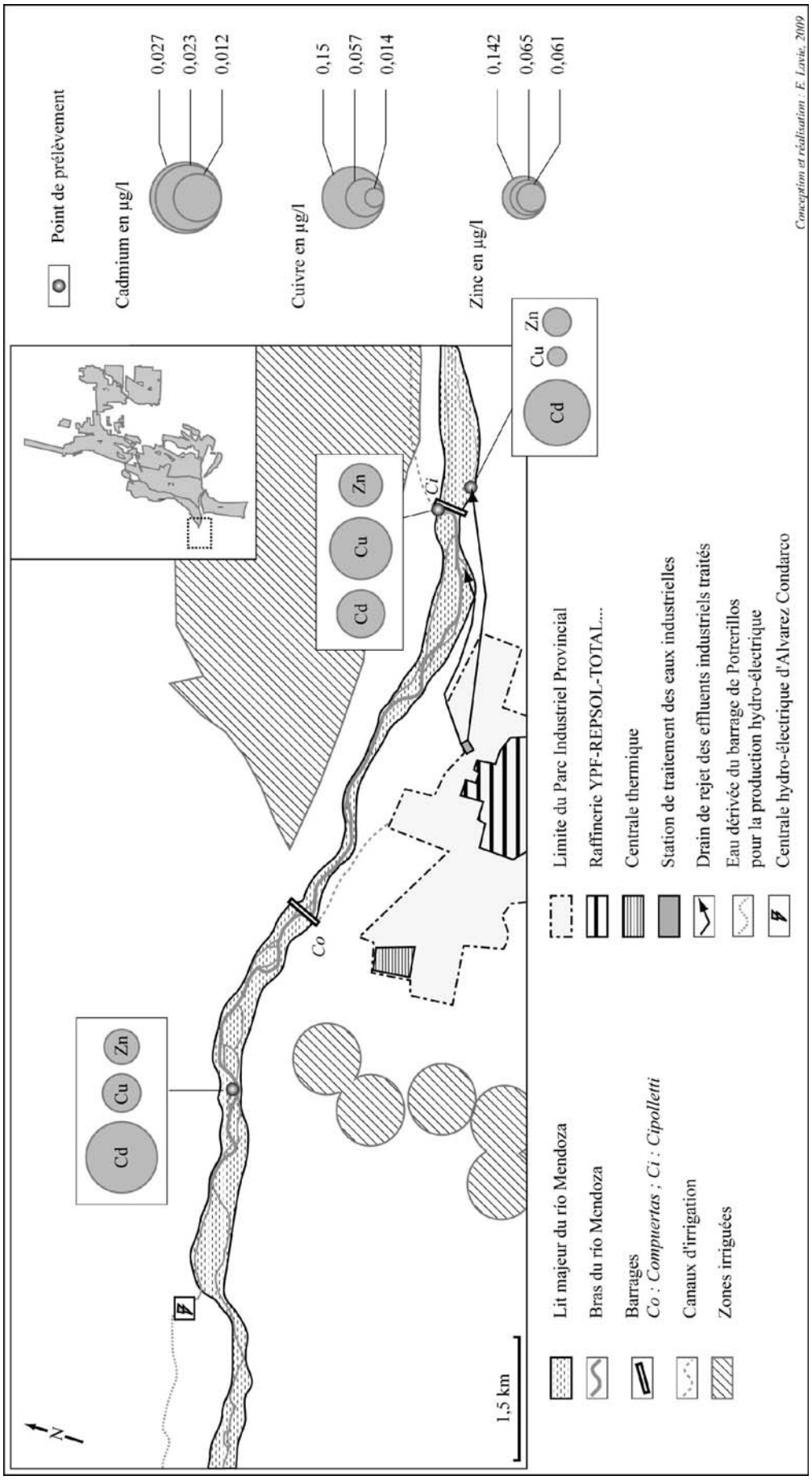


Fig. 63 : Impact du PIP sur la qualité en métaux lourds dans le río Mendoza
Source : E. Lavie, / INA / FCA

Finalement, même si ces résultats sont caducs, ils permettent de mettre en exergue le problème du rejet des effluents (même traités) du PIP en amont du barrage de Cipolletti. Les eaux sont utilisées par l'homme pour son eau de boisson et pour l'irrigation des produits agricoles qu'il consomme par la suite. Même si le rejet en aval du barrage pose un problème environnemental, la rivière n'est plus utilisée par l'homme que comme drain agricole. Les eaux ne sont plus utilisées. **Il est donc impératif de fermer le drain situé en amont de la prise d'eau, pour restituer ces eaux en aval du barrage principal de l'oasis**.

7-3-2- Les métaux lourds dans les aquifères

Nous n'avons recensé que peu de données sur la qualité des aquifères en termes de métaux lourds. D'une manière générale, le coût des analyses est le principal facteur explicatif de la rareté des données. **Nous pouvons aussi penser que, politiquement parlant, il est avantageux de ne pas faire de mesure, comme pour les produits phytosanitaires.**

De fait, nous présenterons le seul paramètre pour lequel nous ayons des données : l'arsenic.

- **L'arsenic**

ALVAREZ (1995) présente certains résultats de mesures réalisées en 1983, 1985 et 1990, dans les trois niveaux d'exploitation **(Tab. 9)**. Selon ce même auteur, on considère dans la « *littérature argentine* » que la consommation d'eau contenant de l'arsenic dépassant 300 µg/l est préjudiciable pour la santé. Les services de normalisation de l'OSM.SA., ont choisi comme valeur admissible 10 µg/l, et comme seuil de tolérance, 100 µg/l, soit **10 fois plus**, comme dans la plupart des cas. L'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) quant à elle, a déterminé comme seuil de potabilité 50 µg/l. En Argentine et en France, le seuil est de 100 µg/l.

	1983	**1985**	**1990**
Niveau I (Phréatique)	50	50	s/d
Niveau II (80-100 m)	80	50	80
Niveau III (>200 m)	70	60	80

Tab. 9 : Moyennes de concentrations en arsenic dans les trois niveaux de l'aquifère exploitable, en µg/l[63]
Source : ALVAREZ, 1995

De même, concernant la qualité de l'eau souterraine, et non sa potabilité, les eaux sont considérées respectivement comme de très bonne qualité ou bonne qualité entre 0 et 5 µg/l, et entre 5 et 7,5 µg/l ; elles sont médiocres entre 7,5 et 10 µg/l, de mauvaise qualité de 10 à 100 µg/l, et de très mauvaise qualité au-delà.

En conclusion, les eaux souterraines de Mendoza sont, en ce qui concerne l'arsenic, **de mauvaise qualité**, mais administrativement s'avèrent étonnamment « potables ».

Observons qu'il s'agit là de moyennes. Or, dans les faits ces dernières cachent de très nettes différences entre les secteurs. Selon ALVAREZ (1995), seul le nord de l'aquifère est concerné par une pollution à l'arsenic. Ce secteur, au niveau du district « Tres de mayo », (et

[63] : Nous faisons le choix d'utiliser l'unité µg/l, comme il est d'usage en France, et non mg/l comme c'est le cas en Argentine.

ça, l'auteur ne le note pas) correspond au lieu où était installée à l'époque, *Mineria del Oeste* (MIDO, cf. *infra*), immense entreprise d'extraction de cuivre et d'or, activité minière qui implique l'utilisation d'arsenic (cf. *infra*).

Selon l'auteur, tout le reste de l'aquifère, quelque soit le niveau, contient des valeurs inférieures à 50 µg/l.

***

Ce Chapitre 7 s'est attaché à démontrer l'importance de paramètres hydro-chimiques autres que la minéralisation, quant-à la qualification de l'état de la ressource en eau. L'oasis de Mendoza dispose d'études sur les pesticides et les métaux lourds. De fait, même si les représentativités spatiales et temporelles sont quelquefois limitées pour des questions financières évidentes, les gestionnaires disposent de résultats sur lesquels s'appuyer.

Ce diagnostic hydro-qualitatif révèle dans l'ensemble une bonne qualité de pH des eaux superficielles de l'oasis, avec tout de même un problème dans le collecteur Pescara. L'oxygénation du milieu est assez hétérogène, avec une bonne qualité d'ensemble, mais deux gros points noirs se distinguent. En effet, le río Mendoza dans sa partie aval, et le collecteur Pescara (suivi du canal Auxiliar Tulumaya), démontrent une certaine ***hypoxie des eaux****, vraisemblablement développée par les rejets domestiques et industriels dont ils font l'objet. Les analyses des métaux lourds ont révélé une* ***pollution des eaux par le cadmium, le zinc et le cuivre****, à partir de laquelle nous avons proposé deux hypothèses : une pollution par les pesticides d'origine agricole et par les industries agro-alimentaires et les industries des hydrocarbures. Le travail de qualification de la pollution par les pesticides agricoles réalisé par FERNANDEZ et al. (2006) semble confirmer une certaine* ***pollution des eaux agricoles par ces intrants phytosanitaires****, même si des analyses validant ce travail auraient été bienvenues. La présence de cuivre, composant de la bouille bordelaise semble également confirmer cette hypothèse d'une pollution par les pesticides. En ce qui concerne les industries agro-alimentaires, la pollution des eaux du Pescara en métaux lourds n'est pas complètement vérifiée. En effet, les métaux lourds étant déjà présents en RI, notre hypothèse de l'impact de la Zona alcoholera sur la qualité des eaux du collecteur Pescara n'est pas validée. Nous ne disposons pas de preuves chimiques suffisantes. Enfin, pour ce qui est de la pollution par les industries d'extraction et de transformation des hydrocarbures, la présence de cadmium surtout, mais aussi de zinc et de cuivre dans le río Mendoza et dans le canal Flores (CIV) semble accuser le PIP. Les analyses ponctuelles que nous avons effectuées dans le río en amont et en aval du parc de la raffinerie, et celles dans le drain industriel en aval du barrage, confortent nos hypothèses sans pour autant les confirmer.*

***

CONCLUSION DE LA PARTIE III

Nous avons donc tenté de dresser dans la deuxième et la troisième parties un diagnostic hydro-qualitatif de la ressource en eau superficielle et souterraine de l'oasis du río Mendoza. En conclusion de la partie précédente, nous proposions certaines hypothèses comme une augmentation de la pollution d'amont en aval, ou encore que les paramètres sensoriels (couleur, odeur) étaient des révélateurs d'autres pollutions, notamment d'une eutrophisation des cours d'eau. Nous précisions également, que si les pollutions biologiques et physiques avaient un caractère concentré, les pollutions chimiques étaient plus diffuses.

Quels sont donc les apports principaux de la Partie III ?

Nous pouvons d'abord confirmer certaines hypothèses. **L'augmentation de la minéralisation d'amont en aval s'avère évidente**. Au-delà d'une mise en solution naturelle des sels dans l'eau, les agriculteurs sont victimes en aval des activités urbaines qui accroissent cette minéralisation. Pour autant, la responsabilité des agriculteurs n'est pas à minimiser. L'irrigation par ennoiement des sols contribue, certes, à faire descendre les sels pour quelques mois, mais à terme elle favorise la remontée de ces mêmes sels plus en aval. De même, cette technique accentue la salinité de la nappe phréatique, puis des autres horizons souterrains.

Les sels minéraux présentent également des profils temporels « en vagues » (sels, et nutriments nitrates et phosphates), dont les modes sont hivernaux. **Nous concluions en Seconde partie que la baisse des bactéries et des solides était due à l'importance de la dilution dans les eaux. En revanche, en ce qui concerne les résultats du diagnostic hydro-chimique, le rôle de l'épuration est bien plus important.** En effet, le caractère modéré de la pollution par les nitrates d'origine agricole et le profil « en vagues » calqué sur le cycle végétal, indique l'impact de la végétation rivulaire des canaux non imperméabilisés et des cultures sur l'épuration des nutriments et des sels minéraux au printemps. L'hypothèse proposée selon laquelle le réveil printanier jouerait un rôle dans le profil minéral, s'avère confirmée.

Nous pressentions également une diffusion de la pollution chimique dans toute l'oasis. Il semble en effet que nous ayons vu juste pour certains paramètres comme la minéralisation (conductivité électrique notamment), les phosphates ou les métaux lourds. En revanche, certaines concentrations de polluants doivent également être notées. En effet, quelques polluants paraissent se concentrer dans les nappes sous les ACREs (bore notamment) ou sous certaines zones industrielles (arsenic ou plomb). En ce qui concerne la ressource superficielle, le pH, pourtant basique dans l'ensemble, s'avère un peu acidifié dans le collecteur Pescara, probablement en raison des rejets des effluents vinicoles. Les phosphates, quoique diffus, se concentrent en plus grande quantité dans certains points, notamment en aval des rejets de la *Zona alcoholera* et des rejets des deux stations d'épuration. Enfin, si l'oxygénation générale est plutôt bonne, le río Mendoza en aval de l'oasis et le collecteur Pescara démontrent eux aussi des problèmes de qualité.

De fait, au delà d'une pollution diffuse des sels minéraux et des nutriments à l'ensemble de la zone irriguée et à son sous-sol, ce diagnostic révèle également une pollution plus forte encore dans certains points.

Quelles sont donc les sources de pollutions ?

L'agriculture, qui préfère l'irrigation par ennoiement des plantes au détriment du goutte-à-goutte, et qui se révèle de plus en plus friande d'engrais NPK et de pesticides, semble en grande partie responsable de la diffusion des pollutions. Néanmoins, les pesticides restent peu utilisés. Ceci s'explique par le climat sub-désertique qui n'autorise pas le développement des insectes et des maladies cryptogamiques et donc le recours aux pesticides et insecticides.

Cependant, la diffusion des phosphates démontre également l'inefficacité des infrastructures privatives d'assainissement (fosses septiques) dans les zones rurales non reliées au réseau collectif.

L'industrie agro-alimentaire semble modifier le profil minéral des cours d'eau, en changeant les associations des ions dominants. Elle apparait également responsable de la baisse de la qualité oxygénée du collecteur Pescara.

L'industrie des hydrocarbures, plutôt protégée par les autorités par la production de devises qu'elle implique, apparaît comme la grande responsable de la présence de métaux lourds dans les eaux du río Mendoza et de l'oasis, dont certains sont captées pour l'AEP !

Par ailleurs, la pollution domestique est encore montrée du doigt. La pollution assez considérable en phosphates, en bore et les ajouts de sulfates de sodium et de carbonates de sodium dans les eaux, supposent une relative inefficacité du réseau de collecte et de traitement des effluents domestiques.

Enfin, la dernière hypothèse était le rôle de révélateur de pollution, notamment d'eutrophisation, joué par les paramètres sensoriels : odeurs et couleurs. On ne peut pas conclure à une eutrophisation générale des eaux de l'oasis, étant donné la bonne qualité de la DCO et de l'oxygène dissous. Néanmoins, les deux points critiques en ce qui concerne l'oxygène sont le río Mendoza en aval de l'oasis et le collecteur Pescara. Or, ce sont également les deux points noirs en ce qui concerne les paramètres sensoriels. Le caractère nettement hypoxique des deux tributaires, victimes des effluents domestiques et industriels, semble confirmer le rôle de révélateur de l'odeur et de la couleur.

Dans l'ensemble de ce diagnostic, **nous avons démontré l'impact anthropique de la ville, des foyers, des industries et de l'agriculture sur la qualité de l'eau superficielle et souterraine de l'oasis**. Or, nous n'avons pu exposer en quoi ces activités polluent. De même, le diagnostic qui nous a été commandé par l'INA impliquait d'expliquer l'urgence et les possibilités d'action, ce que nous allons nous attacher à présenter en dernière partie.

QUATRIEME PARTIE :

La gestion qualitative de l'eau, un pari difficile

Le diagnostic ainsi réalisé s'avère inquiétant quant à la qualité des eaux de l'oasis du río Mendoza. La multiplicité des types de pollution (bactériologique, physique, chimique) implique de fait plusieurs sources même si certains se révèlent principales. Les usages faits de l'eau à Mendoza sont assez nombreux et supposent une responsabilité collective. Parallèlement, l'état des lieux réalisé n'a d'intérêt que si l'on replace la pollution dans son contexte géographique, c'est-à-dire d'interaction entre le milieu et l'homme. La pollution est la « *présence de matière ou d'énergie dont la nature, la localisation ou la quantité provoquent des effets environnementaux négatifs* » (GROZAVU et KOCSIS, 2005, cf. *supra*). Nous n'avons pu, jusqu'ici, aborder la question des effets environnementaux négatifs, ou des impacts anthropiques. Cette quatrième partie a pour finalité de présenter – et non dénoncer – les éventuels usages et usagers responsables de la dégradation de la ressource en eau, d'exposer l'urgence d'action pour le milieu et de s'attarder sur les enjeux de la lutte contre les pollutions. Les solutions à apporter ne sont pas si onéreuses que le prétend le Gouvernement provincial.

Les études sur la qualité des ressources en eau ne sont pas récentes : depuis une trentaine d'années maintenant, les chercheurs de disciplines bien diverses travaillent à l'évaluation des impacts des activités anthropiques sur la qualité de l'eau. Ce sont les écologues, les ingénieurs agronomes, entre autres. D'autres s'attachent plus aux interrelations entre la qualité de l'eau, la climatologie, la faune, la flore…, ce sont les sciences du vivant et de la Terre. Les géographes physiciens, qui ont fait partie des premiers à s'intéresser aux problèmes d'hydro-qualité, ont de fait certaines difficultés à trouver aujourd'hui leur place dans la multiplication des disciplines s'intéressant à la qualité de l'eau. Nous pensons pour notre part, que la diversité des sciences permet d'enrichir les connaissances et en cela la vision du géographe est nécessaire. En effet, notre discipline, science de synthèse entre les sciences de la Terre et du vivant, et les sciences humaines, constitue un carrefour entre différentes disciplines souvent trop distinctes les unes des autres. La « pluridisciplinarité » de la géographie permet de proposer des résultats techniques (parties II et III), tout en les reliant à la réalité des sociétés. Ces dernières ne peuvent être vues comme un monde à part (analytique), mais comme un tout faisant partie de l'environnement qu'elles dégradent pour des raisons à la fois « naturelles » (besoins primitifs) et « économiques et politiques » à mesure du développement de grandes agglomérations.

Cette quatrième partie a pour but de dépasser les conclusions maintes fois relatées sur l'impact de telle ou telle activité sur la qualité de la ressource en eau (les phosphates viennent des activités domestiques, les nitrates des jardins et des champs, les métaux lourds des industries…). Nous pensons que dans la société mendocina où **le problème principal est l'indigence de l'eau, toute pression de la population sur une activité** (besoin d'électricité, besoin d'eau potable, besoin des activités nautiques touristiques…) **induit automatiquement**

une pression sur la ressource en eau, tant sur le plan quantitatif que sur le plan qualitatif. De fait, dans cette oasis où le contexte récurrent de crise économique est une excuse à toute proposition d'infrastructure de traitement des eaux, ou à toute demande d'augmentation des tarifs, le problème majeur – outre celui de l'inadéquation entre l'offre en eau et la taille de l'agglomération et de l'oasis – est celui d'une absence quasi-totale de conscience de la population de l'état qualitatif et quantitatif de la ressource. L'usage « raisonné » est une notion presque absente de la politique hydrique de cette oasis. Les alertes des scientifiques depuis des années, répétant à chaque colloque ou congrès que l'avenir des Mendocinos est de déménager dans d'autres oasis plus au sud, ne paraissent pas parvenir aux autorités qui pratiquent une politique de l'autruche particulièrement déconcertante.

Malgré tout, certaines personnes, à titre personnel ou associatif, agissent à leur échelle, soit pour informer la population des réalités environnementales, voire sociales, soit pour les défendre contre des grands projets industriels posant un risque de dégradation de la ressource, soit encore pour proposer des solutions alternatives de traitement des eaux industrielles, pour limiter la prolifération des déchets urbains… Dans ce contexte où les autorités semblent sourdes aux problèmes, la population prend en main son avenir. Et si pour le moment cela reste des actions de faible envergure, elles sont positives.

Le **Chapitre 8** s'avèrera ainsi être une conclusion du diagnostic qualitatif : il s'agira de présenter les divers acteurs de la dégradation de l'eau, en prenant en compte le degré de pression de chaque catégorie (industries, agriculture, urbains...) en fonction du type de polluant rejeté et de la quantité d'eau utilisée. Les chapitres suivants ouvriront sur la nécessité d'agir pour préserver la qualité de l'eau et sur les solutions possibles. Dans le **Chapitre 9**, nous aborderons l'urgence du changement sur le plan sanitaire, socio-économique et environnemental. La pollution des canaux, la prolifération des déchets et des bactéries dans les réseaux d'irrigation ou encore la pollution des sols, ont entraîné une baisse des valeurs foncières des habitations riveraines des canaux, une baisse des rendements agricoles, sans compter les risques de maladies pour l'homme et les conséquences environnementales pour la faune et la flore. Dans le **Chapitre 10**, nous proposerons un certain nombre de solutions préventives et curatives pour limiter la pollution croissante. Cela va de simples actions à des moyens de traitements modernes et coûteux, mais nous nous attacherons surtout à mettre en exergue la nécessaire prise de conscience collective sur la préservation de l'environnement en général et de l'eau en particulier. Enfin, parce que l'ensemble des actions en faveur de l'environnement nous paraît frileux, nous aborderons dans le **dernier chapitre** la question du futur de l'oasis de Mendoza, si la gestion de la ressource en eau n'évolue pas. L'oasis de Mendoza, dans sa gestion actuelle, est-elle durable ? Ce sera la question finale de notre travail.

Chapitre 8 :

Une origine diverse et une responsabilité partagée

L'oasis au milieu du désert est un géosystème, où les systèmes naturels (hydrosystèmes superficiels et souterrains, pédosystème….) et l'anthroposystème fonctionnent presque en vase-clos. Ainsi, et c'est plutôt positif dans une démarche de recherche, les actions de chacun sont plus différenciées, moins « noyées dans la masse », et les responsabilités sont plus facilement dégagées. Nous assumons de fait l'aspect « catalogue » de chapitre, qui nous paraît nécessaire pour comprendre les problèmes et agir en conséquence.

Nous aborderons de fait la question de la responsabilité de l'agriculture, principal secteur économique de Mendoza (culturellement parlant) dont l'impact sur la qualité de l'eau est relativement limité puisque l'usage des fertilisants est faible. En revanche, l'agriculture, par sa grande extension spatiale (plus de 1 000 km²), en particulier en zones basses et mal drainées, est le principal responsable de la **salinisation anthropique** des sols et des eaux de la nappe phréatique, par une irrigation souvent mal maîtrisée. L'industrie est, en ce qui concerne les paramètres physiques, chimiques et microbiologiques, à l'origine de l'impact anthropique le plus fort sur la qualité de l'eau du réseau d'irrigation. Seulement cet impact, quoique conséquent, demeure localisé puisque les industries sont installées dans des complexes et les rejets ne concernent que quelques rares canaux ou collecteurs (à l'exception des métaux lourds dans le río Mendoza en amont du barrage de Cipolletti). Enfin, la pollution domestique et urbaine est largement négligée à Mendoza. D'une part, se pose le problème des « effluents domestiques », puisque le système existant n'a pas la capacité pour traiter les effluents d'un million d'habitants, d'autre part se pose celui de la dispersion des macro-déchets (poubelles ou résidus solides), qui bouchent les canaux d'irrigation au niveau des écluses et provoquent des inondations en amont et des pertes de débits en aval.

8-1- L'agriculture, une pollution diffuse mais limitée

Le secteur agricole à Mendoza est donc double : ceinture maraîchère et cultures méditerranéennes tripartites vigne/vergers/oliviers (cf. *supra*). L'utilisation des intrants agricoles diffère en fonction du type de culture, mais aussi du type de sol ou de climat. Le sol mendocino est relativement riche (cônes de déjection successifs) et ne requiert pas une utilisation d'engrais importante. De fait, même si la surface cultivée est immense, la présence de nitrates, phosphates et potassium dans les eaux se révèle faible. Pour le moment, il apparaît que l'usage de pesticide a été limité puisque le climat sec ne favorise pas le développement des maladies. Mais en l'absence d'analyses de concentrations des produits phytosanitaires, il est difficile de se forger une opinion. Malheureusement, il apparaît que les quantités utilisées augmentent peu à peu et les métaux lourds mesurés dans le río Mendoza posent la question du drainage des pesticides agricoles vers les tributaires naturels.

Malgré tout, le problème le plus important en ce qui concerne l'agriculture demeure celui d'une irrigation mal maitrisée, facilitant les remontées de sels dans les sols et la nappe phréatique.

8-1-1- Les intrants chimiques

Vigne – A Mendoza, le système vitivinicole est différent de celui que nous connaissons en France. En effet, si quelques grandes caves assurent à la fois viticulture et vinification, ce n'est pas le cas partout. Généralement, le viticulteur (*viñetero*) est un simple producteur, qui vend ses raisins à des *bodegas*. Les *bodegas* (gérées par le *bodeguero*) sont soit des caves coopératives qui achètent les raisins aux producteurs et qui vinifient en fonction des cépages (et non du terroir vinicole), soit des *bodegas*-domaines qui vinifient leur raisin et complètent éventuellement leurs cuves avec du raisin acheté. Si le système de château du Bordelais tend à se développer dans le *Valle de Uco* (oasis du río Tunuyán supérieur, cf. introduction) avec une référence quasi-systématique à la localisation géographique « valle de Uco » sur les bouteilles, il est relativement peu implanté dans l'oasis du río Mendoza. Ainsi nous paraît-il important de **séparer la viticulture en tant qu'agriculture, et la viniculture en tant qu'industrie.**

La culture de la vigne sur terrains irrigués ne requiert pas d'intrants en quantités importantes. Il est certes nécessaire d'apporter des fertilisants (sous forme de NPK) aux jeunes pousses pour qu'elles se développent, mais sur des vignes d'une durée de vie de plusieurs dizaines d'années, cela ne présente pas une pollution conséquente. Quand la plante grandit, elle a besoin de soleil et donc d'un feuillage peu développé. Il n'est donc pas très intéressant d'apporter de nouveaux engrais. Si la vigne n'est pas très gourmande en intrants agricoles (NPK), elle est cependant sujette aux maladies, si bien que les produits phytosanitaires (fongicides, pesticides, insecticides surtout, même herbicides) sont de plus en plus employés, alors que les conditions climatiques sub-désertiques ne sont pas très favorables à ces maladies. Néanmoins, au regard de la présence de sulfates et de cuivres dans les effluents des *bodegas*, et dans le río Mendoza, drain naturel de l'oasis, on peut penser à une pollution des sols à la bouillie bordelaise. Si les données dont nous disposons ne sont pas suffisantes pour valider notre hypothèse, celle-ci n'est cependant pas écartée.

Vergers/oliviers – L'oasis Nord (ríos Mendoza et Tunuyán inférieur) a privilégié les fruits à noyaux, laissant les fruits à pépins aux oasis Centre (*Valle de Uco*) et Sud (oasis de San Rafaël-Général Alvear et Malargüe). De fait, l'oasis du río Mendoza cultive des pêchers, des abricotiers, des pruniers… dont les fruits sont mis en conserve. Ces arbres, tout comme la

vigne, n'ont besoin d'intrants NPK que les deux, voire trois, premières années. Néanmoins, les arbres fruitiers sont fragiles et requièrent une utilisation de produits phytosanitaires en grandes quantités, notamment des insecticides.

Quant aux oliviers, très rustiques à Mendoza, ils ne nécessitent pas d'apport quelconque en produits chimiques ou organiques. Cependant, avec une demande croissante en huile d'olive de très bonne qualité pour l'international, on assiste depuis quelques années au retour de la contrainte « quantité » pour les agriculteurs. De nouveaux arbres sont plantés dans toute l'oasis, souvent dans les terrains les plus salins et les moins fertiles ; il suffit de se promener dans l'oasis pour s'en convaincre. Afin d'accélérer la croissance de ces jeunes oliviers les agriculteurs ont depuis peu recours à des engrais organiques, comme l'humus (cf. *infra*), chargés en minéraux NPK.

De manière générale, et cela concerne les trois cultures méditerranéennes, quand le peso ($AR) est fort, c'est-à-dire proche du dollar américain, l'utilisation en engrais augmente puisqu'il est généralement importé (du Chili voisin riche en guano par exemple) ; à l'inverse, depuis la crise de 2001-2002, la consommation d'engrais à Mendoza paraît avoir chuté (Ing. SALATINO, communication personnelle).

Cultures maraîchères – Les légumes à Mendoza sont cultivés dans ce que l'on appelle la ceinture verte, correspondant à la première couronne agricole entourant l'agglomération mendocina. Elle coïncide avec la zone d'exsurgence de la nappe phréatique, à la limite entre aquifère libre et aquifère confiné **(Fig. 14)**. Cet affleurement de la nappe permet le développement d'une agriculture maraîchère qui approvisionne non seulement la ville de Mendoza en légumes frais, mais aussi ses usines de conserves et le marché argentin. On estime que la production d'ail dans la province correspond à 75 % du total national. Le chiffre de 70 % s'applique à la tomate de transformation et celui de 16 % aux oignons (Censo agrícola, 2003, INDEC, en ligne). Que ce soit ces légumes ou d'autres comme la pomme de terre, le céleri, la carotte et le potiron, **l'utilisation d'engrais NPK est généralisée et insecticides, herbicides et autres produits phytosanitaires sont considérés comme indispensables à la santé des végétaux**. Là encore, nous retrouvons des traces de ces intrants agricoles dans le río Mendoza. Certains ménages du *Gran Mendoza* possèdent également un jardin potager, ce qui peut en partie expliquer les concentrations en nitrates plus importantes dans la nappe phréatique au niveau de l'agglomération, qu'au niveau des cultures. Les engrais utilisés dépendent avant tout des moyens financiers de celui qui les emploie. Ainsi, les engrais chimiques semblent remplacer peu à peu les engrais organiques (guano en majorité car les côtes du Pacifique ne sont pas si éloignées) depuis l'inflation des dernières années.

L'agriculture est relativement intensive à Mendoza dont l'économie est en grande partie axée sur le secteur agro-alimentaire. Cette agriculture, entièrement irriguée soit par canaux, soit par forages, est consommatrice en engrais NPK, mais la contamination des eaux par ce biais n'est pas importante. En revanche, le recours quasi systématique aux produits phytosanitaires est plus inquiétant. Mais aucune étude n'a véritablement été réalisée sur la pollution des eaux et des sols par les pesticides.

L'étude réalisée par FERNANDEZ *et al.* en 2006 présente un tableau de l'ISCAMEN **(Tab. 10)**, organisme contrôleur de l'usage des produits phytosanitaires à Mendoza. Ce tableau indique les pesticides les plus commercialisés dans la province mendocina.

Selon les mêmes auteurs, parmi les produits phytosanitaires commercialisés, en termes de quantités, on comptabiliserait 63,1 % de fongicides, 20,4 % d'insecticides, 14,4 %

d'herbicides, 0,3 % d'acaricides (restent 1,8 % d'autres produits).

CLASSIFICATION CHIMIQUE	PRODUIT
Organophosphatés	*Clorpirifos*
	Metil Azinfos
	Mercaptotion
	Metidation
	Dimetoato
	Metamidofos
Carbamatos	*Carbufuran*
	Aldicarb
	Carbaril
	Carbosulfan
	Metomil
Dirtiocarbamatos	*Mancozeb*
	Zineb
	Dimetomorf + Mancozeb
	Propineb
	Ziram
Piretroïdes	*Lambdacialotrina*
	Permetrina
	Cipermetrina
	Beta - Ciflutrina
	Fenvalerato
Autres	*Soufre*
	Sulfate de Cuivre
	Glifosato
	Polisulfure de Calcium
	Huile minérale
	Captan + Soufre
	Oxyclorure de Cuivre

Tab. 10 : Produits phytosanitaires les plus commercialisés à Mendoza
Fuente ISCAMEN (Miranda) in Fernández *et al*., 2006

8-1-2- Une grande responsabilité dans les processus de salinisation

Enfin, et cela concerne les trois orientations agricoles, l'irrigation favorise les remontées de sels dans les sols (SALOMON, 2006). En effet, une irrigation en elle-même favorise la remontée des sels par capillarité, mais de surcroît, si elle est mal contrôlée, trop « intensive », les excédents salinisés percolent et s'incorporent peu à peu au niveau phréatique (1er niveau supérieur). Ces précipitations d'eau en profondeur excercent une pression du premier niveau sur les aquifères inférieurs, qui sont menacés à terme **(Fig. 64)**. Par ailleurs, les prélèvements d'eau dans les horizons 2 et 3 abaissent leur pression. Ainsi cette différence de pression produit-elle une intrusion saline depuis le niveau phréatique, vers le niveau inférieur, et éventuellement vers le troisième. A cette différence de pression s'ajoute celle de l'eau salée qui, plus lourde, descend par gravité. Les passages d'eau salée depuis l'horizon supérieur vers les niveaux inférieurs se font de trois façons : d'une part, les limons sont peu imperméables et discontinus, ce qui permet un flux par « confinement » ; d'autre part, certains puits sont cassés ou mal cimentés et permettent l'intrusion d'eau salée, qui circule ensuite

librement dans les puits vers les horizons inférieurs ; enfin, il existe une circulation, ou plutôt un ruissellement modeste des eaux le long des tubes des forages. L'intrusion par confinement est considérée comme plus importante que celle qui s'effectue par les puits cassés selon l'INA-CELA (LLOP, 2002). Malheureusement, 30 % des puits sont en mauvais état, en particulier à l'est du río Mendoza (municipalité de San Martín) où ce chiffre atteint 80 %, et ce dans une zone où l'AEP se fait uniquement par voie souterraine !

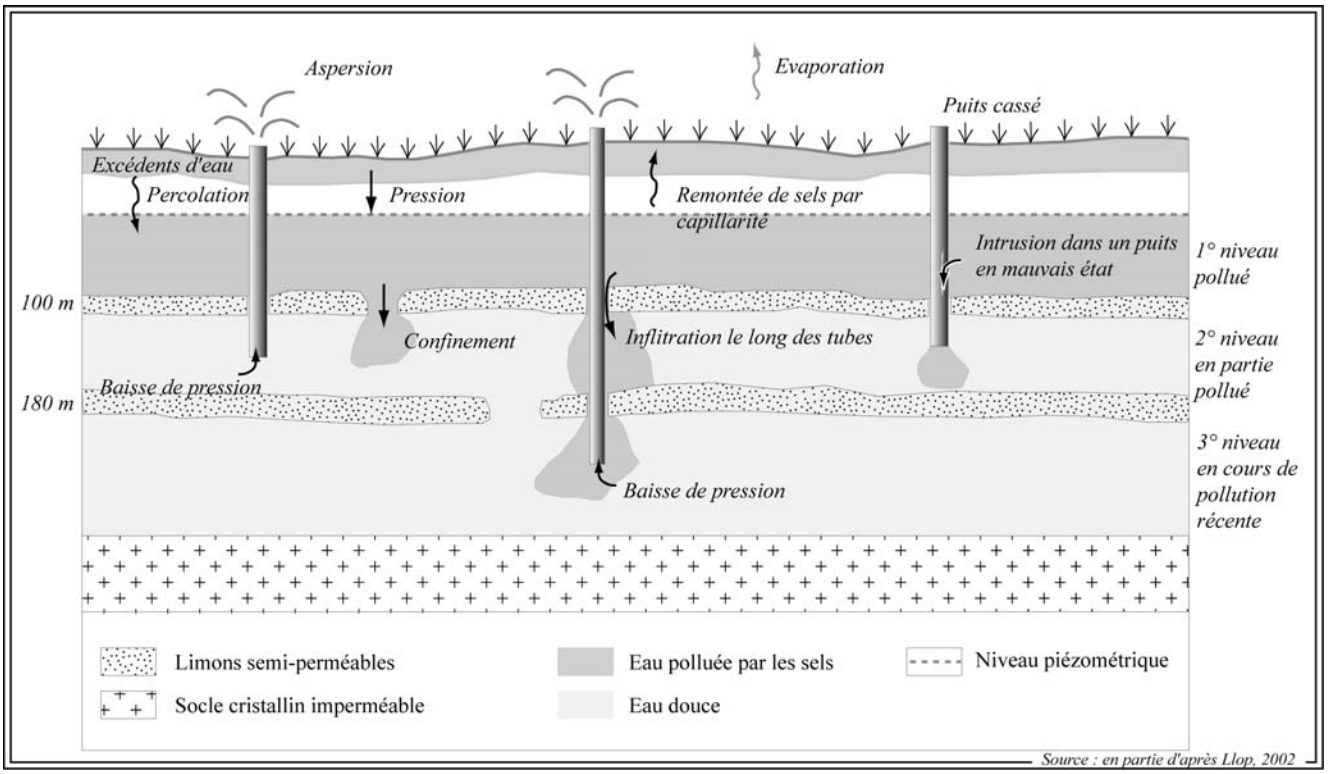


Fig. 64 : Salinisation des aquifères par la pression agricole
Source : en partie d'après LLOP, 2002, *modifié*

8-2- L'industrie, un impact anthropique conséquent mais localisé

La mutation de la cité indigène vers une oasis moderne a permis le développement d'une branche industrielle agro-alimentaire qui pèse sur le marché national. D'ailleurs ce secteur représente 50 % des entreprises industrielles mendocinas. La seconde branche est celle de l'énergie, par la production de minerais, de combustibles ou l'extraction du pétrole. L'énergie est bien le second secteur en nombre d'entreprises, mais il compte de plus en plus en termes de production de richesse (17 % du PPB (Produit Provincial Brut)). Cela implique un changement important dans **les priorités des politiques de distribution** de l'eau. L'industrie de l'énergie a, depuis une dizaine d'années, plus de poids économique et devient de fait le client industriel principal du DGI (*Departamento General de Irrigación*, cf. *supra*), avant l'agro-alimentaire.

8-2-1- les industries agro-alimentaires

En termes de quantité, l'usage de l'eau par l'industrie agro-alimentaire est comptabilisé dans les usages agricoles par le DGI. Mais en termes de qualité, nous

considèrerons ces deux types d'activité de manière distincte. En effet, l'agriculture s'étend sur un espace beaucoup plus large, impliquant une diffusion des pollutions à l'échelle de l'oasis. A l'inverse, à l'exception de quelques entreprises un peu éparpillées dans l'oasis, la majorité des industries se concentre dans des complexes industriels. La pollution devrait donc être plutôt localisée ; c'est l'hypothèse que nous proposons dans ce sous-chapitre.

- **Les *bodegas***

Dans l'optique de son mémoire de Maîtrise sur les enjeux environnementaux des effluents vinicoles en Médoc (France), BERVILLE (2001) a réalisé un travail de recherche bibliographique sur les pollutions émises par la vinification en France. Il en résulte que si l'adage « *il faut un litre d'eau pour faire un litre de vin* » n'est pas parfaitement exact, la vinification est une source particulièrement importante de pollution des eaux. Cette eau est principalement utilisée pour des opérations de nettoyage. Nettoyage des outils (presse, cuves, sécateurs…), des contenants (bouteilles, bouchons), mais aussi des raisins. Au fur et à mesure de la transformation du raisin en vin, se produisent des « *pertes de produit (moût, vin), des pertes de sous-produit (rafles, pépins, pellicules, bourbes, lies, tarte), des produits de traitement du vin (colle, terre de filtration, crème de tarte), des produits de nettoyage et de désinfection* » (*Ibid.*).

L'auteur précise que les effluents vinicoles se décomposent en deux fractions : la fraction insoluble et la fraction soluble. La première est constituée d'éléments dits grossiers (rafles, pulpe, pépins, lies…) tandis que la seconde contient des pollutions « *provenant des pertes de matière première ou de produit fini constituées d'éléments organiques naturellement présents dans la composition du raisin ou du vin (sucres, acides organiques, alcools) et de pertes de matières premières ou de produit fini (ces différentes substances à la forte DCO sont biodégradables), mais aussi de produits œnologiques, de produits de nettoyage et de désinfection.* ».

D'après les différentes recherches réalisées sur les effluents vinicoles, il apparaît que les plus gros rejets de polluants sont principalement les matières organiques solubles (DCO, DBO_5, cf. *supra*) et les matières non solubles (MES). On mesure dans les effluents vinicoles un pH généralement acide (entre 4 et 6), « *sauf quand des produits alcalins sont utilisés pour le nettoyage* » (BERVILLE, 2001). Il est peu admis, et donc cette information est à prendre avec précaution, que certaines caves utilisent des détergents pour le nettoyage contenant des produits toxiques.

Par ailleurs, la prolifération des MES limitant la photosynthèse, il est relativement fréquent qu'en aval des rejets vinicoles, l'eau perde en concentration d'oxygène dissous. Certaines analyses effectuées par le CEMAGREF de Lyon (*in* BERVILLE, 2001) indiquent des concentrations en nitrates et orthophosphates assez fortes dans un cours d'eau où sont rejetés des effluents vinicoles. En effet, les valeurs en nitrates avoisinent 10 mg/l, tandis que les phosphates sont bien plus hétérogènes (0,2 ; 2,1 ; 3 et même 10 mg/l !).

Les *bodegas* de Mendoza sont assez localisées. On les trouve, pour les plus traditionnelles et familiales d'entre-elles, le long des grands axes routiers nord-sud et est-ouest et dans les zones industrielles pour les coopératives. Le cas de la *zona alcoholera* est particulièrement illustratif, avec ses 50 *bodegas*, mais sur l'ensemble du BV du río Mendoza, il existe 211 *bodegas* enregistrées au RUE (*Registro Único de Establecimiento*, registre unique des établissements). Les effluents vinicoles ont donc un impact plus ou moins conséquent sur l'environnement. Les entreprises industrielles de la zone *Pescara* (*zona alcoholera* notamment) doivent disposer par exemple d'une station personnelle de traitement

des effluents (cf. *supra* et *infra*). Les entreprises familiales, pour certaines, disposent aussi de bassins de décantation ou de dépuration, mais ce n'est pas une obligation. Les effluents sont rejetés dans les canaux d'irrigation dans leur grande majorité, sans aucun traitement préalable. De fait, au regard du diagnostic hydro-qualitatif, il s'avère que le collecteur Pescara, principal drain industriel, est marqué par une turbidité importante, une couleur et une odeur prononcées, des bactéries, une température plus élevée de 2°C que la partie amont, un pH plus acide que dans les autres cours d'eau, des phosphates, du cuivre, des sulfates en quantités, et une hypoxie marquée. L'industrie de vinification à Mendoza est le fer de lance de l'économie. Mendoza ne serait pas ce qu'elle est devenue sans ses *bodegas*. Néanmoins, il s'avère indispensable que les autorités prennent conscience de l'impact de cette activité sur la ressource, afin de prendre des mesures en collaboration avec les *bodegueros*

- **Les usines de conserves de fruits et légumes**

La préparation des fruits et légumes pour la mise en conserve nécessite beaucoup d'eau, pour le nettoyage des aliments, mais aussi des appareils, des ateliers et des conserves de métal. Cette industrie (40 entreprises dans le BV (RUE)) est surtout productrice d'effluents organiques (pépins, noyaux, peau, tiges, feuilles, terre…) mais aussi de déchets non organiques comme les étiquettes ou conserves. Enfin, les résidus de colle constituent une pollution chimique conséquente.

Cet impact industriel est lui aussi localisé, dans les mêmes complexes industriels que les *bodegas*, les abattoirs ou d'autres industries de transformation. De fait, le caractère hypoxique des collecteurs des eaux industrielles et les métaux lourds présents dans l'oasis ne peuvent être imputable à un seul acteur : la *bodega*. En effet, les usines de mise en conserve participent pour beaucoup à la pollution des eaux par les intrants agricoles et au développement des paramètres bio-chimiques comme les bactéries, la DCO, les MO, ou la baisse de l'oxymétrie.

- **Les fabriques d'huile d'olive**

Selon Emilio REARTE (2006 et 2007), Ingénieur agronome, Professeur de la Faculté d'Agronomie de Mendoza et propriétaire d'une des deux fabriques d'huile d'olive de l'oasis, cette industrie produit environ, pour chaque kilo d'olives, 50 % d' « *alpechín* » (eau de végétation des plantes), 35 % d' « *olujo* » (matière solide à 32 % et huile d'*olujo* à 3 %)), et 15 % d'huile. Aux 50 % d'eau (*alpechín*), il faut ajouter 10 l (10 %) d'eau potable utilisée pour laver les olives. Ces effluents possèdent une conductivité de 20 à 30 mS/cm (20 000 à 30 000 µS/cm), une DBO élevée qui interdit que ces effluents soient rejetés dans les canaux publics par risque de prolifération de micro-organismes préjudiciables pour la santé comme l'*Escherichia coli* (le principal coliforme fécal) et des composés phytotoxiques comme les phénols et beaucoup de nutriments NPK. Le DGI a signé des contrats avec les deux fabriques d'huile d'olive pour qu'elles ne rejettent pas ces effluents solides et liquides dans les canaux afin d'éviter les maladies et la minéralisation de l'eau à usage agricole. Les entreprises doivent utiliser ces effluents à l'intérieur même de leur domaine. De fait, les propriétaires peuvent traiter l'eau et les déchets solides, ils peuvent également les déposer sur leur terrain, au pied des oliviers et attendre que l'eau d'irrigation lessive ces polluants jusqu'à la nappe phréatique. Nous aborderons en Chapitre 10 les différentes solutions proposées pour traiter ces effluents.

- **Les abattoirs**

En Argentine, Mendoza n'est pas connue pour être une province d'élevage très productive : la grande majorité des races à viande bovines se trouve dans la Pampa humide, celle des races ovines en Patagonie. De fait, il y a peu d'abattoirs à Mendoza. Cela dit, il existe deux entreprises d'abattage de bétail dans le complexe industriel Pescara et, de l'aveu même des Mendocinos, c'est une eau rouge-sang qui circulait dans le collecteur Pescara avant la mise en place du Système de traitement par dilution (cf. *supra*). Ce sont avant tout des déchets organiques (sang, peaux, os, viscères…) et des produits de nettoyage des outils, tables, sols…(détergents) qui composent les rejets de ce type d'industrie.

8-2-2- Les industries de l'énergie

L'énergie, premier secteur économique de la province en termes de PNB (ou plutôt de Produit Provincial Brut), est largement soutenue par les autorités gouvernementales. C'est donc un secteur peu contraint en ce qui concerne la lutte contre la pollution des eaux, des sols et de l'air. Dans ce contexte, ne trouvant au départ aucune information sur la pollution par les industries de l'énergie, nous nous sommes interrogée sur l'impact environnemental ou sanitaire de ces industries. Il est vrai que ces activités sont, pour la majorité, situées en amont de l'oasis et nous avons naïvement pensé que la ressource en eau était tellement importante pour Mendoza que tous les risques de pollution avaient été mesurés et que les entreprises étaient très contrôlées et véritablement encadrées. Or, il s'est avéré d'une part que l'information sur les problèmes de qualité de l'eau industrielle circule relativement peu, et d'autre part que toutes ces activités énergétiques n'ont pas les mêmes conséquences pour la ressource en eau.

- **L'hydroélectricité**

Rappelons que le système hydroélectrique de Mendoza est assez simple. Le barrage de Potrerillos retient les eaux en moyenne montagne et les dévie vers une première centrale, Cacheuta, via un canal souterrain **(Fig. 21** et **23)**. Les eaux actionnent les turbines de Cacheuta, participent à la production d'électricité, puis sont conduites via une canalisation souterraine suivie d'un canal à ciel ouvert jusqu'à une deuxième centrale, Alvarez Condarco – qui fonctionne sur le même modèle que la précédente – avant d'être redistribuées au río Mendoza à son entrée en plaine.

Sur le plan qualitatif, il apparaît que les eaux qui passent par le système hydroélectrique ne sont pas modifiées quant à leur composition. Seules des **variations de températures** peuvent être observées, selon la vitesse de circulation de l'eau dans le canal à ciel ouvert, le débit des eaux déviées… mais on ne peut pas parler de pollution puisque les caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques ne sont pas modifiées. En revanche, le río Mendoza naturel, dans sa partie située entre le barrage de Potrerillos et la restitution des eaux en plaine, voit son débit largement amputé. Or, d'une part, c'était dans cette partie que la recharge de la nappe souterraine était la plus forte. Il y a donc une limitation des infiltrations d'eau en profondeur et par conséquent de la filtration des pollutions. D'autre part, les débits laissés au río naturel sont tellement faibles que le lit se traverse quelquefois à pied, que l'eau est bloquée dans des mares où l'ensoleillement favorise le développement de bactéries et l'eutrophisation. Les conséquences pour l'homme situé en aval sont minimes, mais c'est une atteinte forte au milieu naturel de la gorge de Cacheuta.

- **L'énergie thermique**

La Centrale Thermique de Mendoza (CTM) est implantée dans le Parc Industriel Provincial (PIP) de Luján de Cuyo (dit de la raffinerie) mais elle n'entre pas dans le même système de distribution-rejet. Du barrage de Compuertas est dérivée une partie des eaux de la rivière, vers le PIP. Cette eau est partagée entre la distillerie et la centrale thermique. La centrale n'utilise cette eau que pour le refroidissement de la vapeur. En théorie, elle ne sert pas au nettoyage de machines. Cette eau passe donc dans un circuit et quitte la CTM, réchauffée, pour être renvoyée par des canalisations souterraines vers les stations AEP de la Municipalidad de Luján, et d'OSM.SA. : Luján I et Luján II **(Fig. 18** et **19)**. Une fois dans les stations, elle passe par des séries de piscines à ciel ouvert où elle reprend une température conforme à celle de l' air. Si le circuit est tel qu'il est explicité dans les publications, il n'y a aucune pollution de l'eau à l'exception de variations de température.

- **L'extraction du pétrole et du gaz**

Il y a dans la province de Mendoza, deux bassin-versants hydrogéologiques renfermant du pétrole et du gaz en profondeur : au sud le bassin de Malargüe-Neuquén (concerne le sud de la province de Mendoza), et le bassin *cuyano* (du Cuyo) au nord de la province, entre les ríos Mendoza et Tunuyán au sud de l'oasis. Chaque jour, 12 000 m^3 de pétrole et 6 000 m^3 de gaz sont produits à Mendoza, par ses 1 455 puits actifs. Or, ce bassin est situé en partie sur le bassin-versant de l'oasis du río Mendoza (sous-BV du Carrizal) et cette activité est un risque de pollution important pour notre zone d'étude.

L'extraction se fait à 3 000 m de profondeur, au niveau de l'anticlinal du Carrizal (*cerro de Lulunta*). Le dôme anticlinal abrite des poches d'hydrocarbures mélangées avec de l'eau fossile. Ce liquide mixte (pétrole-eau ou eau-gaz) est pompé jusqu'à la surface et transporté via des canalisations de surface fermées, jusqu'au lieu-dit Barrancas **(Fig. 65)**. Ce quartier de Luján, situé dans le synclinal du Carrizal, est connu pour accueillir la batterie de purge d'YPF (*Yacimientos Petroliferos Fiscales*), succursale argentine de la multinationale pétrolière d'origine espagnole Repsol. La batterie de purge est un complexe technologique dont la vocation est de séparer les hydrocarbures de l'eau. Le pétrole et le gaz sont alors conduits par canalisations jusqu'à la raffinerie (Parc Industriel Provincial) où ils sont transformés (énergie, essence…), tandis que l'eau suit un chemin différent. En effet, cette eau de profondeur, mêlée d'hydrocarbures connaît une conductivité électrique exceptionnelle, avoisinant les 65 000 µS/cm ! Cette eau était, il y a quelques décennies, renvoyée vers un canal dont l'exutoire est le lac Carrizal, dans le BV du río Tunuyán. Le débit conséquent du río Tunuyán diluait les sels cachant cette pollution minérale, même si l'augmentation de la salinité des sols situés dans l'oasis du río Tunuyán inférieur se notait. Ce canal, devant l'augmentation des débits, consécutive à la croissance des activités industrielles, a quelquefois débordé, alimentant la nappe phréatique toute proche en eau très minéralisée. Or, une grande partie de l'irrigation du sous-BV du Carrizal est d'origine souterraine. De même, certains agriculteurs, ignorant la finalité de ce canal, détournèrent une partie des eaux pour l'irrigation. De fait, les terrains riverains de ce canal ont été alimentés par une eau extrêmement minérale, provoquant une chute dans les rendements agricoles de cette sous-région.

Des études menées par l'INA (Ing. Eduardo COMELLAS, communication personnelle) ont révélé la minéralisation excessive des eaux en sortie de la batterie de purge et ont préconisé que cette eau soit renvoyée dans le sous-sol, en profondeur (> 1000 m), de manière à ce que cela ne gène pas les activités humaines **(Fig. 65)**. Malheureusement, le

Carrizal est un bassin de cultures pérennes (vignes, amandiers, pruniers) et le secteur agricole a connu une crise économique passagère, le temps que sols et plantes se rétablissent de cette pollution chronique.

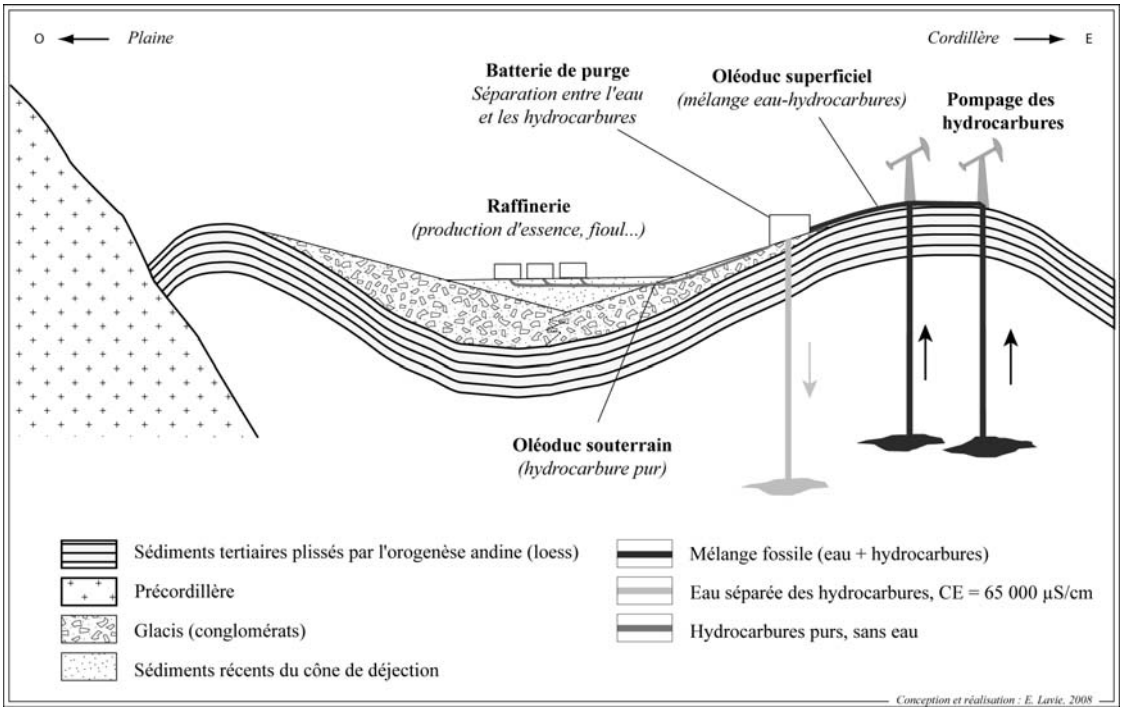


Fig. 65: Procédé d'extraction et de purge des hydrocarbures au sud de Mendoza

Les hydrocarbures sont donc pompés dans l'anticlinal du Carrizal, puis purgés à Barrancas, à l'est du synclinal, enfin raffinés dans le Parc Industriel Provincial, plus à l'ouest. Confinés dans des canalisations puis dans des cuves imperméables, le pétrole et le gaz ne devraient alors plus constituer un risque de pollution, sauf en cas de fuite. Néanmoins, la raffinerie a besoin d'eau pour le nettoyage des cuves, des outils, pour le refroidissement des machines, etc. Cette eau est puisée dans le río Mendoza, au niveau du barrage de Compuertas (cf. *supra*). Elle est canalisée jusqu'à la raffinerie et collectée pour la restituer au milieu. En théorie, de petites stations d'épuration des eaux usées par lagunage doivent traiter cette eau. Mais le système n'est pas infaillible. D'abord, parce qu'il peut là encore y avoir une fuite, ce qui n'aurait rien d'étonnant étant donné l'âge de certaines cuves ; ensuite, parce que lors des précipitations les eaux ruissellent très vite sur les sols imperméabilisés, se chargeant de tous les éléments pollués de la surface de la raffinerie. Les eaux, traitées ou ruisselées, sont stockées dans des bassins où elles sont sommairement épurées, puis dérivées par deux drains vers le río Mendoza. Un de ces drains conflue avec la rivière en amont du barrage de Cipolletti où les eaux sont utilisées à des fins anthropiques, le second alimente le río à sec en aval du barrage et les eaux s'infiltrent **(Fig. 63)**.

Ces deux drains de rejets d'effluents industriels sont contrôlés par le DGI une fois par mois selon les techniciens du barrage de Cipolletti (communication personnelle). Ils nous ont aussi affirmé qu'il n'y avait aucun risque pour la consommation humaine. Cependant, la forte concentration en métaux lourds, notamment en cadmium et en plomb (cf. *supra*, partie III), amène à s'interroger sur les conséquences de cette activité de raffinerie sur la qualité de l'eau du río Mendoza. De même, les augmentations de cadmium et de zinc dans les eaux entre le río Mendoza (RI) et le canal Flores (CIV), en aval du sous-BV du Carrizal, démontrent des failles dans le système de collecte des eaux de ruissellement du PIP. Le système de collecte

des eaux de ruissellement du PIP, visant à protéger le réseau agricole de cette pollution, n'est visiblement pas suffisamment efficace.

Par ailleurs, au cours du second trimestre 2008, les journaux locaux (LOS ANDES, 2008c) ont médiatisé une affaire de fermeture administrative d'une entreprise, *Polipetrol* (raffinerie de pétrole) dont le principal client n'est autre que la Centrale Thermique de Mendoza (CTM). Le sub-secrétariat à l'environnement (dépendant du Ministère de l'environnement et des travaux publics, MAyOP) a décidé de la fermeture pour 30 jours de la raffinerie pour les raisons suivantes : « *Les responsables de la mesure (Sub-secrétariat de l'Environnement) rendent responsables l'entreprise d'« écoulement d'hydrocarbures par des valves qui ne se ferment pas bien », de posséder « des terres contenant du pétrole », de ne pas disposer d'un système adéquat de défense contre les incendies, en plus d'exhiber « des déchets dangereux à ciel ouvert », et de ne pas être accréditée d'une habilitation de la part de la municipalité* » (LOS ANDES, 2008c). Mais sept jours plus tard, le même périodique annonçait la réhabilitation de la raffinerie (LOS ANDES, 2008d). L'entreprise a écopé d'une amende de 20 000 $AR (5 000 €) et reste dans l'obligation de gérer dix-sept points critiques, dont la fin des déchets stockés à ciel ouvert, l'imperméabilisation du dépôt d'additifs chimiques, la réalisation d'infrastructures visant à empêcher les ruissellements d'hydrocarbures à même le sol…. Mais outre le soulagement pour les cinquante employés contraints au chômage technique (rares sont ceux qui ont une assurance contre le chômage), ni la municipalité de Luján, ni l'*Inspección de Cauce* n'adhérèrent à cette décision. La municipalité n'a toujours pas donné d'habilitation tandis que César BIRITOS, Inspecteur du DGI pour cette zone, la juge « *illégale et illégitime, car elle ne répond pas aux réquisitions d'ordres national, provincial et municipal* » (*Ibid*.).

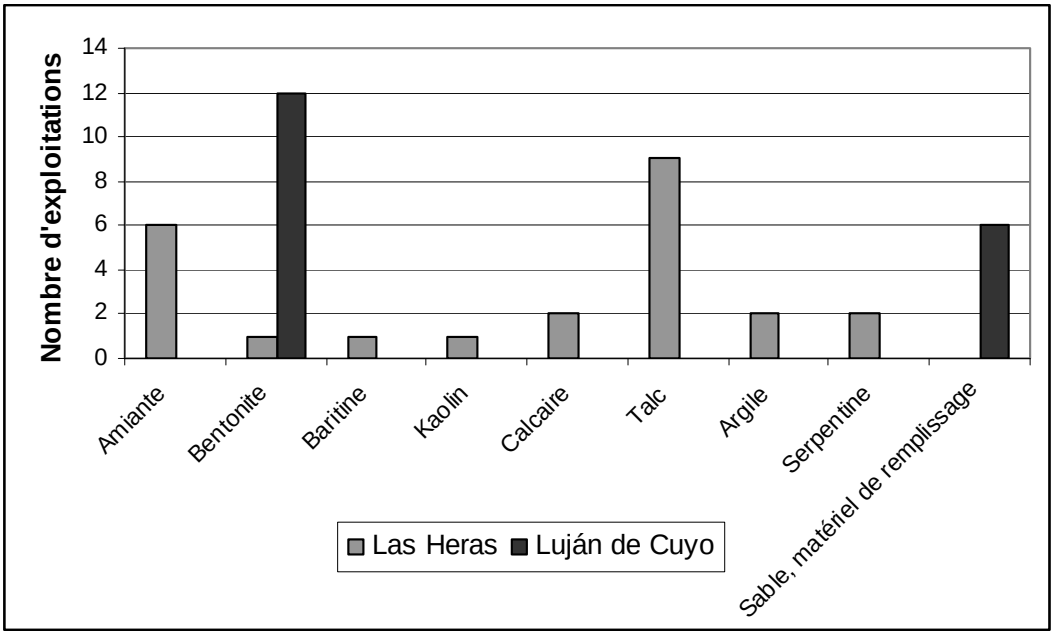
Ces grippages administratifs cachent un problème récurrent dans la gestion des pollutions. En effet, le PIP est producteur de devises, bien plus que les agriculteurs du sous-BV du Carrizal. Devant les moyens financiers générés par la raffinerie, en contexte de crise financière quasi-perpétuelle, les autorités sont amenées à fermer les yeux devant la pollution de la ressource en eau. Ce problème de laisser-faire n'est pas l'exclusivité des pays émergents, nous l'avons maintes fois dénoncé en France. A Mendoza, cela s'est manifesté pour le Système Pescara, pour le PIP et pour les activités d'extraction des minerais.

- **L'activité minière**

L'extraction des minerais a été l'une des logiques de l'arrivée de migrants dans la province. D'après de nombreux écrits sur l'histoire de Mendoza (Gobierno de Mendoza, 1998), l'activité a débuté avant la fondation de la cité espagnole. Une lettre parvenue au Roi d'Espagne précisait même qu'il y avait autant de minerais à Mendoza qu'à Potosí. L'Argentine, qui doit son nom à un minerai précieux, doit aussi son peuplement à la renommée minérale du piémont andin. Sans véritablement créer une « ruée vers l'argent », Mendoza a en partie été développée grâce à l'industrie de l'extraction des minerais (OIKOS, 1998).

Ces gisements, enserrés dans les roches métamorphisées des Andes, ont permis le développement des départements andins, notamment Las Heras, qui produit près de 71 % du volume provincial de minerais, et de Luján de Cuyo, deuxième département avec 17 % du volume provincial. De fait, si on ajoute les très faibles productions de Lavalle, Capital, Godoy Cruz ou Las Heras, ce sont près de 80 % des volumes provinciaux qui sont extraits dans le seul BV du río Mendoza.

A Las Heras **(Graph. 23)**, on travaille tout d'abord les roches destinées à la cimenterie (calcaire et argiles), mais il existe des gisements minerais non métallifères comme le talc, l'amiante, la serpentine et le gypse. De plus, lorsque l'économie de marché rend ces minerais rentables, certaines mines de bentonite, de kaolin ou de gypses, se remettent en activité. A Luján, on extrait surtout de la bentonite et des matériaux de remplissage comme le sable. Enfin, lorsque le marché le permet, Lavalle produit du sulfate de sodium. On trouve également quelques carrières de matériaux de remplissage à Capital, Godoy Cruz et Maipú.



Graph. 23 : Types de carrières en activité dans le BV du río Mendoza
Source : données OIKOS, 1998

Par ailleurs, si dans les gisements du Sud et du Centre de la province on exploite des mines d'uranium et de sels d'uranium comme à San Rafael, aucun minerai métallifère n'est officiellement exploité dans le BV du río Mendoza. Néanmoins, de nombreux projets d'installation de mines d'argent et d'or sont prévus pour les années à venir le long de la Cordillère des Andes, depuis le Pérou jusqu'en Patagonie. Le Cuyo n'est pas épargné par ce projet.

Le problème des mines peut être résumé en cinq points principaux : au premier rang desquels un usage excessif de l'eau, alors que les conflits dus à la quantité se multiplient. Cette activité génère ensuite des poussières en suspension qui provoquent des infections broncho-pulmonaires (THENIER, 2001). On peut évidemment y ajouter les dommages faits au paysage, mais les deux impacts les plus graves sont, d'une part, l'usage du mercure et du cyanure, et d'autre part, les drainages acides (DAM). En effet, l'usage d'éléments très polluants comme le mercure et le cyanure qui facilitent extraction, revêt des « *risques d'accidents et d'effets à court et moyen termes. Le mercure est beaucoup plus risqué parce qu'il reste dans les sédiments beaucoup plus longtemps et se bio-accumule à travers la chaîne alimentaire. Les produits de dégradation sont très toxiques pour la faune aquatique et, de plus, ils ajoutent des effets à ceux des drainages plus acides (…). Le soufre des roches, quand celles-ci sont moulues et pulvérisées par le traitement au mercure ou au cyanure, est mis en contact avec l'oxygène de l'air ou l'oxygène dissous de l'eau, et produit de l'acide sulfurique. L'acide sulfurique, à son tour, dissout les roches et entraîne les métaux lourds, qui ensuite*

s'accumulent dans la flore et la faune, pouvant contaminer l'homme, provoquant des dommages irréparables » (DEPARTAMENTO DE PASTORAL SOCIAL, sans date). Que la mine pollue les cours d'eau, cela n'est pas nouveau ; les connaissances sont suffisantes et il n'est pas nécessaire d'en dire d'avantage. Le plus intéressant est la manière dont cette pollution est vue par les acteurs locaux. En effet, le DGI, le Gouvernement local et les municipalités se taisent face aux pressions des grandes firmes minières multinationales. Le seul document du DGI que nous ayons trouvé où il est précisé que la mine peut provoquer des « *lixiviations de haute toxicité au cours d'eau récepteurs* », est un document non publié et censuré.

8-2-3- Les autres industries

A l'exception des *bodegas* traditionnelles et familiales éparpillées dans l'oasis, la très grande majorité des industries mendocinas est localisée dans des complexes industriels ou le long des grands axes autoroutiers nord-sud et est-ouest. Les effluents produits dans les zones industrielles empruntent toujours le même tracé. Les canaux qui alimentent les complexes industriels transportent les eaux usées vers les zones agricoles situées à l'aval et cette eau irrigue les domaines agricoles, producteurs des matières premières transformées ensuite dans ces complexes industriels. **C'est de fait un cycle de pollution qui s'est produit à Mendoza, entre les *fincas*** (domaines agricoles) **et les usines de transformation, majoritairement agro-alimentaires** (*bodegas*, conserveries).

Il existe à Mendoza un grand secteur d'**industrie des métaux**, en général destinés à la fabrication de matériel pour les agriculteurs ou les autres industries. Ce secteur est connu pour produire des effluents chargés de minerais lourds et plus légers comme le fer, le chrome, le zinc, le cadmium, l'arsenic, le plomb et le mercure. En théorie, ces industries doivent maintenant disposer d'un matériel de traitement des effluents industriels.

Par ailleurs, les **entreprises de transport de personnes et de marchandises** qui ne sont pas considérées comme des industries, participent à la pollution industrielle puisqu'elles sont implantées dans les mêmes ZI. En effet, le nettoyage des camions et des autobus nécessite l'utilisation d'eau potable qui ruisselle jusqu'à un collecteur, transportant les poussières, les huiles de moteurs, les détergents de lavage ou des résidus des produits transportés directement au réseau de canaux d'irrigation. Si certaines entreprises, sous l'impulsion du DGI et des municipalités, commencent à traiter ces eaux (Chapitre 10), la majorité continue de rejeter ces effluents directement dans les canaux, à moins d'être reliées au tout-à-l'égout. Il faut par ailleurs noter que les stations d'épuration par lagunage n'ont pas la capacité d'épurer les métaux lourds.

Enfin, il est une activité assez peu répandue à Mendoza, mais reconnue comme productrice d'effluents relativement chargés en polluants : l'**industrie du cuir**. On estime que les tanneries rejettent avant tout des MES (sable, terre, excrément et chaux), du chrome, du sulfure et du potassium, mais influent aussi sur la DCO ou la DBO. Bien que Mendoza ne soit pas une province véritablement tournée vers l'élevage comme c'est le cas du grand Est argentin, on a cependant dénombré trois entreprises dans le Complexe du Pescara (*Zona alcoholera*) et les taux de potassium mesurés dans le collecteur pourraient être originaires des tanneries.

8-3- La pollution domestique, un impact anthropique mal estimé

Dans la province de Mendoza, environ 80 % des habitants vivent dans l'oasis irriguée par le río Mendoza, ce qui laisse entendre la pression exercée par l'homme sur un espace aussi petit (1 156 km²). Cette pression se ressent dans la quantité d'effluents domestiques et par la quantité de macro-déchets produits par la population. Il est important de distinguer ces deux composants de la pollution de l'eau.

Il nous apparaît nécessaire ici de clarifier la définition du vocabulaire employé. Nous avons abordé la question des pollutions que nous appelons « professionnelles » puisqu'elles sont la conséquence du fait de travailler, de produire : c'est le cas des impacts agricoles et industriels. Il faut les distinguer des pollutions « domestiques », qui découlent du fait de vivre, de consommer et qui englobent toute la population, sans différenciation de métier ou d'activité. Parmi les pollutions domestiques, il y a les « effluents domestiques », c'est-à-dire les rejets liquides des foyers et des lieux publics, suite à utilisation de l'eau pour des besoins primaires (lavage, cuisine, boisson) ou modernes (lavage des voitures, piscines, irrigation des arbres et des jardins…). Mais il faut aussi ajouter les rejets « volontaires » sous forme solide qui terminent dans les eaux, comme les macro-déchets.

8-3-1- La question des eaux usées

L'eau domestique sort des foyers, soit pour rejoindre une fosse septique (rarement moderne), soit pour gagner une des quatre stations d'épuration de l'oasis. Les eaux dites cloacales sont polluées de deux manières : d'une part par l'homme (urine, excréments, lavage du corps (germes)…), d'autre part par les additifs (lessives, détergents ou savons de nettoyage, eau de cuisine…). De ce fait, il est généralement admis que les eaux domestiques sont contaminées par le **phosphore** contenu dans les excréments humains et les lessives, par des produits toxiques, voire des **métaux lourds** contenus dans les détergents, par des MES d'origines diverses, par du chlorure de sodium et du bore, composants des détergents ; enfin et surtout par des **germes** bactériologiques issus du corps humain.

- **Les foyers non reliés au réseau collectif d'assainissement**

Si le réseau domestique collectif est diffus, il n'atteint pas toutes les zones de l'oasis. Le coût des stations d'épuration est une explication, tout comme celui des canalisations et du raccordement. Les villages éloignés de l'agglomération du *Gran Mendoza*, les maisons et lotissements isolés, mais aussi les *villas miserias* ou les quartiers informels ne sont donc pas raccordés.

Il est tout de même important de différencier les **habitations formelles** non reliées au réseau collectif des *villas miserias*. Les habitations formelles, légales, possèdent dans leur très grande majorité une fosse septique. L'efficacité de ces fosses, souvent anciennes et rarement aux normes, est à mettre en cause. Cependant, cette population est plutôt faible en quantité, et la pollution générée relativement limitée. Par ailleurs, si des doutes subsistent sur la qualité des eaux en sortie de ces fosses, les boues sont collectées par des camions-citernes et transportées jusqu'aux autres stations d'épuration. Le problème est que ces camions ne vont pas forcément jusqu'à la station et versent quelquefois les boues dans les bouches d'aération du réseau domestique collectif. Nous avons eu la « chance » d'apercevoir à plusieurs reprises ces camions-citernes rejeter les boues domestiques dans une des bouches du canal reliant la municipalité de Guaymallén à la station d'épuration de Paramillo, à moins de 20 m du

collecteur Pescara **(planche photos 4)**. Le personnel referme rarement la trappe, laissant les germes se volatiliser dans l'air, sur un chemin reliant un village à son école et où de nombreux enfants passent matin, midi et soir. De même, le tuyau du camion qui sert à verser n'est pas adapté à la bouche d'aération ; une partie des effluents domestiques se déverse sur le bord de la trappe (au sol) et reste sur le même chemin.

Par ailleurs, selon Gabriela VICENCIO, responsable du service Environnement de la municipalité de Las Heras, certains riverains des espaces de montagne se sont plaints que les camions-citernes d'OSM.SA. qui viennent chercher les boues des fosses septiques des habitations des villages, rejetaient assez régulièrement ces boues dans le río Mendoza, bien en amont de l'oasis (cf. *supra*). Ces effluents, chargés en phosphates et en germes ne sont donc pas systématiquement traités en station d'épuration. Les analyses que nous avons effectuées dans le río Mendoza au niveau du bourg d'Uspallata révèlent d'ailleurs des concentrations en phosphates relativement importantes pour un cours d'eau peu soumis à la pression anthropique (autour de 1,1 mg/l).

Au contraire, les ***villas miserias*** sont totalement informelles. Les maisons de bois, de tôles, quelquefois de terre sont construites, puis au bout de quelques années le gouvernement provincial reloge « en dur » les familles, rase le « camp » et un an plus tard de nouvelles familles viennent s'y installer. De fait, les rejets domestiques quittent les foyers par de simples rigoles sans planification qui rejoignent les canaux d'irrigation. C'est d'ailleurs le cas le long de la partie sud du canal Cacique Guaymallén. Le problème nous paraît plus grave que celui des habitations rurales parce que la population est beaucoup plus dense. En général, en périphérie de la ville, à proximité des décharges ou sur des terrains agricoles laissés à l'abandon, ces bidonvilles poussent, sans accès à l'eau potable ni au réseau domestique, alors que les canalisations passent parfois à quelques mètres de la *villa*. Certaines de ces colonies étant implantées en amont de l'oasis, c'est l'ensemble de la population mendocina qui subit alors cette pollution domestique.

Bien que ce problème soit relativement important à Mendoza, tant sur le plan sanitaire que sur celui de l'environnement, les *villas miserias* intéressent les autorités. En période d'élections présidentielles et provinciales comme ce fut le cas au printemps 2007 (28 octobre), les pouvoirs en place ont cherché à éradiquer ces colonies qui sont synonymes de délinquance dans l'esprit de la majorité des citadins. Les autorités cherchent donc depuis quelques années à reloger ces familles dans des lotissements populaires en dur, avec l'eau courante, le gaz, l'électricité et le tout-à-l'égout. Le problème est que si ces mêmes autorités ne réagissent pas tout de suite en transformant les colonies rasées en espaces verts ou en construisant dessus, ces espaces sont alors très vite réappropriés par les populations indigentes qui reconstruisent des quartiers informels, à moins que ces vides intra-urbains ne soient utilisés comme décharges publiques. Dans un pays où la pauvreté se développe aussi vite que le BTP, les *villas miserias* s'éloignent de plus en plus du centre urbain mais ne disparaissent pas vraiment.

- **Le réseau domestique collectif**

Les foyers mendocinos (de l'agglomération) sont presque tous reliés au réseau collectif qui transporte les effluents domestiques vers les stations d'épuration de Campo Espejo et de Paramillo. Les rejets de ces stations d'épuration par lagunage rejoignent des ACREs, dont les surplus sont restitués au réseau d'irrigation (cf. *supra*). Les bourgs du département de Lavalle sont reliés aux petites stations Villa Tulumaya et Costa del Araújo.

Or, les résultats des analyses hydrochimiques effectuées aux points CI et CII et RII et RIII, prouvent la faible efficacité de deux stations principales, Campo Espejo et Paramillo, qui traitent les eaux usées de l'agglomération, soit près de 3 000 l/s. Les eaux sont alors traitées à partir de lagunes aérobiques et anaérobiques (cf. *supra* et DGI, 2006b ; LAVIE ; MORÁBITO et SALATINO, 2008) et renvoyées vers des ACREs où, théoriquement, ne poussent que des cultures destinées à être consommées cuites, ou des cultures industrielles ou forestières. Dans les faits, la traçabilité n'est pas optimale et il arrive que ces produits soient vendus sur les marchés, mais tel n'est pas notre propos. L'eau en surplus est alors restituée : les eaux de l'ACRE Campo Espejo sont renvoyées vers le canal Jocoli, qui alimente en eau 7 300 ha de cultures (non restreintes : vignes, vergers, oliviers et maraîchage) ; les eaux de l'ACRE Paramillo sont renvoyées vers le río Mendoza en aval de l'oasis, où il n'est plus utilisé par l'homme. Précisons que les agriculteurs situés en aval des ACREs ont besoin de cette eau : ils ne veulent pas entendre parler de coupure d'eau puisque celle-ci est chargée en nutriments NPK (Mario LURASCHI, Directeur de la police de l'eau du DGI, communication personnelle).

Ce système est *a priori* efficace puisque les eaux sont d'abord épurées par lagunage dans un milieu où l'exposition solaire est importante, l'évaporation très forte et où les bactéries épuratrices se développent facilement. Les eaux sont ensuite utilisées pour l'irrigation de cultures restreintes avant d'être restituées au milieu. Or, les **besoins saisonniers des plantes ne sont pas adaptés à cet afflux continu d'eau** et **la capacité maximale des stations est dépassée** depuis longtemps. De nombreux surplus sont donc restitués au milieu sans passer par les ACREs et certaines eaux domestiques sont simplement filtrées pour en extraire les solides tandis que les liquides sont renvoyés dans le canal Jocoli et le río Mendoza sans aucun traitement.

De fait, à partir des résultats présentés ci-avant dans le diagnostic hydro-qualitatif (parties II et III), nous nous sommes demandée si cette capacité technique limitée impliquait un problème de qualité.

Les eaux du canal Jocoli en CI et du río Mendoza en RII se sont révélées déjà chargées en sédiments et en bactéries. Le canal Jocoli reçoit les eaux de l'agglomération (drains urbains surtout), et le río Mendoza est le réceptacle d'effluents agricoles. Néanmoins, à quelques exceptions près, il apparaît qu'il y a une nette augmentation des pollutions en aval des rejets des stations d'épuration. Si les bactéries aérophiles mésophiles baissent en CII, sûrement par l'apport d'un débit plus important, les cinq autres données de bactériologie démontrent un **accroissement des bactéries et coliformes dans l'eau en aval de ces rejets**. La moyenne des coliformes fécaux est même triplée entre CI et CII, atteignant **trente fois la norme de pollution tolérée par le DGI**. Notons également que les bactéries aérophiles mésophiles sont presque doublées entre RII et RIII, et que les coliformes totaux sont plus que doublés entre CI et CII. Il ne s'agit d'ailleurs que de moyennes qui cachent des variations extrêmement importantes, donc des pics remarquablement élevés.

Quant aux solides, ils sont légèrement hauts mais pas assez pour que leurs concentrations gênent l'irrigation par la suite. En revanche, on relève une claire augmentation des solides sédimentés qui sont presque doublés entre CI et CII et triplés entre RII et RIII.

Sur le plan des pollutions sensorielles, les points CII et RIII révèlent des odeurs et des couleurs notables. En effet, le canal Jocoli, translucide en CI et légèrement bleuté, est parfaitement turbide en CII, avec une couleur approchant les gris. De son côté, le río Mendoza est transparent en RII, alors qu'il présente une couleur très verte en RIII, bien que translucide.

En ce qui concerne les odeurs, il est difficile d'exprimer celle que dégage l'eau en CII, mais elle est prononcée. En revanche, en RIII, le río Mendoza présente une forte odeur de marécage, de « rance » (cf. *supra*).

Sur le plan physico-chimique, on relèvera tout d'abord une très bonne qualité azotée des eaux en amont des points de rejet des stations et une bonne qualité en aval, malgré une nette augmentation d'amont en aval. D'une manière générale, **il n'y a pas de réelle pollution par les nitrates dans l'oasis**. Mais pour ce qui est des phosphates, le seuil de pollution anthropique de 0,1 mg/l est très nettement dépassé en CI et RII, ce qui peut s'expliquer par la présence de logements non raccordés au réseau collectif d'assainissement le long des canaux. Les effluents domestiques (dont les lessives) sont généralement chargés en **phosphates**. De fait, les teneurs mesurées en aval de rejets des stations sont éloquentes : 99 fois le seuil naturel en RIII avec une augmentation de 1 550 % par rapport à RII, et 2,4 mg/l en CII (24 fois le seuil naturel), avec 85 % d'augmentation par rapport à CI. Tout comme pour la bactériologie, la capacité de traitement des phosphates de ces stations est réellement remise en question (LAVIE ; MORÁBITO et SALATINO, 2008).

Les modifications dans les profils minéraux en aval de ces rejets des stations d'épuration posent également la question du rôle du **chlorure de sodium** et du carbonate de sodium. Enfin, les quantités de **bore** mesurées dans la nappe phréatique sous les ACREs démontrent à nouveau que les lagunages ne sont pas d'une très grande efficacité.

La Demande Chimique en Oxygène (DCO) est dans la norme fixée par le Département d'Irrigation, puisqu'elle est en deçà de 75 mg/l, en amont comme en aval, des points de rejet des stations. Néanmoins, nous ne devons pas pour autant considérer qu'il n'y a pas d'impact anthropique. En effet, au regard des seuils de l'Agence de l'Eau que nous avons utilisés, la plupart des points s'avèrent de bonne qualité moyenne avec des pics de mauvaises qualités. Mais RIII et CII sont, eux, de mauvaise à très mauvaise qualité. Les rejets de la station Campo Espejo multiplient par cinq la DCO des eaux du canal Jocoli, tandis que les effluents de la station Paramillo triplent la valeur mesurée dans le río Mendoza entre RII et RIII. Quant à l'oxygène dissous, si les eaux présentent une très bonne qualité pour ce paramètre (au moins 8 mg/l), on constate tout de même une très légère baisse de la qualité de l'eau, de 11 à 16 % d'oxygène en moins dans les eaux d'amont en aval. Ce paramètre n'est pas aussi inquiétant que peuvent l'être la bactériologie ou les phosphates, mais on constate un impact de ces rejets de stations d'épuration sur la qualité de l'eau.

Enfin, en ce qui concerne les paramètres mesurés *in situ* comme la conductivité électrique, la température ou le pH, dans l'ensemble, on remarque une stabilité des valeurs mesurées, voire certaines améliorations de la qualité dans le río Mendoza. Si la conductivité est haute, elle le doit avant tout à la position de ces points RIII et CII en aval de l'oasis, où se concentrent les sels minéraux. Les sols sont salins, et la dilution des eaux des canaux par l'entrée des eaux usées traitées paraît même diluer la salinité et baisser la conductivité dans le canal Jocoli. On pourra également noter des températures moyennes qui correspondent souvent à celles de l'air, et une très légère acidification du pH entre RII et RIII.

En résumé, **les coliformes, phosphates, bore, chlorures de sodium ou sulfates sont typiques des effluents domestiques**, qu'ils soient diffus (habitations non reliées au réseau collectif d'assainissement) ou concentrés (en aval des rejets des stations d'épuration). Les fortes teneurs mesurées dans les canaux concernés comme dans la nappe phréatique – notamment sous les ACREs – indiquent une pollution domestique prononcée.

Ainsi est-il important de noter que **les stations d'épuration ne jouent pas parfaitement leur rôle** dans le traitement des eaux usées domestiques, en ce qui concerne la bactériologie, les solides et la physico-chimie, sans compter les nuisances esthétiques (couleur et odeur). Certes, les pollutions existent déjà en amont des rejets de ces lagunes d'épuration, mais l'augmentation des valeurs mesurées en aval des rejets et dans les collecteurs urbains (Cacique Guaymallén spécialement) pose un réel problème d'impact sanitaire et économique pour le milieu et les sociétés qui en vivent (cf. *infra*).

8-3-2- La pollution urbaine

La pollution urbaine concerne tous les impacts publics de la population et des activités de la ville et de son agglomération, sur la qualité de l'eau. Par soucis de distinction entre les impacts involontaires mais qui pourraient être maîtrisés et les impacts volontaires, nous distinguerons les **pollutions urbaines des incivilités**.

A Mendoza, le principal problème reste celui des *acequias*, ces semi-égouts (hors réseau d'assainissement circulant dans des canaux enterrés) à ciel ouvert, qui transportent dans les champs toutes les eaux des rues, les huiles de moteur, l'essence, mais aussi les engrais de jardin, les détergents servant à nettoyer les trottoirs carrelés, les poussières des pollens, les feuilles des arbres, etc. Il est difficile de dresser une liste exhaustive, mais ces paramètres, quoique peu importants dans la « masse de pollution » que véhicule Mendoza, sont à prendre en compte. Si les éléments les plus légers (feuilles mortes ou pollens) volent jusqu'aux *acequias* qui les transportent par la suite quand elles sont en eau, les éléments plus lourds comme les détergents, les huiles de moteur ou l'essence, se figent sur le goudron ou les trottoirs et ne **ruissellent que lors des forts orages** (de 0 à 3 fois par mois en moyenne et selon la saison), **créant ainsi des pics de pollution chroniques**.

De fait, par la présence des feuilles des arbres et des pollens, le principal impact anthropique est organique. Les *acequias* sont bordées d'arbres qui ont comme finalité d'ombrager les rues en été ; il s'agit en majorité de platanes, de trembles et de peupliers. Mais en automne, ces arbres perdent leurs feuilles qui s'éparpillent sur les rues et les trottoirs. Ces matières organiques sont balayées jusqu'au *acequias* qui se bouchent, provoquant des inondations. De même, au printemps, les pollens prennent le relais, couvrant les rues et les trottoirs d'une fine couche jaune. Cette pollution « naturelle » n'apparaît pas si importante en soi, mais ces pollens transportés jusqu'aux canaux d'irrigations puis vers les drains naturels ou anthropiques, forment un filtre à la surface qui favorise l'eutrophisation. De plus, beaucoup d'urbains ne se contentent pas de balayer leurs trottoirs, ils les nettoient le plus souvent avec des détergents et les rincent à l'eau potable.

Quant aux pollutions chimiques induites par la présence d'engins motorisés, elles sont difficilement mesurables. Selon SALOMON et PRAT (2004), les « *données sont plus ou moins fiables si bien qu'il est difficile d'en faire une analyse précise* ». Néanmoins, l'*Universidad Nacional de Cuyo* (UNC), ou plutôt, deux de ses composantes, la *Dirección de Saneamiento y de Control Ambiental* (Direction sanitaire et de contrôle environnemental (DSCA)), et l'*Instituto de Estudios del Medio Ambiente* (Institut d'études sur l'environnement (IEMA)), dispose de dix-huit stations de mesure de la qualité de l'air réparties dans l'agglomération. On estime le taux d'émission de particules à 300 t/an pour les véhicules diesels et à 140 t/an pour les essences. Le ratio en ce qui concerne les oxydes d'azote est de 385 t/an pour les diesels et **1680 t/an pour les essences**. Pour ce qui est du plomb, il semble qu'il y ait eu une certaine amélioration de la qualité de l'air avec le renouvellement du parc

automobile. Cependant, ce renouvellement s'est stoppé en 2001 avec la crise économique vécue par les Argentins. Le problème est que le Cuyo est une région où les vents soufflent assez peu et où l'air ne se renouvelle presque pas. De plus, si par chance le *Zonda* d'ouest a tendance à « dégager » l'agglomération de cet air pollué, la majorité des vents vient du sud, donc du Parc Industriel Provincial. A la pollution urbaine s'ajoutent les fumées de pollutions industrielles de la raffinerie (SALOMON et PRAT, 2004). Reste que la pollution de l'air de Mendoza a fait l'objet de plusieurs études sur le temps long (CAPITANELLI, 1983 ; PULIAFITO, 1995 ; POLIMENI, 1997) et que ces particules de l'air retombent au sol les jours de pluie, augmentant la pression polluante sur les *acequias*.

8-3-3- L'incivilité, l'impact environnemental le plus visible

L'incivilité est une action qui va, par définition, à l'encontre du bien civique, des citoyens et de la cité. Il s'agit de tous les actes de dégradation gratuits, à l'encontre d'un bien commun comme l'environnement. Dans l'oasis de Mendoza, l'incivilité se manifeste chez pratiquement tous les acteurs : habitants, agriculteurs et industriels qui délibérément ne respectent pas les normes de rejet des eaux… Elle s'illustre d'abord et surtout, par la **dispersion des macro-déchets par les citoyens**, raison pour laquelle nous la classons dans la **pollution domestique**.

Mendoza, la ville élue « *la plus propre d'Argentine* » dans les années 1980-1990, et dont chacun aime à se vanter, est constellée de poubelles à ciel ouvert **(Planche photos 8** et **15)**. Les divers canaux et *acequias* sont le réceptacle de tous les déchets, biodégradables ou non, que peuvent compter les supermarchés. Sont transportés couches, mégots, tickets de bus, cartons divers et surtout bouteilles plastiques. Nous avons même eu la surprise de voir une machine à laver dans une *acequia* longeant le canal *Civit* (celui qui conduit les eaux du río Mendoza à l'usine de traitement d'eau potable Alto Godoy).

Il se trouve qu'au moment où nous effectuions notre premier séjour de terrain, l'Institut de Géographie de l'UNC (*Universidad Nacional de Cuyo*) de Mendoza réalisait une enquête auprès de la population sur la façon dont celle-ci ressentait le problème des macro-déchets dans les canaux (en l'occurrence ici les collecteurs de crues de l'ouest de l'agglomération). Il en résulta que sur la cinquantaine de questionnaires passés par notre équipe, la majorité des riverains (vivant à moins de 300 m des collecteurs) était relativement gênée par ces déchets ; les déchets des *zanjones* bien sûrs, mais avant tout ceux des *acequias* qui passent devant leurs maisons. Une grande partie des enquêtés a d'abord pointé du doigt les populations vivant au bord des collecteurs, dans les *villas miserias* en amont des quartiers étudiés. Il est vrai que ces quartiers dits sensibles ne possèdent que très rarement un ramassage public des ordures ménagères. Le canal est alors considéré peu ou prou comme une décharge.

Les plus pauvres sont également rendus responsables de la prolifération des déchets dans les canaux par le biais des *cartoneros*. En effet, ces chiffonniers fouillent les poubelles à la recherche de produits recyclables ou en bon état, afin de les revendre ensuite. Ce travail est fait de manière relativement rapide et les sacs plastiques une fois ouverts, tombent à terre, et sont éventrés par les très nombreux chiens ou chats errants. Les déchets à terre ne sont pas ramassés par les services de la municipalité : ils terminent leur course dans les *acequias*. Dans l'ensemble, il nous est apparu que les pauvres et les indigents sont considérés comme les coupables de l'accroissement des déchets dans les canaux. A ce fossé économique s'ajoute un grippage culturel : en effet, bon nombre de ces chiffonniers sont des jeunes issus de la communauté indienne huarpe, auxquels s'ajoutent des immigrés Chiliens, Paraguayens, mais

surtout Boliviens, venus travailler comme saisonniers dans les *fincas* et fixés à Mendoza depuis. La responsabilité des habitants des *villas miserias* n'est pas à minimiser, cependant elle n'est pas exclusive. Il suffit d'attendre le bus pour surprendre les usagers jeter leurs tickets ou leurs mégots de cigarette dans les *acequias*. De même, les couches-bébés de grandes marques ne sont pas utilisées par les populations les plus indigentes ; or il n'est pas rare d'en voir tapisser le fond de certaines *acequias*. Il existe à Mendoza une certaine cristallisation des agressivités et des fautes autour des quartiers populaires. D'après ZAMORANO *et al.* (2008), les populations indigentes sont en partie responsables de la prolifération des macro-déchets puisque la majorité des déchets recensés dans les *zanjones* (cf. *supra*) est située en amont, là où les *villas miserias* sont implantées, et parce que c'est dans les quartiers pauvres que l'on compte le plus de déchets dans les *acequias*. Mais les auteurs précisent d'une part que leur enquête, étalée sur deux ans pour les *zanjones* et sur deux saisons pour les *acequias*, n'est pas complète et qu'il faut attendre d'avoir plus de résultats pour proposer plus de conclusions. D'autre part, il est important de prendre en compte d'autres critères : le pourcentage de pente et les ressauts qui gênent la circulation des eaux dans les *zanjones* et *acequias*, la fréquence de collecte des ordures ménagères par les municipalités, les politiques publiques des municipalités en termes de conscientisation ou de mise en place de conteneurs pour le recyclage… Il n'est pas à exclure que les quartiers défavorisés et pauvres ne soient pas aussi bien lotis en terme de ramassage public que le centre-ville (cf. *infra*).

***

En résumé, la responsabilité de la dégradation à la fois bactériologique, physique et chimique de la qualité de la ressource en eau superficielle et souterraine de l'oasis dite du río Mendoza, incombe à des acteurs et usagers multiples. Les uns sont responsables par une gestion mal adaptée aux réalités d'un milieu aride où les ressources sont indigentes, les autres le sont par un usage peu raisonné et un rejet d'effluents pollués. L'agriculture, premier usager de l'eau, n'est pas le principal pollueur de sa ressource. Certes, une irrigation inadaptée en ce milieu aride et en faible pente favorise la remontée des sels minéraux par capillarité, mais dans l'ensemble, les agriculteurs modifient assez peu les qualités physico-chimiques de l'eau, par une faible utilisation d'intrants. Cependant, il faudrait surveiller dans un futur proche, l'augmentation des recours aux produits phytosanitaires. Les industriels quant à eux, sont montrés du doigt pour des rejets nettement supérieurs aux normes nationales et internationales, notamment en phosphates, DCO, DBO et MES pour les industries agro-alimentaires, et pour l'augmentation des concentrations en métaux lourds dans les collecteurs d'eaux industrielles comme le Pescara. Les effluents domestiques sont assez sommairement traités et en ce point, la responsabilité est avant tout celle des autorités qui n'ont pas pris la mesure de la croissance urbaine qui implique une augmentation des quantités d'eau à traiter, pour des stations aux capacités identiques. Mais la population mendocina dans son ensemble a une responsabilité collective, qui ne doit pas être excusée par des manques de moyens financiers comme c'est le cas des autres usagers de l'eau. La population est, plus que responsable, coupable d'une prolifération des macro-déchets dans l'ensemble du réseau oasis. Le Gran Mendoza est parcouru d'acequias-poubelles, tandis que l'oasis subit les conséquences des blocages des canaux par les détritus solides. La dégradation de la qualité de l'eau entraîne pourtant des conséquences économiques et sociales qui devraient alerter les pouvoirs publics sur une urgence d'action. C'est ce que nous allons observer dans le Chapitre 9.

***

Chapitre 9 :

Une urgence d'action

La dégradation de la qualité de l'eau souterraine, du sol et superficielle, pose de graves problèmes pour la population mendocina. Sans s'en rendre compte, les usagers de la ressource subissent chaque jour de lourdes conséquences de la pollution. La première urgence est de prendre conscience des conséquences de cette mal-gestion qualitative, afin d'engager par la suite les dispositions nécessaires. De fait, l'état des lieux est clair : la population et l'environnement encourent des risques qui ne semblent pas être bien estimés.

Au premier rang de ces conséquences de la pollution se trouve le risque sanitaire. Plusieurs problèmes environnementaux impliquent un risque non négligeable pour la santé des Mendocinos, notamment pour les populations les plus vulnérables comme les pauvres et les indigents. Il s'agit par exemple de la propagation des bactéries dans certains cours d'eau superficiels comme en aval des stations d'épuration des eaux domestiques, ou de la prolifération des rongeurs, cafards, mouches et autres insectes vecteurs de maladies au cœur des nombreux détritus qui jonchent espaces vides et *acequias*. On notera également l'augmentation des taux de métaux lourds dans les effluents industriels, ou la croissance progressive des nitrates et autres minéraux dans les eaux superficielles comme souterraines.

La seconde urgence, conséquence de l'abaissement de la qualité de la ressource en eau, est le risque économique. En effet, la pollution a toujours des coûts, directs ou indirects. On peut citer la prolifération des gros déchets urbains dans les canaux d'irrigation qui limitent les débits effectifs reçus par les agricultures en aval et qu'il faut enlever en remplissant des camions entiers quand ils ne sont pas brûlés. La dévalorisation du coût foncier des logements à proximité des canaux les plus « visiblement » pollués, comme le collecteur Pescara, ou encore la dégradation des sols agricoles et donc des rendements… est un autre exemple.

Enfin, nous nous pencherons sur les conséquences de cette pression anthropique sur la ressource en eau, affectant l'environnement – faune et flore – pourtant unique de Mendoza.

9-1- Le risque sanitaire

La lettre ouverte aux femmes et hommes politiques de France du Pr Dominique BELPOMME, Président de la Société européenne de santé environnementale, pour le comité de soutien de l'Appel de Paris (2007), souligne bien ce risque :

« *Mesdames, Messieurs,*

C'est en tant que scientifique, médecin et citoyen que je m'adresse à vous.

Le millier de scientifiques ayant signé l'Appel de Paris et les 68 experts internationaux ayant contribué au Mémorandum de l'Appel de Paris vous interpellent et vous avertissent : aujourd'hui, en raison de la contamination des nouveau-nés par une multitude de substances chimiques cancérigènes, mutagènes et reprotoxiques (CMR), la santé future de nos enfants est très gravement compromise.

Mais au-delà de ce que nous observons du point de vue de la médecine et de la santé, nous vous alertons solennellement une fois encore sur l'urgence de la situation : la pollution chimique associée à la destruction progressive de notre environnement condamne l'humanité à disparaître, de même que disparaissent chaque jour de nombreuses espèces animales, comme l'ont observé les naturalistes américains signataires de la déclaration de Wingspread.

Ce n'est pas de l'alarmisme, comme pourrait le faire croire un certain nombre de détracteurs insuffisamment informés. Ce n'est pas non plus une opinion personnelle. C'est un avertissement historique de la communauté scientifique.

Il vous faut comprendre qu'environnement et santé sont indissociablement liés, que ce sont principalement les activités humaines, en particulier la pollution chimique, qui créent les maladies : les épidémies ou pandémies infectieuses, les cancers, les malformations congénitales, la stérilité, les allergies, l'autisme, les maladies de Parkinson ou d'Alzheimer, et même l'obésité et le diabète ! Il vous faut également comprendre pourquoi il convient de promouvoir le concept de **santé durable** *et non pas seulement celui de développement durable, et pourquoi il y a urgence à ce que vous preniez des décisions politiques concrètes.*

Nous sommes conscients des difficultés socio-économiques propres à notre pays : la dette et la pauvreté croissante en témoignent. Comme vous, nous pensons que toute politique environnementale doit tenir compte de ces difficultés. Mais ne pas mettre en œuvre une telle politique dès maintenant, de façon réelle, concrète et efficace, ne peut conduire qu'au déclin social, sanitaire et économique de notre pays, et, au-delà, de l'Europe et du monde.

Les arguments sont maintenant très nombreux : l'écologique doit primer l'économique, tout simplement parce que sans respect de l'environnement toute vie est impossible.

Le Mémorandum de l'Appel de Paris propose 164 mesures permettant la protection de la santé, immédiatement applicables en Europe et cela sans nuire à l'emploi ni à l'économie, bien au contraire.

C'est sur la base de ces 164 mesures que nous avons formulé un « programme d'union nationale » de santé durable en 12 points, car la santé et l'environnement se situent bien au-delà des clivages politiques.

Quelle que soit votre couleur politique, il y a urgence à agir pour réduire la pollution chimique, éviter la crise de l'énergie qui s'annonce et déjouer le piège de l'effet de serre avant qu'il ne se referme sur l'humanité et la condamne définitivement.

L'urgence à mettre en œuvre une politique environnementale à la hauteur du défi historique qui nous échoit est d'autant plus justifiée que

celle-ci ne peut être que source de très nombreux emplois et, à terme, la solution économiquement rentable.

Une frange croissante de nos concitoyens a désormais pris conscience de la situation critique dans laquelle se trouve aujourd'hui notre pays, de la gravité des maladies qui les atteignent et atteignent leurs enfants et l'extrême gravité de la rupture civilisationnelle planétaire qui s'annonce en raison des problèmes d'énergie et des modifications climatiques.

Le peuple de France vous a confié et vous confiera son destin. A vous d'agir de façon urgente et concrète, car si ce n'était pas le cas, il ne vous le pardonnerait pas. »

Cette lettre ouverte aux élus français précise bien le lien qui existe entre politique environnementale et santé publique. Les problèmes de santé nés de la pollution chimique de l'air comme de l'eau, confirment l'urgence d'action, titre de ce Chapitre 9, en ce qui concerne la lutte contre la pollution. Ce concept de **santé durable** dont parle le signataire confirme que sans action politique pour l'environnement (l'eau en ce qui nous concerne) aucun développement durable, pérenne, d'une société n'est possible.

N'étant pas nous-même médecin, nous ne cherchons pas à définir toutes les conséquences sanitaires que peut avoir la pollution de l'eau sur l'homme. Il nous semble néanmoins important de préciser un certain nombre d'informations connues. Ces considérations générales sont d'ordre international. Les études portant sur les impacts des activités anthropiques sur la santé humaine sont en effet assez récentes. Quelques ouvrages ont été publiés aux Etats-Unis et en Europe. Par difficulté d'accès à la bibliographie, c'est avant tout sur les références françaises que nous nous sommes appuyée, même si des articles ont été publiés à Mendoza sur les risques de maladies hydriques.

Le risque le plus important lorsqu'il s'agit de contact entre populations et eau est d'origine **bactériologique**. Cela concerne les maladies dites hydriques, consécutives à un contact cutané (baignade surtout) ou par ingestion (eau de boisson). A Mendoza, l'eau potable n'est pas de mauvaise qualité. Il est très rarement question d'épidémies de gastro-entérites dans le secteur approvisionné en eau potable collective. En revanche, selon Gerardo GUEVARRA (communication personnelle), sociologue et spécialiste des conséquences sociales de l'indisponibilité de la ressource, les quartiers défavorisés où les populations ne paient pas leurs factures, sont régulièrement victimes de coupures de la part des services publics, notamment OSM.SA. dans Las Heras. Ces coupures obligent les populations à s'approvisionner dans des puits proches de la surface et l'on recense de nombreux cas de maladies hydriques. Or, ces problèmes touchent les populations pauvres, voire indigentes, et ne sont jamais relayés dans les médias. De même, selon LAYMOND (2000) citant un article du journal *Los Andes* du 16 décembre 1998, l'accumulation de déchets et de matières organiques en décomposition peut favoriser le développement de germes vecteurs de maladies comme la leptospira, le choléra ou la dengue. Une fois encore, il est difficile d'avoir accès à des données chiffrées, mais nul doute que la présence d'eaux de mauvaise qualité physico-chimique dans un milieu humide (les *acequias* et autres canaux) au cœur d'un désert chaud, entraîne le développement de bactéries, véhiculées par les rats, les cafards, les mouches ou les moustiques. « *D'après la Revista Panamericana de la Salud* (revue panaméricaine de la santé)*, l'accumulation des déchets urbains peut causer plus de 40 maladies depuis une simple colite passagère jusqu'à des infections de tout type qui peuvent occasionner la mort* » (FEIJÓO *et al*., 2007). Les pertes des fosses septiques mal isolées, qui rejoignent la nappe

phréatique, peuvent causer, si cette eau est consommée ensuite par prélèvement d'eau souterraine, des hépatites et la dysenterie (FERNÁNDEZ, 2006). Il faut néanmoins préciser que les populations habituées à être en contact avec des milieux propices au développement de maladies sont en partie immunisées. En effet, les familles d'indigents qui travaillent au tri des ordures ménagères ou les agriculteurs des zones ACREs ou de la zone 4 – les zones les plus contaminées par les bactéries – peuvent « supporter » une eau bien plus riche en bactéries que la plupart des citadins. Selon Gabriela VICENCIO, responsable du service Environnement de la municipalité de Las Heras (communication personnelle), les *cartoneros*, ces chiffonniers qui travaillent au sein du centre d'enfouissement des déchets de *Borbollón* passent leur journée dans les ordures sans gant ni masque, prennent leur pause café ou *mate* avec les *galletitas* (petits gâteaux secs, salés ou sucrés) ou les *tortitas* (petites boules de pain traditionnelles), sans se laver les mains entre le travail et la pause. Il y a certes quelques maladies chez ces chiffonniers, mais il est difficile de dire si elles résultent des conditions de travail ou des conditions de vie. En revanche, lorsque nous sommes allée nous-même au *Borbollón*, les responsables nous ont donné un masque et nous ont interdit de nous approcher des zones qui n'étaient pas intégralement recouvertes de terre, pour des questions de sécurité sanitaire. Ainsi sait-on que des maladies hydriques existent à Mendoza, mais aucune véritable étude n'a été produite et publiée. Par le bouche à oreille, on parvient à savoir que certains quartiers sont touchés, mais aucune étude chiffrée n'est consultable. Néanmoins, selon SALOMON et PRAT (2004) « *la carte des maladies transmises par l'eau est aussi la carte des quartiers les plus pauvres et non desservis en eau potable* ».

Mais le risque bactériologique n'est pas le seul en cause. Si elles présentent l'avantage de se déclarer assez vite et donc de se soigner rapidement, les maladies bactériennes sont assez faciles à combattre, avec un minimum de volonté politique. En revanche, les activités anthropiques et leur action sur la qualité de la ressource en eau, posent de nouveaux problèmes sanitaires à plus long terme. En effet, l'utilisation d'intrants agricoles, sous forme d'engrais de croissance ou de produits phytosanitaires, a fait croître le nombre de **maladies cancérigènes mutagènes et reprotoxiques (CMR)**. Ainsi, dans le Chapitre « ces maladies créées par l'homme » de son ouvrage *« Avant qu'il ne soit trop tard »*, le Professeur BELPOMME (2007) écrivait à propos de la stérilité masculine : « *Chez les sujets jeunes, en région polluée, la baisse des spermatozoïdes est en moyenne de 1 % chaque année depuis la dernière guerre mondiale. (...) L'utilisation excessive des pesticides organochlorés en est probablement la cause principale* ». De même, « *La plupart des maladies dégénératives du système nerveux, bien qu'anciennement connues, sont en réalité d'origine environnementale, que le facteur en cause soit une substance chimique, un virus ou même un prion (...). L'incidence croissante d'affections dégénératives du système nerveux analogue à la maladie de Parkinson mais touchant principalement les sujets jeunes est maintenant expliquée par la contamination de ces derniers par des pesticides organophosphorés, dont on a clairement montré qu'ils s'accumulaient dans le cerveau et y créaient de multiples altérations enzymatiques. Autre exemple : si l'aluminium contaminant l'eau de boisson est désormais reconnu comme étant un facteur à l'origine de certaines formes de la maladie d'Alzheimer, des facteurs autres que le vieillissement sont certainement en cause pour expliquer l'incidence fortement croissante de cette affection. Là aussi, la contamination de l'organisme, en particulier par les pesticides organophosphorés, est probablement une explication.* » (BELPOMME, 2007).

Les recherches sur les maladies liées à l'utilisation des pesticides ont commencé à Mendoza il y a quelques années, grâce notamment à un programme commun des Nations Unies et du DGI. Ainsi, dans une communication présentée lors de la 3° journée

d'*Actualización en riego y fertiriego* (conférence de travail sur l'irrigation) d'août 2006, FERNÁNDEZ *et al*. ont listé, à partir des recommandations de l'OMS, les pesticides les plus dangereux par groupe d'action (infection chronique, infection par inhalation, infection aigüe…). Les auteurs précisent que les produits phytosanitaires agissent de quatre manières sur le corps humain :

- « *Mutagenèse : C'est l'induction ou l'altération dans la matière génétique, d'un seul gène, ou dans la taille ou la structure des chromosomes. C'est-à-dire que se produisent des mutations d'ADN dans les plantes, les animaux et les êtres humains ;*
- *Carcinogenèse : C'est l'induction d'un accroissement normal, désordonné et potentiellement illimité de cellules dans un tissu ou un organe ;*
- *Tératogenèse : C'est l'induction d'anomalies du produit en gestation qui se présente quand une substance chimique traverse la membrane placentaire. On les appelle défauts congénitaux et peuvent se présenter de différentes manières.*
- *Effets sur le système nerveux : Les connaissances sur les substances chimiques toxiques et leur action sur le système nerveux central sont toujours insuffisantes. Les effets toxiques des substances chimiques sur le cerveau peuvent être structuraux, comme des changements chroniques dans les organes cellulaires ou fonctionnels, et des altérations sensorielles et motrices.* » (FERNÁNDEZ, *et al*., 2006).

Mais comme le dit assez justement le Professeur BELPOMME dans sa lettre ouverte (cf. *supra*), il reste difficile de faire admettre que **l'urgence environnementale est avant tout une urgence sanitaire et sociale** ; en pratique, la réalité économique prime. Néanmoins, le tord des autorités dans cet aveuglement, tient dans le fait que la dégradation de la qualité de la ressource en eau a aussi un coût économique non négligeable.

9-2- Le coût socio-économique

Il reste encore difficile de nos jours de faire accepter l'idée que **la dégradation de l'environnement a un coût**, un coût environnemental, mais aussi un coût économique pour la société. Nous avons besoin de ressources de bonne qualité, certains usages de l'eau nécessitant des traitements préalables (comme l'alimentation en eau potable ou les eaux d'usage industriel). La dégradation continue de la qualité de la ressource en eau, consécutive à un problème quantitatif conjugué à un manque de volonté de la part des usagers, a entraîné un risque économique notable, malheureusement peu évalué.

9-2-1- Le coût des macro-déchets

A la demande du service *Riego y drenaje* (irrigation et drainage) de l'INA de Mendoza, Marisa FEIJÓO, Maître de conférences en Economie de l'environnement de l'Université de Saragosse (Espagne), a réalisé une étude intitulée « *La gestion des déchets solides urbains et leur impact sur les infrastructures d'irrigation du río Mendoza, diagnostic et propositions de gestion pour la prise de décisions* ». (FEIJÓO *et al*., 2007). Il s'agissait pour elle d'évaluer le coût induit par la prolifération des déchets urbains dans les canaux d'irrigation agricole. Par des visites auprès des *Inspecciones de Cauce* de la 1° à la 4° zone agricole et un recensement des études réalisées sur ce sujet, elle est parvenue à estimer le coût subi par les *Inspecciones* (cf. *supra*).

Il y a d'abord les **coûts directs**, obtenus à partir du bilan annuel de chaque *Inspección de Cauce* (IC), concernant les prestations d'entretien et de nettoyage des infrastructures d'irrigation. Le temps passé par chaque *tomero* (personne en charge de la gestion de l'eau dans un secteur particulier, qui actionne les écluses et doit nettoyer les canaux lorsque cela est nécessaire) à l'entretien du réseau d'irrigation augmente en fonction de la quantité de déchets. Dans l'ensemble, les IC évaluent ce coût, en main d'œuvre notamment, à 30, voire 35 %, du budget annuel.

Les **coûts indirects** « *sont ceux qui affectent le fonctionnement de l'Inspección qui ne peuvent pas se ressentir de manière comptable, mais qu'il faut mesurer d'une autre manière* » (FEIJÓO *et al*., 2007). Il s'agit avant tout de la perte d'efficience de l'irrigation par l'accumulation des déchets, et de la baisse de la qualité de l'eau, qui implique des baisses des marges économiques des agriculteurs (cf. *infra*). D'après MORÁBITO (2003), la valeur d'efficience d'irrigation pour une parcelle est de 59 %. Si on y retranche les pertes en eau du réseau d'irrigation, l'efficience globale passe à 35 (voire 40 %). « *Quant à la qualité de l'eau, elle s'altère et perd en qualité en étant en contact avec des substances polluantes venant des déchets solides urbains, de plus, il existe des pertes par débordement* [suite au blocage des canaux et écluses par les déchets, NDA]*, qui peuvent atteindre 40 %. En outre, comme conséquence de cette situation, les marges économiques des agriculteurs sont affectées. Dans la province de Mendoza, l'agriculture se fait par irrigation et représente environ 6 % du Produit Intérieur Provincial (PIB). (…) Les coûts de l'eau d'irrigation représentent environ 6 % du coût de l'opération de production, tant pour le secteur viticole que pour le fruticole* » (*Ibid*.).

Une série de calculs effectués à partir de la marge brute permet d'évaluer à long terme le coût du nettoyage des macro-déchets. Il apparaît qu'en 2025, cette somme sera 5 fois plus importante qu'aujourd'hui, soit 786 millions de $AR (peso argentin) par an contre déjà 189 millions en 2005. Selon l'auteure, il faudrait même ajouter à cette réalité économique, la production d'externalités : en effet, la perte d'efficience dans la culture, par la baisse des débits et de la qualité de l'eau, entraîne une augmentation des coûts de production. La conséquence de cette hausse des coûts sera la baisse de la quantité d'aliments produits.

Une autre étude, réalisée un an plus tôt par les gestionnaires de la première zone agricole et par l'association OIKOS, révélée par les journaux locaux (ARCE, 2006), précise le coût total par quelques chiffres. Si sur l'ensemble, les deux études (celle d'OIKOS et la Première inspection et celle de FEIJÓO *et al*.) s'accordent sur un chiffre total avoisinant les 2 millions de $AR en 2006 pour nettoyer les canaux, le journal *Los Andes* joue plus sur les comparaisons que sur les coûts, afin de faire réagir ses lecteurs. En effet, « *les déchets accumulés dans les canaux qui transportent l'eau d'irrigation dépassent les 77 000 m^3, à tel point qu'il aurait fallu 12 000 camions-bennes pour les sortir* » (ARCE, 2006). Et de manière à ce que ce soit bien parlant pour les Mendocinos, le journaliste précise que ces détritus accumulés « *pourraient faire une pile de 10 mètres de haut au dessus du terrain de foot du stade des Malouines* » (stade de Mendoza construit pour le Mondial de football de 1978).

De fait, les déchets accumulés par le manque de civisme des Mendocinos ont provoqué des désagréments environnementaux, paysagers, mais aussi économiques. Deux conséquences sont à retenir : **le coût de nettoyage des canaux et des drains** et **la baisse des rendements agricoles** par la faiblesse des débits et la baisse de la qualité intrinsèque de l'eau d'irrigation.

9-2-2- La dévalorisation du foncier

Il est difficile de trouver des études qui portent sur les conséquences foncières de la dégradation de la qualité des eaux des canaux, mais de nombreuses publications font allusion à ce problème. Parmi les personnes rencontrées et interrogées, beaucoup nous ont parlé du cas Pescara et de la chute de la valeur immobilière des maisons et des zones agricoles riveraines de ce collecteur. En effet, le district des Corralitos, quartier d'immigration espagnole, est une sorte de petit village en périphérie-est de Mendoza. Bien ombragé, assez fleuri par rapport aux autres quartiers, plutôt bien entretenu jusqu'à il y a une dizaine d'années, les Corralitos étaient un quartier dont tout visiteur pouvait naïvement dire qu'il était coquet. Or, il est traversé par deux infrastructures hydrauliques d'importance : le collecteur Pescara, qui draine la zone agricole n° 2 ainsi que la zone industrielle « *zona alcoholera* », et le canal Naciente qui puise son eau depuis une prise secondaire dans le lit du río Mendoza et qui alimente une grande partie de la zone n° 3. Or le collecteur Pescara, exutoire des effluents industriels de la « *Zona alcoholera* », est **le tributaire le plus visiblement et olfactivement pollué** de la ville. Outre la pollution classique aux métaux lourds, nutriments et autres paramètres bactériologiques et physico-chimiques (cf. Parties II et III), le Pescara subit une pollution physique très gênante pour les riverains. En effet, ce collecteur est d'abord systématiquement de couleur noire **(Planche photos 13)**, comme si du pétrole y circulait. L'eau y est très turbide, dépassant les 300 FNU en général (cf. partie II). Le manque d'oxygène provoque la mort des poissons par moments, les faisant flotter à la surface du drain. L'augmentation des températures du collecteur en aval de la zone industrielle et la mort de certaines espèces animales entraînent la prolifération d'insectes et de bactéries dans l'eau. Enfin, l'odeur d'effluent vinicole très prononcée qui émane du collecteur les jours de fortes chaleurs est un désagrément de plus pour les populations. De fait, les habitants fuient les rives de ce canal. La valeur foncière a baissé avant la mise en place du Système Pescara (cf. *supra,* RAOUEK, sans date) et les responsables du DGI espéraient résoudre ce problème avec la mise en place de l'infrastructure de dilution des effluents industriels. Or, quelques années après l'inauguration du Système Pescara, la couleur noire persiste, les moustiques et les mouches prolifèrent. Il semblerait que la population se soit habituée aux odeurs, mais la valeur foncière n'a pas augmenté.

Sans étude chiffrée, il est difficile d'estimer la perte financière pour les populations. De plus, le Pescara, bien que très illustratif, n'est pas seul en cause. Les collecteurs des effluents domestiques subissent aussi des désagréments. Le canal Jocoli par exemple, en aval de sa confluence avec le drain venant de la station d'épuration de Campo Espejo, voit proliférer les mouches et les moustiques aux abords du canal, mais aussi des sangsues dans les eaux. Enfin, aux abords des collecteurs de crues urbains, très touchés par les macro-déchets, vivent des populations plus démunies, même dans le centre-ville. A l'exception du quartier Bombal, le plus huppé du centre-ville, riverain du *zanjón* Frias, presque toutes les habitations riveraines des collecteurs de crue sont habitées par des populations pauvres, en général des personnes âgées.

Si la question du foncier autour du Pescara est relativement peu relayée mais connue des autorités, aucune étude n'existe pour les autres canaux. Cette réalité semble absente de la conscience collective. De manière générale, la population urbaine ne se déplace pas dans l'oasis cultivée et ne connaît pas forcément l'état qualitatif de l'eau des infrastructures d'irrigation. La pollution des canaux d'irrigation et son incidence sur le plan foncier sont peu connues des Mendocinos.

9-2-3- La dégradation des sols et des eaux d'usages agricoles

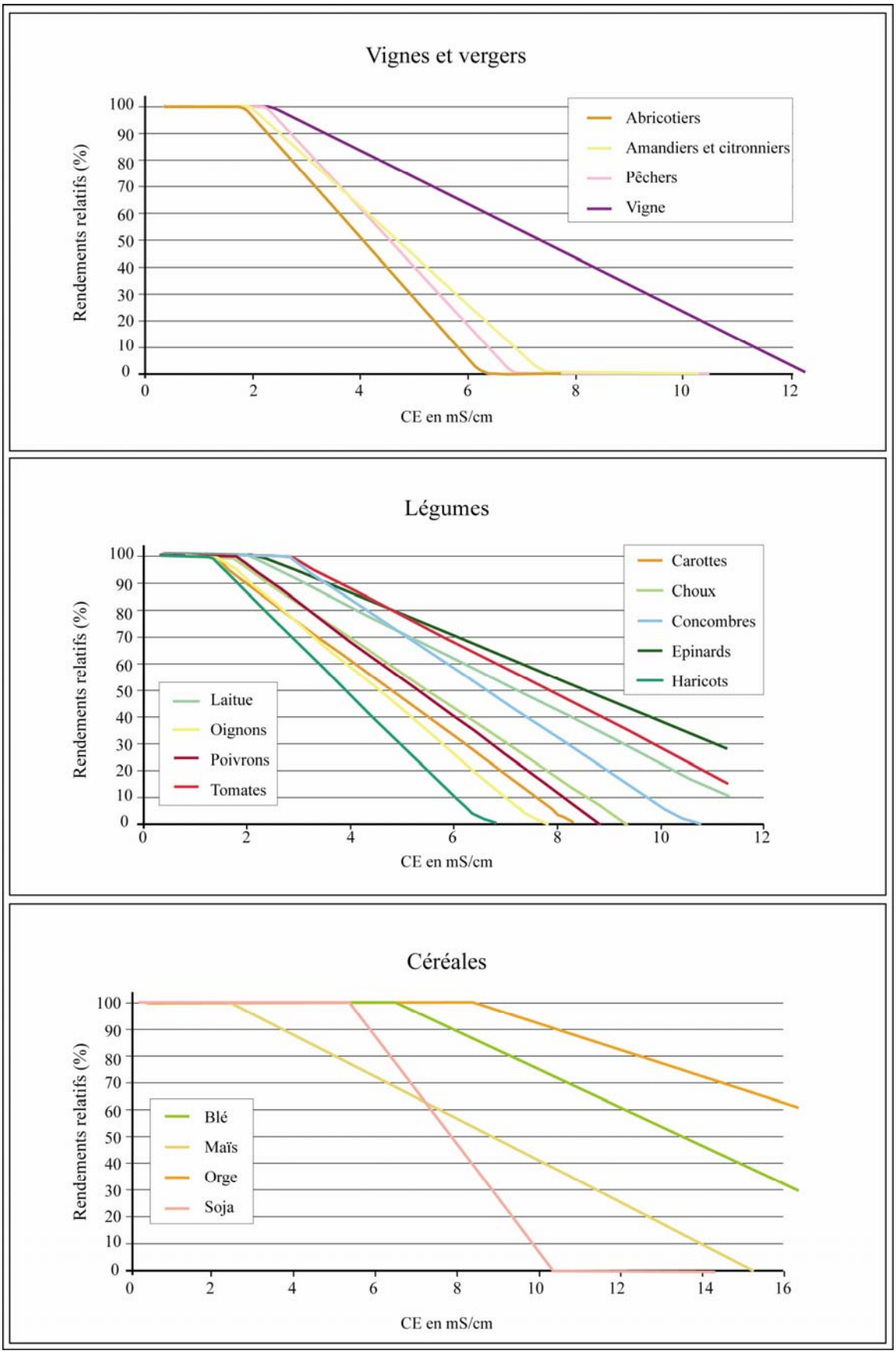
Toutes les études publiées par les différents services d'agronomie concordent : **la qualité de l'eau entre en compte dans les variations des rendements des cultures**. Aujourd'hui, à Mendoza, les agriculteurs sont plus soucieux de la qualité de l'eau reçue que des quantités (ABIHAGGLE et DAY, 2004) ; d'abord, pour des questions de stricts rendements culturaux mais aussi, dans une moindre mesure, pour des questions d'image de leurs produits.

Le **Tab. 11** et les **Graph. 24** (LLOP, 2002) présentent les résultats de travaux réalisés à Mendoza, démontrant l'importance de la qualité minérale des sols pour la croissance et le développement des végétaux. Ainsi en résulte-t-il que dans l'ensemble, même si les céréales sont plus résistantes, à partir de 2 mS/cm, les rendements baissent en même temps qu'augmente la conductivité électrique de l'eau d'irrigation.

Les valeurs de conductivités ne sont pas plus importantes que leurs variations. En effet, nous l'avons vu dans la seconde partie, les eaux du collecteur Pescara (avant la mise en place du Système) connaissaient des amplitudes assez importantes. Le centre technique de traitement par dilution a ainsi le mérite de limiter ces variations de minéralisation, et permet donc aux agriculteurs de recevoir une eau moins contaminée et plus homogène dans ses concentrations.

Diminution des rendements	**0 %**	**10 %**	**25 %**	**50 %**
Cultures	**Conductivités électriques en mS/cm**			
Olivier	1,8	2,6	3,7	5,6
Tomate	1,7	2,3	3,4	5
Vigne	1	1,7	2,7	4,5
Maïs	1,1	1,7	2,5	3,9
P. de terre	1,1	1,7	2,5	3,9
Pomme / Poires	1	1,6	2,2	3,2
Laitue	0,9	1,4	2,1	3,4
Prunier	1	1,4	1,9	2,8
Pêcher	1,1	1,4	1,9	2,7
Amandier	1	1,4	1,9	2,7
Oignon	0,8	1,2	1,8	2,9

Tab. 11 : Impact de la conductivité des eaux d'irrigation sur les rendements agricoles
(CE en mS/cm à 25°C)
Source Mass ; Hoffman, 1977 et Mass, 1984. *In* Abihaggle et Day, 2004



Graph. 24 : Baisse des rendements agricoles en fonction de la conductivité électrique des sols
Source : Llop, 2002

Outre la **salinité** « *qui est un problème extérieur à la plante et qui résulte de l'absorption d'eau, la* ***toxicité*** *est un problème interne qui se produit quand des ions déterminés, absorbés principalement par les racines, s'accumulent dans les feuilles via la transpiration, pouvant atteindre des concentrations nocives. Les ions toxiques les plus fréquents dans les eaux d'irrigation sont le chlore, le sodium et le bore. Toutes les plantes ne présentent pas la même sensibilité à ces ions ; les fruits et les ligneux pérennes sont plus sensibles que les annuels, mais presque toutes les cultures peuvent être affectées si la concentration est suffisamment haute* » (PIZARRO, 1996).

Le **Tab. 12** présente les concentrations maximales en oligo-éléments recommandables pour l'eau d'irrigation. Ce sont des recommandations, pas des normes juridiques.

Elément	**Concentration maximale (mg/l)**
Aluminium Al	5,0
Arsenic As	0,1
Béryllium Be	0,1
Cadmium Cd	0,01
Cobalt Co	0,05
Crome Cr	0,1
Cuivre Cu	0,2
Fluor F	1,0
Fer Fe	5,0
Lithium Li	2,5
Manganèse Mn	0,2
Molybdène Mo	0,01
Nickel Ni	0,2
Plomb Pb	5
Sélénium Se	0,02
Etain Sn	Interdit pour les plantes, tolérance spécifique inconnue
Titane Ti	
Tungstène W	
Vanadium V	0,1
Zinc Zn	2,0

Tab. 12 : Concentrations maximales en oligo-éléments recommandées pour l'eau d'irrigation
Source National Academy of Science (1962) et Prat, 1972, *in* Pizarro, 1996

En ce qui concerne les nitrates **(Tab. 13)**, selon la même source (*ibid.*), l'azote est bénéfique comme fertilisant, mais en concentration excessive, il a des effets préjudiciables : « *brûlure des céréales, retard dans la maturation des fruits, avec perte de production et de qualité, diminution du contenu de sucre dans la betterave…* » (PIZARRO, 1996)

Les excès d'azotes facilitent également le développement des algues et autres plantes aquatiques, même dans des eaux contenant moins de 5 mg/l N. Si cela ne pose pas de problème pour les cultures, cela peut obstruer les appareils d'irrigation, en particulier les plus fins (goutte à goutte par exemple). La dénitrification ayant un coût élevé, irriguer avec de l'eau azotée est souvent prohibitif.

Restrictions d'usage	N (mg/l)
Sans restriction	< 5
Légères à modérés	5 - 30
Sévères	> 30

Tab. 13 : Restrictions d'usages de l'eau azotée
(Exprimées en azote N, et non en nitrates NO_3^-)
Source : Pizarro, 1996

En ce qui concerne le pH, il doit être compris entre 6,5 et 8,5, ce qui est le cas à Mendoza en dehors du collecteur Pescara quelquefois. La problématique pH touche surtout à la corrosivité des appareils d'irrigation en cas d'acidité de l'eau.

9-2-4- Le coût du traitement des eaux

Une eau de bonne qualité « naturelle » n'a pas besoin d'être traitée pour un usage particulier. L'usage agricole, par exemple, se contente de l'eau dérivée du río Mendoza, sans traitement préalable même si dans l'ensemble les agriculteurs aimeraient une eau moins saline.

En revanche, certains usages nécessitent un traitement. C'est le cas de l'eau potable, qui pour des questions de santé publique doit être faible en nutriments, exempte de bactéries et de métaux lourds et limpide. Les eaux industrielles quant-à elles, doivent être pauvres en métaux lourds, parfaitement limpides et bien oxygénées. Cependant chaque type d'industrie recherche une eau avec des caractéristiques particulières.

Or, ces traitements plus ou moins lourds impliquent des coûts. De plus, si une quantité d'eau importante permet une dilution plus forte, en milieu aride le traitement est bien plus coûteux. Mais le traitement avant usage s'accompagne aussi d'un traitement post-usage, c'est-à-dire une amélioration des caractéristiques qualitatives de l'eau, avant sa restitution au milieu récepteur.

- **Les eaux domestiques**

Les **eaux potables** qui alimentent les foyers mendocinos proviennent de différentes stations de traitement (cf. *supra*, partie I), dont certaines appartiennent à l'entreprise privée sous concession avec les municipalités OMS.SA. : Luján I, Luján II, Benegas et Alto Godoy ; d'autres à des municipalités (Municipalidad de Luján, Cruz de Piedra, la Palma, ou la Pequeña) ; enfin, des associations de quartiers dites Operateurs de Gestion Communautaires (OGC) prennent le relais dans certains quartiers non desservis par OSM ou une municipalité, pour puiser de l'eau en profondeur et la distribuer, le plus souvent sans traitement.

En revanche, les stations d'OSM.SA. ou des municipalités de Luján et de Maipú disposent de moyens techniques pour épurer les eaux crues (cf. *supra*, partie I). Mais toutes ne disposent pas d'une eau crue de même qualité. En effet, si les stations Luján I, Luján II, et Municipalidad de Luján sont alimentées directement par les eaux de refroidissement de la centrale thermique (CTM), puisées dans le río Mendoza en amont de la grande majorité des activités anthropiques, d'autres stations sont moins bien avantagées **(Fig. 18)**. En effet, la station Cruz de Piedra reçoit de l'eau du canal San Martín, plus protégée que le canal Cacique Guaymallén des zones d'habitat spontané, mais qui risque d'être contaminée par les rejets du Parc Industriel Provincial de Luján. Enfin, les autres stations sont alimentées via le canal Cacique Guaymallén, aux abords duquel s'entassent des populations indigentes non reliées au réseau collectif d'assainissement et qui rejettent leurs effluents directement dans le canal. De

plus, si les stations Benegas, la Palma et la Pequeña sont situées aux abords du canal Cacique Guaymallén, ce n'est pas le cas de la station Alto Godoy, installée dans le Parc San Martín, à 12 km de la prise d'eau de Carrodilla. Ces 12 km sont parcourus à travers le canal Civit, un canal à ciel ouvert traversant l'agglomération, et la *villa miseria* de Campo Pappa. Ce canal n'est protégé que sur une distance de 4 km et il véhicule des quantités de déchets, des animaux morts, des carcasses… Or, plus une eau est polluée à son entrée en station de traitement, plus le traitement sera lourd et coûteux. D'après Carlos JARA, Chef d'opérations techniques de la station Luján I, les quatre stations appartenant à OSM.SA. sont déjà au maximum de leur capacité. Il est nécessaire de construire d'autres stations, mais les projets provinciaux antérieurs à la crise économique *de los 2000* ont tous été « enterrés ». La solution doit donc être apportée par OSM.SA., à titre privé. Les stations d'OSM.SA. ne peuvent produire plus d'eau potable et ne peuvent non plus améliorer la qualité de l'eau, à moins de baisser les quantités fournies.

Par ailleurs, la population, qui ne paie l'eau qu'au *prorata* de sa surface habitable et du niveau de son quartier et non en fonction de sa consommation, utilise bien plus d'eau que nécessaire. Les gaspillages sont fréquents et OSM.SA. ne peut, dans l'état actuel de ses infrastructures, assurer le service nécessaire sans augmenter ses tarifs (cf. *infra*). OSM.SA. a donc deux solutions : soit elle distribue de l'eau en quantité suffisante pour couvrir les besoins de la population, en accélérant le processus de traitement et en ne garantissant donc pas une qualité convenable, soit elle poursuit le traitement dans des quantités permettant une qualité adéquate avec les normes de potabilité de la province, mais en ne distribuant qu'une quantité bien inférieure aux besoins. En réalité, la solution est intermédiaire, mais des problèmes de quantité subsistent. En effet, si la qualité de l'eau est appréciable (cf. *infra*, Chapitre 10), de lourds problèmes de pression sont à noter. Les zones les plus éloignées des usines de traitement des eaux brutes pour l'approvisionnement domestique ne disposent que des surplus des quartiers situés en amont. C'est notamment le cas du nord de Capital et de la municipalité de Las Heras. On a effectivement pu constater maintes fois des coupures d'eau dans le réseau collectif et ce parfois pendant plus de 24h. De plus, il est fréquent que la pression dans ces zones plus basses soit limitée.

Les **eaux usées domestiques** (réseau collectif) quant à elles sont donc apportées aux stations d'épuration via des canalisations souterraines. Deux petites stations par lagunage reçoivent les eaux rurales de Lavalle : Costa del Araújo et Villa Tulumaya. Ce sont des stations de taille réduite qui ne traitent à elles deux que les eaux de quelques petits bourgs ruraux (Villa Tulumaya, Costa del Araújo, Gustavo Andre, Nueva California, entre autres). D'ailleurs la station de Villa Tulumaya n'est pas considérée par son propriétaire OSM.SA. comme une station d'épuration, mais comme un « *espace de traitement sommaire* ». En revanche, les deux stations de l'agglomération urbaine traitent 2000 l/s pour Campo Espejo et 830 l/s pour Paramillo. Comme nous l'avons expliqué précédemment, la durée de l'ensoleillement, la chaleur et la sécheresse font de la plaine du Cuyo un milieu où l'évaporation est très forte. De fait, l'épuration des effluents domestiques par lagunage est relativement efficace. Néanmoins, tout comme les usines de traitement de l'eau brute pour l'AEP, les stations d'épuration par lagunage ont atteint leur capacité maximale vers 2005-2006 (comme l'avaient prévu des estimations de la fin des années 1990). Il y a donc davantage d'effluents domestiques à traiter que ne peuvent en épurer les stations, malgré les restrictions de distribution d'eau potable et les baisses de pression au robinet de bon nombre d'habitations.

Comment alors une entreprise – presqu'un monopole – sous concession avec la province et de nombreuses municipalités, peut-elle améliorer son service ? En soi, on ne peut pas dire que le service d'OSM.SA. est mauvais. Cette affirmation est certes subjective, mais il faut savoir que toutes les habitations légales situées dans l'agglomération (où le raccordement au réseau est financièrement possible) sont reliées au réseau d'AEP collectif. Toutes les habitations (légales) du *Gran Mendoza* disposent de l'eau du robinet, soit plus de 80 % de la population de l'oasis, tandis qu'environ 70 % des foyers possèdent le tout-à-l'égout. Le pôle touristique qu'est Mendoza implique qu'il faille donner au visiteur une impression de modernité dans le service d'eau domestique. Dans les faits, il y a peu de coupures d'eau dans le centre-ville, à Luján et à Maipú – où sont situés les hôtels – et la pression y est correcte. Néanmoins, en périphérie de l'agglomération et dans les zones les plus éloignées des stations AEP, comme à Las Heras ou Guaymallén, les coupures sont fréquentes.

Sous concession avec le Gouvernement provincial, l'entreprise n'est pas libre et se heurte à un problème de taille : d'une part, le gouvernement fait pression pour que les quantités d'eau traitées augmentent, tout en interdisant à OSM.SA. de modifier ses tarifs à la hausse ; d'autre part, l'entreprise réclame depuis des années le droit d'augmenter les tarifs, précisant que les actionnaires ont déjà fait un effort, et qu'ils refusent d'en faire plus. En juin 2008, s'appuyant sur des accords passés avec le Gouvernement sur l'ajustement des tarifs, OSM.SA. a réclamé une augmentation de 46 %. Selon ICARDI (2008b) « *tout paraît coïncider dans le diagnostic : le système d'eau et d'assainissement de la province est au bord de l'effondrement par ses retards dans les investissements* ». Cherchant à retarder sa réponse auprès d'OSM.SA., le Gouvernement provincial a demandé un audit sur la situation financière de l'entreprise afin de connaître les urgences matérielles. Le Gouvernement de Celso JAQUE (élu en 2007) refuse pour l'heure toute augmentation de tarif, sous prétexte que le service est mauvais et que l'entreprise est en crise. Or, ce sont justement ces arguments qu'utilise OSM.SA. pour valoriser sa tarification. Selon FLORES (2008), le monopole réclame de plus au Sub-secrétariat aux Infrastructures, une aide de 20 millions de $AR (5,5 millions d'€) pour rénover les stations. Du côté du Subsecrétariat aux Services Publics, on rappelle que « *dans n'importe quelle entreprise privée, quand l'entreprise a des problèmes financiers, ce sont les actionnaires qui mettent de l'argent s'ils ne trouvent d'autre financement. Je pense que ce serait une bonne alternative* » (*Ibid.*). Le Gouvernement n'étant propriétaire qu'à hauteur de 20 %, *« il devrait contribuer pour 4 millions de $AR, et que les autres actionnaires en fassent autant* ». L'actionnaire majoritaire, le français SAUR, pas n'a pour le moment communiqué de réponse. En revanche, son principal associé, Southwater (propriétaire pour 32 %), refuse de financer l'entreprise : « *nous ne voulons pas être associés à ce désastre* », précisa F. QÜERIO, représentant de Southwater et Vice-président d'OSM.SA. (*Ibid.*).

Même si des investissements sont impératifs dans le domaine du traitement des eaux domestiques – eau potable comme effluents – l'augmentation de 46 % des tarifs prévue par OSM.SA. en 2009 est une charge plus que conséquente pour les Mendocinos, d'autant plus que pour l'année 2008, une augmentation de 19,7 % a déjà été consentie par la population. Quels ajustements tarifaires peut-on donc préconiser pour Mendoza ? Nous y répondrons dans le Chapitre 10.

- **Les eaux usées industrielles**

Il n'y a pas à Mendoza de traitement des eaux à finalité industrielle : soit l'entreprise peut se contenter des eaux des canaux d'irrigation (nettoyage des camions et de certains

matériels), soit elle paie ses factures d'eau potable, comme n'importe quel foyer. La facture étant fixe et non jumelée à la consommation, les industries ne font pas réellement attention à leurs gaspillages. En revanche, plus elles utilisent d'eau traitée, plus elles la polluent et plus elles rejettent d'effluents contaminés dans le réseau de collecte des eaux usées. Deux types de collecte sont effectuées : d'une part un réseau souterrain de collecte des eaux usées domestiques, auquel sont reliées bon nombre d'industries, notamment les entreprises de transport, fret ou passagers (F. ANDREU, responsable d'une entreprise de transports, communication personnelle) ; d'autre part, les entreprises étant situées dans les grands complexes industriels renvoient leurs effluents dans le réseau agricole.

Les eaux de la raffinerie et des autres entreprises du Parc Industriel Provincial (PIP), sont restituées au río Mendoza, soit en amont du barrage de Cipolletti (eaux dérivée ensuite pour les besoins de l'oasis) soit en aval de ce barrage, là où le río est à sec. Ces eaux sont théoriquement traitées et surveillées une fois par mois seulement, par les services du DGI. Les entreprises disent contrôler de leur côté la qualité de leurs effluents avant restitution au milieu (canaux, drains ou río Mendoza).

Les eaux des entreprises situées dans les autres parcs, comme le parc Nord de Las Heras ou la *Zona alcoholera*, rejettent leurs effluents dans le réseau d'irrigation. Les industries de la *Zona alcoholera* disposent d'un statut spécial puisque leur tributaire n'est autre que le collecteur Pescara (cf. *supra*). Elles doivent donc traiter leurs effluents avant de les restituer au collecteur Pescara souterrain. Cette canalisation souterraine collecte donc les eaux industrielles, afin d'en libérer le collecteur superficiel. La canalisation rejoint ensuite une salle de mélange où les eaux industrielles pré-traitées sont diluées avec de l'eau fossile de meilleure qualité. On ne peut donc pas vraiment parler d'un traitement en soi, puisqu'en plus **cette dilution augmente la quantité d'eau polluée** ; néanmoins, cette tentative de traitement a aussi un coût. Comment alors évaluer le coût du traitement des eaux usées industrielles ? En réalité, cela est très difficile puisqu'à notre connaissance, aucune étude chiffrée n'a été publiée. Le seul chiffre que nous pouvons communiquer est celui de la construction du Système Pescara (creusement de la canalisation souterraine, raccordement des industries à ce collecteur, forage dans l'aquifère, dispositif de mélange…). Il a coûté en tout 10 millions de $AR (soit 2,5 millions d'€, valeur 2004, date de l'inauguration du Système).

Dans l'ensemble de cette sous-partie, nous avons tenté de présenter les divers coûts socio-économiques consécutifs à la dégradation de la ressource en eau, du point de vue qualitatif. Néanmoins, nous gardons une certaine frustration, par l'absence de données chiffrées, à l'exception de la partie sur les macro-déchets, permise par l'important travail d'évaluation économique de la Professeure FEIJÓO, en 2007. Il est difficile de dire ici si l'absence de publications sur ce sujet révèle une volonté politique de censurer ce type d'informations (ce qui arrive fréquemment) ou tout simplement un désintérêt à chercher à connaître ces coûts de la part des économistes mendocinos. Malgré le peu de chiffres disponibles, il nous paraît cependant important de présenter les activités qui subissent les conséquences des activités anthropiques sur la ressource en eau.

9-3- Le coût environnemental

Mendoza est une oasis située au cœur d'un désert d'abri et, comme dans tout milieu aride, la faune et la flore ne sont pas des éléments « visibles », ni culturellement importants. En effet, la flore est naturellement de type ras, voire rachitique, tandis que la faune est constituée de quelques mammifères de montagne, mais surtout d'oiseaux, d'insectes, de

rongeurs, de reptiles ou d'amphibiens. Or, l'absence de végétation fournie implique que la faune ne puisse pas se cacher. Ce sont donc de petits animaux, de couleur proche de la couleur du sol (ocre/beige, marron), difficilement visibles. De plus, la nette différence entre l'écosystème naturel désertique et montagnard et l'écosystème anthropique oasien a créé une sorte de **ségrégation spatiale** entre la faune et la flore de l'oasis et la faune et la flore du désert ou des montagnes. **La population connaît donc assez peu son environnement « naturel » et est peu encline à la protéger**. Enfin, la chasse et la pêche n'étant pratiquées que par les descendants d'Indiens et par les populations rurales (même si la pêche en montagne est devenue un « sport » à la mode), la population ne prend par vraiment conscience de l'héritage naturel qu'elle possède, ni des conséquences des pollutions sur les plantes et les animaux.

9-3-1- Une végétation naturelle qui recule

Si les ouvrages de phytogéographie distinguent cinq régions floristiques particulières, nous simplifierons la typologie ; la flore naturelle du BV du río Mendoza se distingue en trois zones : la zone de montagne, la plaine du Cuyo, et le secteur spécifique du Cardonal (Gobierno de Mendoza, 1999) **(Planche photos 14)**.

La végétation de la montagne concerne la **phyto-région *andina*** et la **phyto-région *puneña***. Il s'agit de végétation adaptée aux vents forts, notamment dans la région *puneña* (Pré-cordillère, vallée de Calingasta, au nord de Cacheuta) où le *Zonda* souffle bien plus fort qu'ailleurs. En deçà de 2700 m d'altitude, on trouve une végétation *puneña* : il s'agit de végétation très rase, très sèche, xérophile puisque les précipitations annuelles moyennes avoisinent les 100 mm, dotée de très jolies petites fleurs colorées. A titre illustratif, on peut citer : le *Lycium chanar* (Solanacées), l'*Ephedra breana* (appelée « bec de perroquet »), le *Maihueniopsis glomerata* (espèce de cactus) ou le *Baccharis incarum* (arbuste). Au-delà de 2700 m, on rencontre la flore de montagne (*andina*). « *La végétation est ouverte et discontinue, fréquemment aplatie par la neige, et penchée dans le sens de la pente* ». Au dessus de 4000 m, il n'y a généralement que des pierres, mais entre 3700 et 4000 m, subsiste une végétation en coussins, mêlée au matériel rocheux, dont la période végétative est très courte (2 à 3 mois par an). Dans les vallées, apparaissent des liserés verts qui contrastent avec le désert environnant, riche en herbes aquatiques et de pâturages. Dans la végétation *andina*, on trouve de nombreuses espèces, dont l'*Adesmia aegiceras* et l'*Adesmia pinifolia* (Colimanil en français, famille des fabacées), l'*Ephedra chilensis* (ephedracées), la *Yareta* (végétation rase en coussins : *Azorella monanthos*, *Mulinum albovaginatum*, *Laretia acaulis*). Enfin, on trouve des espèces typique du *matorral* : la *Yerba del guanaco* (herbe du guanaco, *Oxalis erytrorrhiza*) et la *Yerba negra* (herbe noire, *Mulinum spinosum*).

La végétation de plaine entre dans la **phyto-région *del Monte***, souvent appelée *chaqueña*. Il s'agit de steppes arbustives extensives et par endroits de lambeaux de bois très dégradés appelés *algarrobal*. Ici aussi, la végétation est rase (steppe), avec notamment les *Prosopsis flexuosas* (mimosacées, famille des mimosas et acacias), l'*ala de loro* (aile de perroquet, *Monttea aphilla*, plantaginacées), l'*albaricoque* (arbre ressemblant à l'abricotier, *Ximenia americana* (un olacacée), le *tomillo* (thym, *Acantholippia seriphioïdes* (verbénacées)), ou encore l'indétrônable *Jarilla* (ici l'espèce *Larrea cuneifolia*).

Enfin, il y a la **phyto-région du *Cardonal***, sur « *le versant oriental de la Précordillère et les premières strates andines. Tout ce front de montagne reçoit directement*

l'effet des perturbations atlantiques de l'été, jusqu'à atteindre plus de 300 mm de pluies annuelles. Un exemple de cette végétation peut se voir dans la gorge de Villavicencio, bien qu'elle soit modifiée par les effets des feux ». Les espèces principales du *Cardonal* sont : les *Jarillas* (*Larrea nitida*, zygophyllacées), « *peut-être les plus représentatifs de notre sol* » (Gobierno de Mendoza, 1999), la *Colletia spinosissima* (rhamnacées), le *Shinus fasciculatus* (anacardiacées), l'*Adesmia horrida* (fabacées), et plusieurs espèces de cactus.

La végétation naturelle mendocina est donc relativement rase, xérophile, et dominée par le *jarilla*, cette espèce de type *matorral*. Avant l'arrivée des Colons espagnols, le *jarilla* couvrait la totalité de la plaine du Cuyo et du piémont de la Précordillère. Or, ce bois a été utilisé comme combustible, car quand il est vert, la présence de résine donne une flamme vive (SALOMON et PRAT, 2004) ; de plus puis sa légèreté permet un transport facile depuis le piémont (où il était présent jusqu'à 1000 m) jusqu'à la ville. Très vite, sa surexploitation a entraîné son recul, accéléré par la conquête des sols occidentaux à l'oasis par l'agriculture, notamment la vigne. La pratique des brûlis pour faciliter le pâturage des animaux a aussi participé au recul de cette végétation. De même, les rares forêts d'*algarrobal* présentes dans la plaine, notamment à Lavalle, ont été exploitées et seuls quelques lambeaux protégés subsistent.

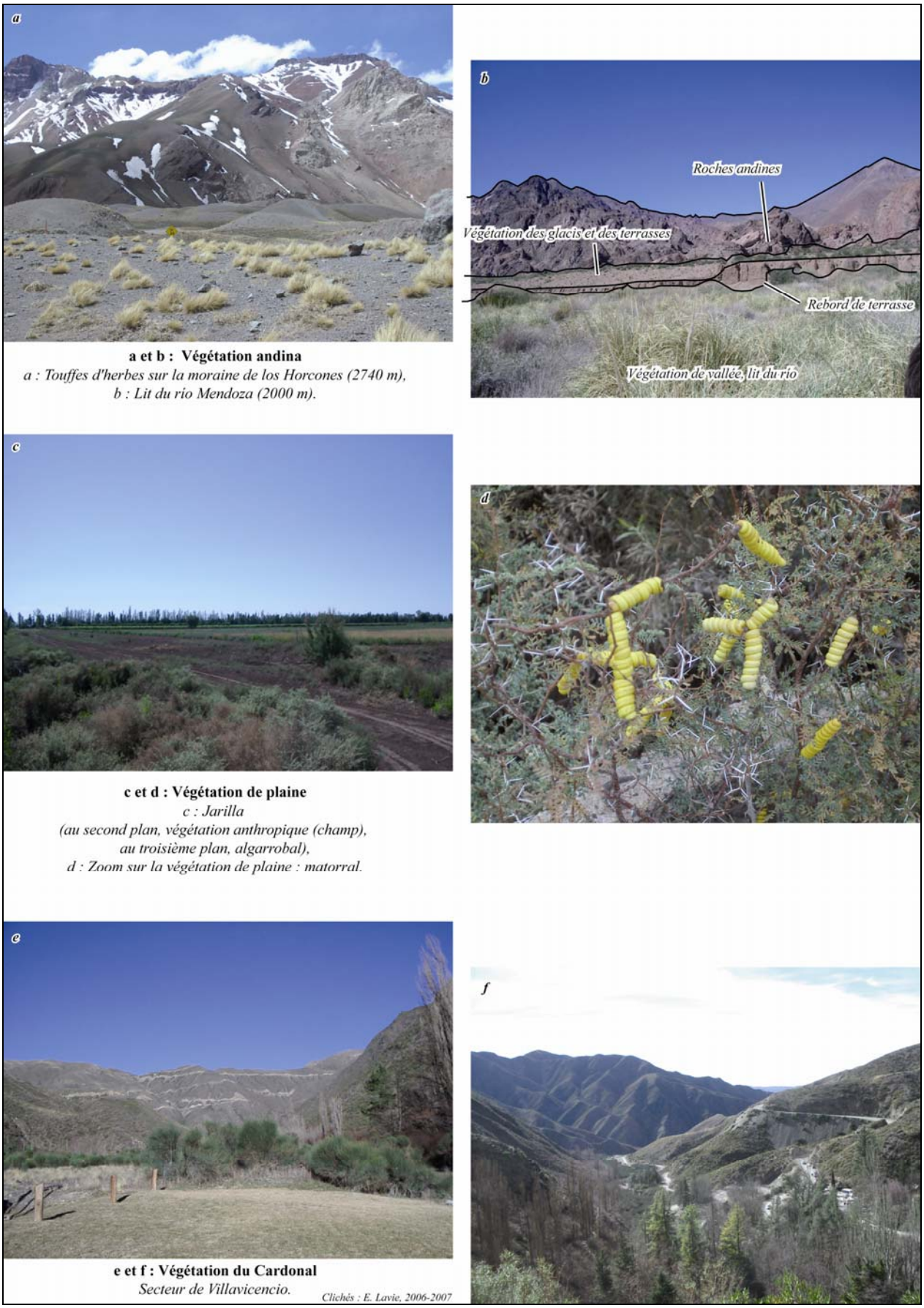
Mais cette végétation, outre une dégradation directe par l'homme, subit aussi une dégradation indirecte due à la pollution des eaux et des sols, et plus particulièrement à la salinisation. En effet, la salinisation des sols à l'aval de l'oasis entraîne en partie le recul du *jarilla*. En l'absence de réelle étude sur le sujet, il est difficile d'estimer les conséquences environnementales. Ce qui est sûr, c'est que lorsqu'on évalue les baisses de rendements agricoles des arbres et des légumes irrigués par de l'eau saline et/ou polluée par des effluents industriels, il est difficile d'imaginer que la végétation naturelle ne subisse pas le même sort.

Par ailleurs, la végétation naturelle devrait jouer un rôle dans l'épuration des éléments polluants contenus dans l'eau. La dégradation continue du couvert végétal naturel impliquant un moindre effet sur l'épuration, pourrait bien avoir un lien avec la salinisation accélérée des nappes phréatiques en aval de l'oasis.

9-3-2- Une végétation anthropique malade

Dans l'oasis, outre la végétation destinée à l'agriculture, on trouve de nombreux arbustes dont la vocation est d'ombrager les rues de la ville lors des fortes chaleurs. Ces arbres, le plus souvent des platanes ou des peupliers et des trembles, sont irrigués par le réseau des *acequias*. Or, il suffit de parcourir les rues pour voir que certains arbres sont en mauvais état. En effet, l'imperméabilisation grandissante des trottoirs, la couverture de certains *acequias* empêchant les arbres de grossir, le manque d'entretien des rebords d'*acequias* entraînant une lente inclinaison des arbres vers la rue, et la pollution de l'eau d'irrigation, ont provoqué des dépérissements d'arbres, notamment dans le centre-ville. Cette dégradation de l'*arbolado*[64] *público* et la baisse du nombre d'arbres, limitent la capacité d'épuration des eaux par cette végétation anthropique et accentuent l'évaporation de l'eau.

[64] : Substantif castillan pour « ensemble d'arbres ».



a et b : Végétation andina
a : Touffes d'herbes sur la moraine de los Horcones (2740 m),
b : Lit du rio Mendoza (2000 m).

c et d : Végétation de plaine
c : Jarilla
(au second plan, végétation anthropique (champ),
au troisième plan, algarrobal),
d : Zoom sur la végétation de plaine : matorral.

e et f : Végétation du Cardonal
Secteur de Villavicencio.

Clichés : E. Lavie, 2006-2007

Planche photos 14 : La végétation mendocina

9-3-3- Une faune pourtant variée

Le milieu aride mendocino implique une faune adaptée à la sécheresse, mais aussi aux fortes amplitudes thermiques, diurnes et annuelles (Gobierno de Mendoza, 1999).

Parmi les espèces les plus fréquentes, on trouve de nombreux arthropodes, des petits insectes aux araignées les plus dangereuses. Par chance elles sont très rares à Mendoza, mais 90 % des piqures recensées le sont en été. Quatre espèces se rencontrent à Mendoza : la veuve noire (*Latrodectus mactans*), l'araignée marron ou homicide (*Laxosceles laeta*), l'araignée coureuse de jardin (*Lycosa*) et l'araignée du Mercosur (*Phoneutria*). Les insectes sont gênants pour les personnes allergiques, mais à proprement parler, aucune espèce dangereuse n'a été recensée à Mendoza. Parmi les reptiles, on compte les tortues terrestres (*Chelonoides chilensis*), de plus en plus converties en animaux domestiques. Elles sont au départ des animaux autochtones de Mendoza qui aiment les zones de grands cactus ou de *jarilla*. Les lézards font également partie de la faune mendocina. A titre d'exemple, le lézard à queue épineuse (*Centrurza flagellifer*) se rencontre entre 1000 et 3000 m d'altitude à Mendoza. Dans cette famille des lézards, on trouve l'iguane coloré (*Tupinambis rufescens*), présent dans toute la province. Enfin, de nombreux types de serpents peuplent cette région, notamment les *Yaraña* (famille des *Bothrops* et des *Lystrophis*). Il faut cependant mentionner les espèces déjà éteintes, comme le boa constrictor ou la tortue d'eau. Si le boa a disparu à cause de sa chasse (sa peau est très recherchée), la tortue d'eau doit son extinction à l'assèchement des nombreux marais autrefois présents en aval des grands ríos, comme le río Mendoza et le río Atuel. La surexploitation de la ressource superficielle a entraîné l'assèchement des zones marécageuses et la disparition des insectes, nourriture principale des tortues d'eau.

Les mammifères sont également très nombreux dans cette région, notamment les rats, souris, marsupiaux, chauves-souris, renards, furet, furettes, félins (dont le puma et quelques espèces de gros chats comme el *Gato Montés* (*Felis geoffroyi*) ou le *Gato del pajonal* (*Felis Colocolo*). Plus commun, le lièvre patagon, est connu sous le nom de *Mara* (*Dolicotis australis*). Cet animal typique de la Pampa sèche ressemble à un animal hybride du kangourou et du lièvre. On trouve des porcins et camélidés comme le *Pecari de Collar* (*Tayasu tajacu*), une sorte de sanglier, ou le légendaire *Guanaco* (*Lama guanicoe*), un des herbivores les plus grands du sol mendocino, que l'on rencontre jusqu'à 4500 m. Les tatous sont assez nombreux dans le Cuyo. On leur donne des noms différents selon les espèces, comme l'*armadillo*. Cette faune autochtone doit malheureusement cohabiter avec une population introduite comme le lièvre européen (*Lepus europeus*), le lapin sylvestre (*Oryctolagus cuniculus*) ou le sanglier (*Sus scropha*). Ces animaux abîment les sols et les troncs des arbres, ce qui pose des problèmes pour les cultures de l'oasis et pour la faune sauvage qui voit son habitat dégradé.

Enfin, parmi les animaux terrestres, on compte des amphibiens, relativement rares en ce milieu semi-aride à aride. On notera la présence de grenouilles (*Leptodactylus*) et de crapauds (*Bufos*), dont le crapaud commun (*bufo arenarum*) et le crapaud andin (*bufo spinulosus*).

De nombreux récits (Gobierno de Mendoza, 1999) racontent que le poisson de Mendoza se commercialisait jusqu'au Chili dès le XVIIème siècle. Les lagunes de Guanacache et del Rosario (aval du río Mendoza) « regorgeaient » de truites créoles, cette espèce typiquement mendocina. L'assèchement des lagunes et marécages de la province, par la surexploitation des eaux superficielles, mais aussi par la modification naturelle du cours du

río Desagüadero, alors exutoire du río Mendoza (pour retrouver un profil d'équilibre, la rivière s'est encaissée de 2 m, accélérant la « vidange » des lagunes du BV du río Mendoza) a entraîné la disparition progressive des poissons en aval de l'oasis. Néanmoins, ils subsistent dans les lacs artificiels ou dans des drains naturels anthropisés comme l'arroyo Tulumaya (Lavalle) où l'on retrouve la richesse ichtyocolle de la province. Bien évidemment, il ne s'agit que de poissons d'eau douce. Cette faune est caractérisée par les *Bagre*, terme générique pour qualifier le poisson-chat. Parmi ces *Bagres* : le *Bagre Otuno* (poisson-chat-thon, *Diplomystes viedmensis cuyanus*), le *Bagre Anguilla* (poisson-chat-anguille, *Hatcheria macrei*), le *Bagre de Torrente* (poisson-chat du torrent, *Trichomycterus mendozencis*), et le *Bagre chico* (petit poisson-chat, *Trichomycterus areolatus*). On trouve aussi d'autres espèces typiques de la région, comme la *trucha criolla* (truite créole, *Perichtys trucha*), la *Mojarra plateada* (*Cheirodon interruptus interruptus*), l'*Anguilla criolla* (anguille créole, *Synbranchus marmoratus*). Malheureusement, l'introduction d'autres espèces, allochtones cette fois, comme d'autres espèces de truites ou des carpes, a entraîné un fort déclin des populations autochtones, bien installées dans les lacs de barrage de Potrerillos et del Carrizal.

La question des poissons est assez simple à se représenter : les cours d'eau des rivières sont totalement anthropisés. Les quantités s'amoindrissent, les lits sont retracés, la pollution augmente, c'est donc toute la richesse des espèces naturelles andines et cuyanas qui est en danger. Dans le collecteur Pescara, une à deux fois par an, lorsque des coupures d'eau sont faites, le collecteur ne reçoit plus d'eau des zones agricoles 2 et 3, ni d'eau des canaux Cacique Guaymallén et San Martín, seules les eaux industrielles circulent. Et chaque fois la même observation revient : les poissons meurent dans le canal. Un article de *Los Andes* (2008a) précisait : « *il y a quelques jours, apparut un nouveau signal d'alarme, quand des enfants ont sauvé du cours d'eau quelques poisson-chats presque morts et la recherche immédiate effectuée révéla que les eaux étaient polluées. On a découvert de l'ammoniac en grande quantité, dépassant les valeurs mortelles pour les poissons, un pH anormalement bas, indices de matière organique en décomposition, ajoutés à la présence de pollution chimique des industries, parce qu'on a détecté des carbonates et des bicarbonates en grandes quantités* ». Ces poissons flottent à la surface, attirant nombre d'insectes et autres bactéries qui prolifèrent dans cette zone péri-urbaine habitée.

Le lien qui unissait le Mendocinos à l'eau, ce lien culturel à la fois sacralisé (Difunta Correa)[65], mais aussi fêté (Reine de l'eau, Reine des vendanges qui ne seraient permises sans irrigation), s'est peu a peu effrité, laissant au visiteur une impression de parfaite inconscience des questions de respect des ressources naturelles, au premier rang desquelles figure l'eau. Or, le développement d'associations de défense des intérêts humains et environnementaux (cf. *infra*) prouve au contraire que si les autorités semblent affairées à des questions à plus court terme, la population assume peu à peu sa part dans les gaspillages et les dégradations faits à la ressource. Les Mendocinos considèrent la sauvegarde des arbres des rues comme une des priorités en matière d'environnement (cf. *infra*). Alors certes, la végétation anthropique a plus de valeur aux yeux des habitants de cette oasis que la végétation naturelle. Elle est le fruit de leur travail, la concrétisation des aménagements faits par leurs ancêtres. Mais l'intérêt des populations pour la végétation anthropique est déjà un premier pas dans la prise de conscience collective de la valeur à la fois économique et humaine de la faune et de la flore du Cuyo.

[65] : Difunta Correa et Reine de l'eau : cf. introduction.

***

*Malgré l'ensemble des études publiées à Mendoza sur les problèmes quantitatifs et qualitatifs de la ressource en eau, il semble que ni la population, ni les autorités, n'aient pris véritablement conscience de l'***urgence de l'action** *visant à freiner les dégradations faites sur le milieu. En effet, l'eau étant un élément vital, une eau à usage alimentaire polluée implique rapidement des maladies hydriques. Néanmoins, au-delà des maladies bactériologiques connues, on s'aperçoit que sur le long terme, la consommation ou le contact chronique d'eau de mauvaise qualité physico-chimique, peut aboutir au développement de maladies cancérigènes ou neuro-dégénératives. Par ailleurs, s'il reste difficile, en absence d'études plus poussées, d'évaluer l'impact sanitaire de la dégradation qualitative de la ressource en eau, il est des coûts plus facilement chiffrables. La prolifération des macro-déchets provoque des débordements d'eau à finalité agricole, un abaissement des débits pourtant facturés aux agriculteurs. A cela, il faut ajouter une dégradation de la qualité des sols et donc des produits agricoles. Les rendements baissent, les produits sont de moins bonne qualité, ce qui implique un manque à gagner important, et sur le long terme. Enfin, même si tous les quartiers ne sont pas touchés, il faut noter quelques problèmes fonciers ponctuels aux abords des canaux les plus pollués, comme le canal Jocoli ou le collecteur Pescara. Somme toute, si les priorités sont les conséquences sanitaires et socio-économiques de la dégradation de la qualité de l'eau, la réalité environnementale n'est bien entendu pas envisagée. Pourtant, la croissance de l'oasis et les dommages subis par le milieu hydrologique font reculer une faune et une flore pourtant exceptionnelles et variées. La mort des poissons est une conséquence visible, mais elle cache de nombreux autres dégâts environnementaux. Malgré cela, des solutions, tantôt simples, tantôt plus techniques et coûteuses, existent. C'est l'objet du Chapitre 10.*

***

Chapitre 10 :

Vers une prise de conscience et une meilleure gestion ?

Tous les sites internet officiels de la province de Mendoza (municipalités, Gouvernement de la province, mais surtout DGI), mettent en exergue la « culture de l'eau » présente à Mendoza. Chaque année, on élit une Reine de l'Eau, de nombreuses manifestations rappellent très régulièrement que l'eau est l'affaire de tous, comme à chaque inauguration d'infrastructure (imperméabilisation de canaux par exemple). Or, dans les faits, il existe relativement peu de solutions techniques pour limiter la pollution de l'eau et la prise de conscience collective paraît être la solution principale.

En Argentine il n'y a pas de loi sur l'eau nationale, la gestion est faite à l'échelle provinciale ou locale (*Unidad de Manejo* ou municipalité par exemple). Cette gestion s'étend donc sur une échelle spatiale relativement limitée et peu perméable. C'est comme s'il y avait trois niveaux : l'oasis, le BV du río Mendoza et la province. Or, des échelles de gestion et des échelles spatiales aussi condensées impliquent **des échelles d'action relativement réduites**.

Le diagnostic qualitatif réalisé met en exergue un certain nombre de dysfonctionnements dans la **gestion du réseau** en tant qu'infrastructure, mais aussi dans l'**administration de la ressource** tant superficielle que souterraine, administration à la charge d'organismes publics ou privés dont les compétences se chevauchent. De fait, certaines solutions peuvent être proposées. Ce sont des mesures infrastructurelles, des plus légères aux plus lourdes et coûteuses, mais aussi structurelles. La gestion de la ressource doit être reconsidérée parce que la population est spectatrice d'un jeu de rôle où chacun se renvoie la responsabilité de tel ou tel investissement, ou de telle ou telle atteinte à la qualité de l'eau. Dans ce contexte, peut-elle véritablement prendre conscience qu'elle tient une part au moins aussi importante que les autorités dans la dégradation de sa ressource ?

10-1- Des solutions avant tout curatives

Les solutions curatives visent, littéralement, à soigner l'eau, donc à la traiter, la laver de ses pollutions. Elles passent obligatoirement par des infrastructures, généralement assez lourdes. Trois orientations nous semblent prioritaires : les équipements de **distribution** de l'eau, les infrastructures de **traitement** de l'**eau**, et les dispositifs de **gestion** et de **traitement** des **macro-déchets**.

10-1-1- Améliorer les infrastructures de distribution de l'eau

Nous connaissons mal l'état des infrastructures de distribution souterraine de l'oasis. Les tuyaux libèrent-ils des métaux lourds toxiques ? La question reste entière, mais en ce qui concerne le réseau superficiel à ciel ouvert, de nombreuses solutions techniques peuvent être proposées.

- **Enterrer les canaux AEP**

Il est d'abord incompréhensible que les canaux transportant l'eau du río Mendoza vers les stations de traitement pour l'eau potable domestique ne soient pas enterrés. Il est indispensable, pour limiter le coût du traitement, d'enterrer, ou du moins de couvrir les canaux, notamment le canal Civit qui parcourt les espaces urbains de Luján et de Godoy Cruz avant d'atteindre l'usine Alto Godoy dans le Parc du Général San Martín de Capital. Ce canal est traversé maintes fois par des ponts routiers, il est encadré de routes (dont l'*accesso Sur*, autoroute qui relie Mendoza à Neuquén au sud), passe à proximité des *villas miserias*… et n'est protégé qu'en partie, par tronçons. Il faut dire qu'à Mendoza, la situation en zone de failles oblige les autorités à construire en antisismique, ce qui a un coût conséquent. Cette mesure nous paraît être la plus urgente. Le tracé total du canal Civit depuis le barrage Carrodilla (porte-écluse) jusqu'à son entrée à la station d'épuration Alto Godoy est de 12 km. Ce canal appartient au DGI, comme canal de rang principal, mais l'*Inspección de Cauce* est gérée par OSM.SA. C'est donc logiquement à l'entreprise privée de faire nettoyer le canal. Mais de son côté, le DGI est responsable du gros œuvre. Or, il est des secteurs où les rebords du canal Cacique Guaymallén et du canal Civit n'ont pas été entretenus depuis plus de quarante ans et où le ciment et les rives de terre ont tendances à se disloquer. De fait, pour schématiser, certains secteurs révèlent des problèmes de mauvais entretien des bordures tandis que d'autres voient des accumulations de macro-déchets. Depuis de très nombreuses années, il est question d'enterrer le canal Civit, afin de le protéger et donc de réduire les coûts de traitement des eaux pour l'AEP. Or, la crise économique *de los 2000* a une fois de plus retardé les investissements.

En avril 2007, les projets ont été relancés et il était question de construire 6800 m de canal souterrain, pour un total de 13 millions de $AR (3,7 millions d'€). Il s'agissait dans les faits de d'enterrer un tube en fibre de verre parallèle au canal afin de ne pas couper l'eau. Mais ce projet est lent à mettre en place et à l'heure actuelle, les travaux sont loin d'être terminés.

Or, en octobre 2007, un petit garçon de 5 ans, habitant la *villa miseria* de Campo Pappa (municipalité de Godoy Cruz, cf. *infra*), est tombé dans le canal Civit qui passe devant le seuil de sa maison. Le temps de trouver le corps, l'eau a été coupée dans le canal Civit et une grande partie de la population a été privée d'eau potable pendant 24 h. Les écoles ne pouvant ouvrir quand il n'y a pas d'eau (risque d'incendie et de maladie hydrique si les chasses d'eau ne peuvent fonctionner), elles ont fermé 48 h tandis que certaines entreprises ont aussi été privées d'eau. La population a ainsi pris conscience de sa vulnérabilité face à la quantité, comprenant que quelques heures de coupure d'eau dans un canal pouvaient avoir des répercussions importantes. Mais elle a aussi pris conscience de sa faiblesse face à la qualité, puisque si un enfant peut tomber, des chiens errants ou des poules peuvent en faire de même, et ce n'est pas pour autant que l'on coupe l'eau des canaux. L'eau brute qui arrive aux stations AEP de l'oasis (à l'exception de Municipalidad de Luján et Luján I et II), peut être fragilisée par des pollutions bactériologiques, entre autres.

Il a donc à nouveau été question au printemps 2007, de la couverture des canaux AEP, obligeant les autorités à faire un peu plus preuve de transparence dans la gestion de l'eau potable. Cette actualité a par ailleurs, pour quelques temps du moins, relancé le projet de séparation du réseau d'eau crue pour l'AEP, du reste du réseau superficiel de l'oasis.

- **Eliminer les macro-déchets dans les canaux**

La pollution urbaine qui aboutit dans le Cacique Guaymallén et les autres canaux, pourrait être limitée en protégeant les *acequias*. Les couvrir reste la meilleure solution pour les protéger mais elle comporte des inconvénients importants. D'une part elles font partie intégrante du dispositif de gestion des crues, (il faudrait donc repenser l'évacuation de l'eau dans la ville, par exemple via une déviation en amont de celle-ci, à l'image de l'ancien canal Pucara **(Fig. 17)**) ; d'autre part il devient plus difficile de les nettoyer **(Planche photos 6)**.

Il serait aussi envisageable de placer des grilles au débouché de chaque *acequia* dans un canal. A condition de nettoyer ces grilles régulièrement pour éviter les débordements d'eau, cela peut s'avérer une véritable protection des canaux et collecteurs, puisqu'il y aurait concentration des macro-déchets en amont, dans des endroits accessibles et donc faciles à nettoyer.

Protéger les infrastructures publiques de distribution de l'eau, à savoir les canaux, reste de fait la priorité. Nous pensons à un dispositif d'« aires protégées » ; en effet, du moins pour les canaux principaux, il est envisageable d'installer des barrières à 2 ou 3 m du bord des canaux, à la manière des autoroutes. Les bords des canaux *matriz* et *ramas* deviendraient des aires privées. Ce dispositif ne supprimerait pas tous les dépôts d'ordures sauvages, mais il les limiterait en partie.

- **Imperméabiliser les canaux**

En 2006, nous avions réalisé une étude en collaboration avec les Ingénieurs de l'INA sur les conséquences de l'imperméabilisation des cinquième et sixième tronçons du canal Matriz San Martín (en zone agricole 5) sur la qualité minérale de l'eau (LAVIE, 2007a ; MORÁBITO *et al.* 2007).

Avant 2002, le canal Matriz San Martín était imperméabilisé depuis le barrage de Cipolletti, jusqu'à la zone 6. L'eau était ensuite répartie dans les différents canaux secondaires depuis ce canal principal (nommé ici Galigniana Segura) et le surplus était déversé dans le río Mendoza. Un peu plus en aval, l'eau du río Mendoza (mélangée au surplus d'eau du canal Matriz San Martín au sortir de la zone 6) était recanalisée vers les canaux San Pedro y San Pablo en rive gauche, et Nueva California en rive droite. Puis l'ancien barrage de Gustavo André sur le río Mendoza (point RIII) servait de nouveau dérivateur vers les canaux Gustavo André et Natalia Estrella **(Fig. 66)**.

Or, non seulement cette eau était – et est toujours – en partie contaminée par les rejets de la zone agricole 6 et de la station d'épuration de Paramillo rejetait ses effluents directement dans la rivièr. On sait que le río Mendoza a une capacité d'auto-épuration rendue possible par ses rives marécageuses, ses nombreuses ramifications et l'action du soleil. Cette auto-épuration nécessite au moins 5 km de circulation (Ing. Mirabile, INA, communication personnelle) ; or la rivière ne les parcourt pas avant d'être recanalisée en zone 5. Les agriculteurs de cette zone disposent de terrains mal drainés et salins et, qui plus est, recevaient avant 2004 une eau de mauvaise qualité.

L'imperméabilisation du canal Matriz San Martín, depuis le barrage de Cipolletti jusqu'à la zone 5 sans interruption, a permis dès 2002 aux agriculteurs de bénéficier d'une eau ayant subi peu de rejets, qu'ils soient urbains, agricoles ou industriels. Ainsi, depuis la zone 6, un nouveau pont-canal traverse le río Mendoza et prolonge la partie imperméabilisée du Canal San Martín en zone 5 (tronçons 5 et 6).

- La conductivité avant l'imperméabilisation du canal Matriz San Martín

En faisant la moyenne des données dont nous disposons sur toute la zone, dans les domaines agricoles, nous obtenons une moyenne par canal **(Tab. 14)**.

Canal	Zone	Conductivités en µS/cm à 25°C
San Pedro y San Pablo	5	1160
Nueva California	5	1065
Gustavo André	5	1283
Galigniana Segura	6	940

Tab. 14 : Moyennes des conductivités par branches irriguées
Base de données : INA 2001/2002, cf. Partie III

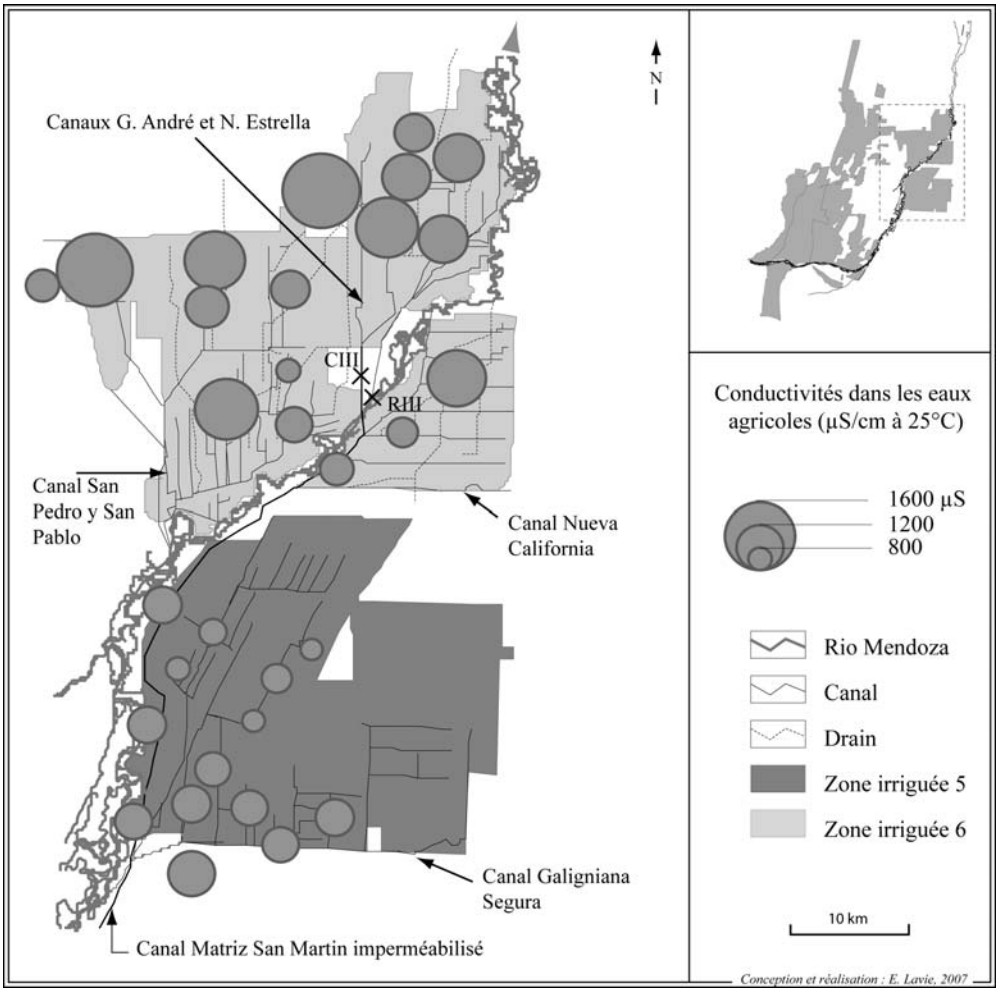
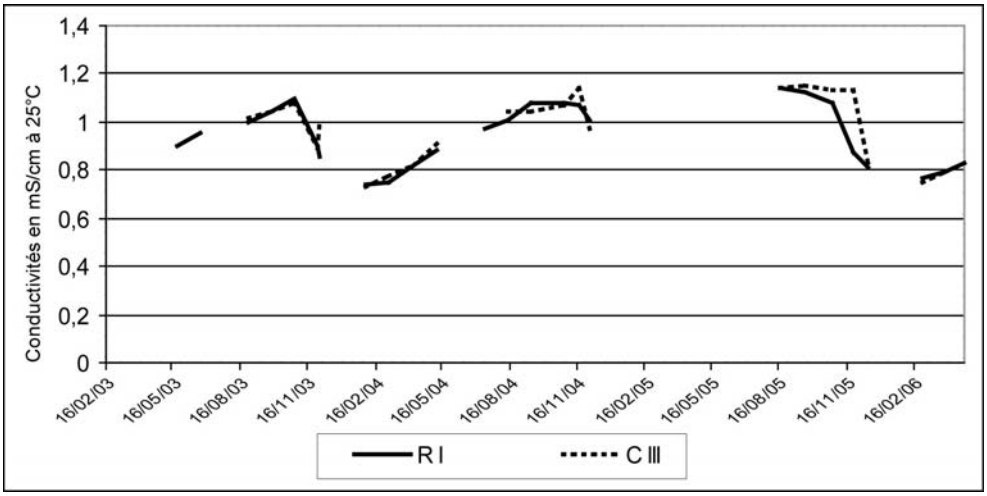


Fig. 66 : Conductivités mesurées dans l'eau d'irrigation des exploitations en zones agricoles 5 et 6 en 2001, 2002
Source : LAVIE, 2007a

Les conclusions sont simples car il s'avère évident à la lecture de ce **Tab. 14** et de la **Fig. 66**, que les exploitations alimentées par le canal Galigniana (branche du canal San Martín), ont reçu une eau beaucoup moins chargée que les exploitations de la zone 5, alimentées par le río Mendoza. De plus, la moyenne des conductivités observées en zone 6 se rapproche des conductivités connues sur RI. L'imperméabilisation du canal Matriz San Martín depuis la zone 6 jusqu'à la zone 5 devait en théorie permettre aux agriculteurs de cette cinquième zone de recevoir une eau de bien meilleure qualité.

- La conductivité depuis l'imperméabilisation du canal

En 2003 lorsqu'a débuté le projet de l'INA sur la qualité de l'eau du réseau superficiel, le canal était déjà imperméabilisé depuis peu. Refaire des mesures de conductivité dans toutes les exploitations agricoles est inenvisageable financièrement par l'INA. Pour le moment, il nous est donc impossible de comparer point par point les changements de qualité comme la rigueur scientifique le demande. Cependant, nous disposons d'un point sur le nouveau canal San Martín, le point CIII, que nous avons comparé avec RI. Sur le **Graph. 25** les courbes paraissent totalement liées, il semble donc que CIII reçoive une eau n'ayant subi aucune pression anthropique depuis RI. Les agriculteurs, qui disposent désormais de l'eau du río Mendoza canalisée depuis le barrage de Cipolletti, et non plus depuis l'aval de la zone 6, ont vu la qualité de l'eau et des sols, donc de leurs produits, s'améliorer.



Graph 25 : Conductivités en RI et CIII (2003/2006)
Source : base de données INA, in Lavie, 2007a

Le développement de cet exemple permet de démontrer **l'intérêt de l'imperméabilisation des canaux** quant à la réception d'une eau de bonne qualité, puisque la ressource est mieux protégée des pollutions des sols. Cette solution, pratique sur le plan qualitatif même si elle est coûteuse (structures antisismiques), pose néanmoins un problème sur le plan de la quantité puisqu'elle limite la recharge de l'aquifère dont une partie est permise par les pertes des canaux.

10-1-2- Rendre plus efficaces les infrastructures de traitement des eaux

Il ne suffit donc pas de prévenir et d'agir en amont. Une fois les eaux usées, il faut les traiter avant de les réintégrer dans d'autres hydrosystèmes (naturels ou artificiels). D'abord l'eau à destination des foyers peut subir un traitement plus intensif ; en aval, le traitement des

eaux domestiques et industrielles doit être mieux réalisé puisque ces eaux sont réutilisées par l'agriculture. Les infrastructures existent à Mendoza, mais le diagnostic de l'état qualitatif de la ressource révèle une efficacité médiocre de ces équipements.

- **Améliorer la qualité de l'eau du robinet**

Les stations de traitement de l'eau potable régies par la société OSM.SA. suivent un procédé classique et plutôt efficace (appliqué en France), à savoir une clarification (filtration et floculation) et une désinfection. Mais la désinfection par le chlore n'est pas la meilleure et pose de surcroît des problèmes de goût lors de la consommation. Il est vrai qu'il est difficile de doser efficacement les produits de manière à ce que l'absence de bactéries dure jusqu'au robinet de la clientèle. A Mendoza, l'eau a souvent fort goût et odeur de chlore. Mais les technologies évoluant, un procédé (bien plus cher) pourrait être envisagé : la désinfection par rayonnement aux ultra-violets.

Le problème de la bactériologie est un des « bémols » à prendre en compte en ce qui concerne l'état des lieux qualitatif de l'eau du robinet, au moins pour le *Gran Mendoza*. En effet, dans le cadre d'un stage effectué dans les locaux de l'Instituto Nacional del Agua, nous avons procédé à une série d'analyses visant à évaluer la qualité de l'eau alimentant les foyers. Cette étude de la qualité de l'eau du robinet avait une triple optique : connaître la qualité chimique de l'eau au moment de la consommation, et non à la sortie des stations de traitement AEP ; observer la différence de qualité en fonction du quartier et de la station AEP qui alimente tel ou tel quartier ; enfin évaluer si l'eau, dans un même quartier, est de qualité différente selon les maisons, afin d'observer l'impact des *tanques* (réserves d'eau sur le toit des maisons) et des canalisations sur la qualité de l'eau[66].

Nous avons choisi d'effectuer deux séries d'analyses afin de s'affranchir d'éventuelles erreurs sur une date. Pour des raisons pratiques, les prélèvements et analyses ont eu lieu fin octobre et fin novembre 2007, au printemps, moment où les besoins en eau d'irrigation sont les plus importants et où les besoins en eau potable commencent à nettement augmenter avec le début des fortes chaleurs.

L'échantillonnage s'est fait d'une part sur le volontariat des chercheurs et personnels de l'INA de Mendoza. Ils ont porté une bouteille d'eau, remplie avec soin après une petite « leçon » faite à chacun d'entre eux sur la nécessité de suivre certaines règles[67]. D'autre part, nous sommes allée collecter des échantillons dans les bars, restaurants et hôtels de la ville, un peu à l'*insu* des propriétaires.

Au total, nous recensons 40 échantillons, dont 33 en octobre et 35 en novembre, soit 26 mesures doubles. La **Fig. 67** montre une représentativité spatiale plutôt bonne. De plus, si la plupart des robinets échantillonnés sont alimentés par OSM.SA., nous recensons trois mesures de la municipalité de Luján (dont deux dans le secteur alimenté par la station Luján II), deux de Maipú et un puits d'un Opérateur de Gestion Communautaire, vraisemblablement une association de quartier, à Bermejo, un quartier artistique du nord de Guaymallén.

Nous avons choisi d'analyser le **pH**, la **conductivité électrique** (en µS/cm), les **sels dissous** (TDS, en mg/l), la **salinité** (SAL), les **orthophosphates** (en mg/l), les **nitrates** (en mg/l) et la **turbidité** (FNU)[68].

---

[66] : Cette étude est en cours de rédaction (LAVIE, MORÁBITO, SALATINO, *à paraître*).

[67] : Rincer la bouteille et son bouchon trois fois, la remplir à ras-bord pour en laisser échapper tout l'air, la transporter à l'abri de la lumière et de la chaleur, la mettre au réfrigérateur le plus rapidement possible.

[68] : Pour la méthodologie, se reporter aux travaux du LGPA : HOFFMANN et PELLEGRIN, 1996, pour les bases d'hydrochimie du Laboratoire ; et BARTHE, HOFFMANN et LAVIE, 2008, pour les eaux potables.

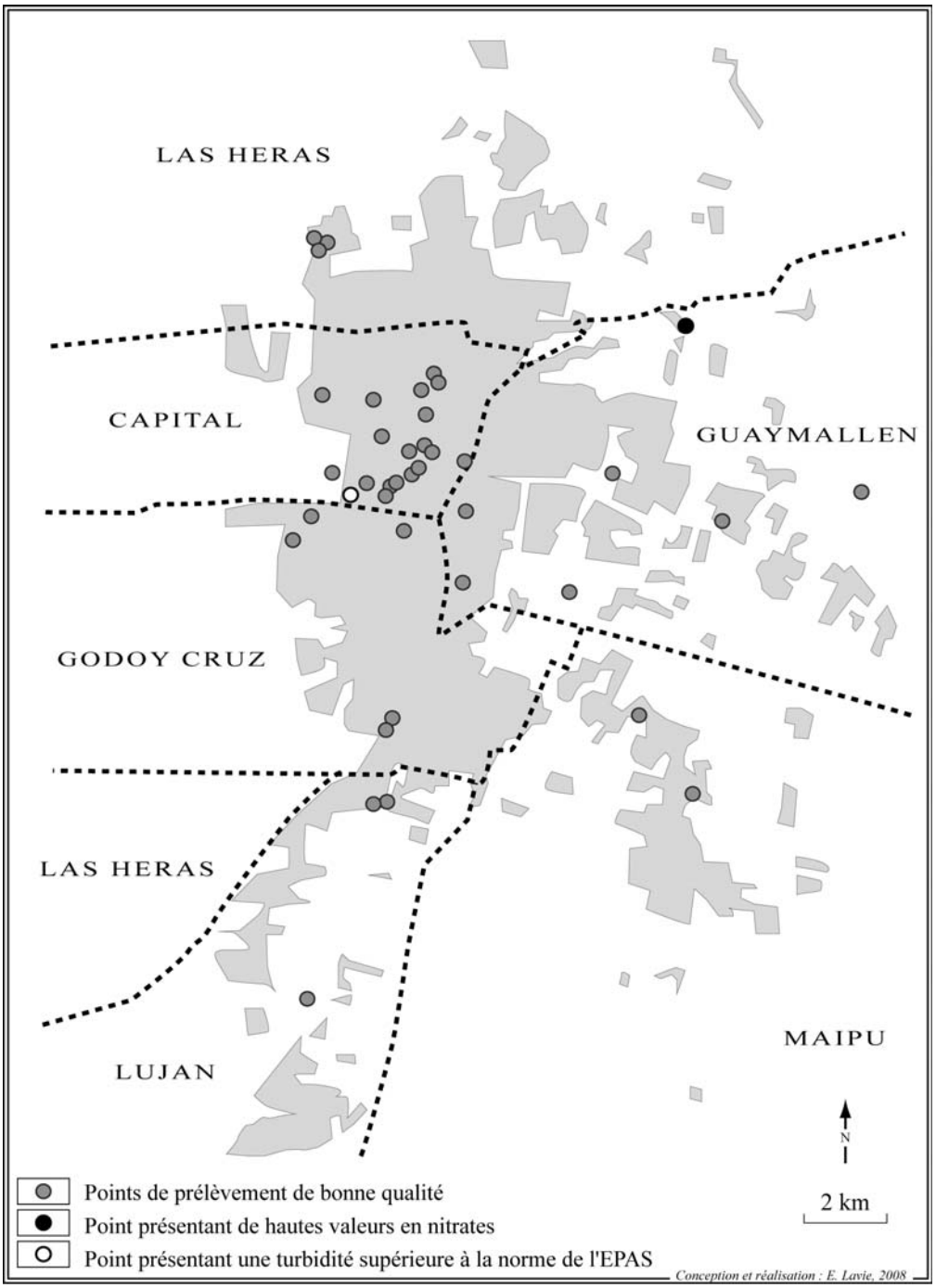


Fig. 67 : L'eau potable, une eau de bonne qualité

Les résultats présentés dans le **Tab. 15** indiquent une **bonne qualité générale de l'eau**, **bien en deçà des normes**, à une exception près puisqu'un échantillon révèle une turbidité (2,6 FNU) supérieure à la norme de l'EPAS (2 FNU), bien que nettement en dessous de la norme OMS (Organisation Mondiale de la Santé : 25 FNU). Néanmoins, un résultat nous pose problème : celui de 28,4 mg/l de nitrates dans les eaux du robinet d'une maison. Certes, c'est en deçà de la plupart des normes mondiales de potabilité, reste que c'est trois fois le seuil d'alerte pour le milieu, et, à titre indicatif, deux fois la norme des Etats-Unis (15 mg/l) et plus que la norme de l'UE (25 mg/l) (SALOMON, 2008a). Or, ce point correspond à un puits personnel ou de quartier (Operateur de Gestion Communautaire) : c'est donc une eau prélevée dans la nappe, et non traitée au préalable.

La minéralisation, bien que d'amplitude importante entre les deux dates, correspond aux valeurs mesurées au barrage de Cipolletti ces mêmes jours, donc aux valeurs du milieu.

	pH	**CE**	**TDS**	**SAL**	**NO_3^-**	**PO_4^{3-}**	**Turbidité**
		(µS/cm)	(g/l)		(mg/l)	(mg/l)	(FNU)
Minimum du suivi	6,8	540	0,31	0,3	1,2	0	0
Moyenne du suivi	7,7	900	0,53	0,4	3,24	0,01	0,66
Maximum du suivi	8	1500	0,8	0,7	**28,4**	0,03	**2,6**
Norme EPAS*	*6,5 à 8,5*	*2500*			*45*		*2*
Norme OMS**	*6,5 à 9,2*				*45*		*25*

Tab. 15 : Résultats des analyses et normes de potabilité

* EPAS : Agence provinciale de l'eau et de l'assainissement de Mendoza (les mêmes que le Code Alimentaire Argentin)

** OMS : Organisation Mondiale de la Santé

La qualité de l'eau du robinet dépend en premier lieu de l'origine de l'eau : prise dans le río Mendoza, ou pompée dans la nappe (et dans quelle nappe, à quelle profondeur, etc.). Il s'avère évident qu'un travail plus précis pourrait être fait sur l'inégalité d'accès à une eau de bonne qualité en fonction du lieu de vie. En second lieu, le traitement effectué sur l'eau est évidemment à prendre en compte. OSM.SA. a les moyens, en tant que très grande entreprise, quasi monopole, et co-financée par des multinationales comme SAUR, de construire de grandes stations de traitement des eaux. Les Opérateurs de Gestion Communautaires qui distribuent l'eau dans les zones péri-urbaines et rurales traitent l'eau mais ne disposent pas de tant de technologie.

Le dernier critère en ce qui concerne l'eau du robinet est le transport et la conservation de l'eau. Ainsi les tuyauteries ne sont-elles pas toutes modernes et certaines peuvent contenir des métaux lourds. De même, l'eau est stockée dans ce que l'on nomme des *tanques*, comme des mini-châteaux d'eau sur le toit de chaque maison. C'est une réserve d'eau potable personnelle, d'une capacité d'environ une journée de consommation, et qui permet de disposer d'une pression suffisante. Or, selon l'âge du *tanque*, il peut s'oxyder de l'intérieur et libérer des métaux lourds par exemple. Ce paramètre, bien souvent négligé, est pourtant primordial dans l'évaluation de l'accès à l'eau potable. Les paramètres que nous avons analysés ne présentent pas de différences entre les maisons équipées d'un *tanque* et celle qui n'en n'ont pas. De même, aucune différence n'apparaît entre les maisons avec *tanque* de béton ou *tanque* de plastique. De fait, si la question des bactéries et du surdosage du chlore reste en suspend, la qualité physico-chimique paraît en partie avérée. Or, si pendant des années les Mendocinos ne se sont que trop peu intéressés à la qualité de leur eau, depuis le décès du jeune garçon dans le canal Civit (cf. *supra*), la prise de conscience de la population semble s'être accélérée. En effet, pendant l'hiver 2008, certains habitants des quartiers sud de l'agglomération se sont plaints de la turbidité de l'eau du robinet, alimentée par OSM.SA. Selon STURNIOLO (2008b), les Godoy-Cruzinos et quelques Lujaninos[69] recevaient « *de l'eau turbide, avec des sédiments et même « jusqu'à de la terre »* ». Leurs plaintes posées à

[69] : Habitants de Godoy Cruz et de Luján.

l'EPAS ont obligé l'organisme public à effectuer des mesures de qualité des eaux vendues par OSM.SA. Or, les résultats ont révélé la présence de « *manganèse qui sort des robinets des habitants de Godoy Cruz (...) par faute d'entretien du réseau d'eau potable* ». L'EPAS a ainsi porté plainte contre OSM.SA. auprès du tribunal provincial (LOS ANDES, 2008f). « *Le scandale de l'eau a commencé il y a plus de deux mois, quand des habitants de Godoy Cruz ont démontré que le liquide sortait du robinet avec des particules noires. Les analyses ont démontré que c'était du manganèse, un métal qui, consommé sur le long terme, peut provoquer des problèmes de santé. Malgré tout, il n'y a pas de rapport qui parle de toxicité, parce les niveaux se sont pas alarmants, et l'EPAS a décidé de porter plainte contre l'entreprise* [OSM.SA.], *si elle ne recevait pas de réponses satisfaisantes sur ce cas* ». Néanmoins, malgré les appels au calme d'OSM.SA., arguant que le manganèse était bien en deçà des niveaux de risque pour la santé, la population n'ose pas la consommer : « *« Nous, nous ne la buvons plus parce que, ne serait-ce qu'en regardant sa couleur, n'importe qui se rend compte qu'on ne peut pas s'y fier. Obras Sanitarias nous a dit qu'elle s'occupait de ce cas, qu'elle allait prendre contact avec nous pour vérifier ça, et que cette eau ne nous faisait pas de mal, mais on a toujours peur de la consommer et nous pensons que c'est quelque chose de logique », a déclaré Claudio Márquez, habitant du quartier Trapiche, un des plus affectés par cette situation* » (STURNIOLO, 2008b). D'apparence, le manganèse viendrait des canalisations et non de l'eau crue traitée pour l'AEP.

- **Construire des Stations d'Epuration par boues activées**

Les stations d'épuration des eaux usées domestiques sont au nombre de quatre dans l'oasis qui nous concerne : deux petites à Lavalle (Villa Tulumaya et Costa del Araújo), et deux grandes, Paramillo, à Lavalle, et Campo Espejo, à Las Heras (cf. *supra*). Les eaux dites cloacales sont ainsi pré-traitées afin de les libérer des particules les plus grosses, via des grilles ou un filtrage dans des sables, puis elles reposent dans des bassins de lagunage. Dans ces bassins, l'eau est traitée soit par des bactéries anaérobies qui dégradent les matières organiques, soit par ajout d'oxygène dissous favorisant le développement d'algues épuratrices du milieu. Seulement ce traitement « pseudo » naturel n'est pas suffisant pour traiter les effluents d'une agglomération approchant le million d'habitants. En France par exemple, on ne tolère le traitement par lagunage que pour les communes de moins de 10 000 habitants.

Selon Mario LURASCHI, Directeur de la police de l'eau du DGI, grâce à la forte exposition au soleil de Mendoza, les stations d'épuration fonctionnent très bien. Cette affirmation rassurante a été reprise par certaines des personnes que nous avons rencontrées. Or, les prélèvements effectués au point CII, sur le canal Jocoli, en aval des rejets de la station de Campo Espejo, et au point RIII, en aval des rejets de la station Paramillo révèlent des teneurs en phosphates et en bactériologie notamment, bien supérieures aux normes acceptées par le DGI (cf. *infra*). Si les nitrates paraissent vite réutilisés par le milieu, ce n'est pas le cas des phosphates dont la pollution est à la fois diffuse (on en retrouve dans toute l'oasis) et concentrée dans certaines zones, notamment en aval des rejets des stations d'épuration par lagunage. De même, le lagunage n'est en rien efficace sur le bore par exemple.

Pour une agglomération aussi importante que le *Gran Mendoza*, il est nécessaire de construire des stations à procédés biologiques à cultures libres, appelés plus communément « boues activées ». Les bactéries des bassins se nourrissent des matières polluantes des eaux usées et les assimilent grâce à l'oxygène de l'air. Les bactéries sont sélectionnées selon leur aptitude à éliminer le phosphore, l'azote ou le carbone. La séparation postérieure entre les eaux traitées et la masse des bactéries (boues) est effectuée dans un ouvrage spécifique appelé

« clarificateur ». Une grande partie des boues est renvoyée dans le bassin de manière à garder un stock suffisant de bactéries dans celui-ci. Le surplus des boues est dirigé ensuite vers des unités de traitement de ces éléments solides.

- **Traiter chimiquement les effluents industriels**

Les industries sont autorisées à verser leurs effluents dans le réseau d'irrigation, à la condition que ceux-ci ne dépassent pas les normes provinciales. Le **Tab. 16** présente les normes maximales autorisées pour chaque paramètre par les industries. Alors, de fait, non seulement ces normes sont élevées, mais elles sont rarement respectées. La police de l'eau ne joue pas vraiment son rôle puisque rares sont les amendes distribuées.

Paramètre	Norme maximale
Conductivité électrique	2250 µS/cm à 25°C
Chlorure	17 meq/l
Sodium	17,2 meq/l
Sulfates	12,5 meq/l
Zinc	2 mg/l
Arsenic	0,1 mg/l
Bore	0,5 mg/l
Cuivre	0,5 mg/l
Cadmium	0,01 mg/l
Cyanure	0,1 mg/l

Tab. 16 : Normes maximales autorisées pour le rejet des eaux industrielles dans le réseau superficiel
Source : Resol. 778/96 HTA du DGI

Il existe trois manières de limiter la pollution par les effluents industriels. La première consiste en une **épuration par les végétaux** dans des lagunes, mais dans le désert mendocino très rares sont les marais (dans la zone d'exsurgence de la nappe phréatique uniquement) et les lagunes. Une deuxième solution serait un **traitement chimique ou biologique** ; la dernière est la **dilution** avec une eau exempte ou presque de polluants.

- Le Pescara :

Le système de dilution, bien moins coûteux à court terme, a été privilégié dans le cas du Pescara (cf. IIème partie pour les résultats). Toutes les industries doivent disposer d'une propre station de traitement des polluants, leur permettant d'abaisser la contamination jusqu'aux normes précédemment citées. A partir du moment où la concentration en chaque paramètre passe sous la norme légale, l'eau peut être rejetée, ce qui ne suffit évidemment pas. Un tuyau enterré collecte toutes les eaux des industries et les transporte vers une salle de mélange où, quand l'eau reçue dépasse les normes légales, elle est diluée avec de l'eau puisée dans les aquifères.

Nous avons déjà vu que dans l'ensemble, la salinité s'est un peu régulée mais n'a pas véritablement baissé, et que les métaux lourds sont présents, ainsi que les micro-organismes. Il nous apparaît que le Système de dilution du Pescara, au lieu d'être « l'œuvre » de Mendoza, constitue un gaspillage important d'eau fossile et d'argent et qu'il ne garantit, en aucun cas, une qualité irréprochable de l'eau.

Il est souvent dit à Mendoza que le manque d'argent dans ce pays en sortie de crise économique interdit la construction de véritables usines de traitement chimique des pollutions. Il est vrai que le *Gran Mendoza*, qui éprouve des difficultés à gérer son problème d'eaux usées domestiques, peut difficilement financer des usines de traitement des eaux industrielles, d'autant plus que cela implique également la construction de nombreuses galeries souterraines pour relier les usines des différents complexes à la station de traitement. Néanmoins, d'autres solutions moins coûteuses sont en train d'être développées.

- Traitement des effluents des fabriques d'huile d'olive par l'humus de lombrics :

Nous avons été interpellée par le travail d'Emilio REALTE, gérant d'une industrie de fabrication d'huile d'olive. Cet Ingénieur agronome travaille dans le cadre de son mémoire de Master à la production d'humus de lombrics à partir des surproduits et des effluents de l'industrie de l'huile d'olive.

Le pressage des olives produit 50 % d'eau (*alpechín*), 15 % d'huile, 35 % de matières solides (*olujo*). Ainsi, pour 100 kg d'olives, on obtient 15 % d'huile directe, 3 % d'huile par utilisation de solvants des *orujos*, 32 % d'*orujo* (35% -3 %), et 50 % d'eau, auxquels on rajoute 10 l d'eau. Au total, 92 kg d'effluents sont produits. Deux solutions existent : soit on brûle l'*orujo* pour en faire du combustible, soit on mélange cet *orujo* avec du guano (de cheval, de vache, d'oiseaux), pour alimenter un élevage de lombrics. Avec l'eau de l'*alpechín*, on peut alors irriguer l'élevage et produire de l'humus de lombrics. Cet humus, chargé en nutriments NPK, peut servir d'engrais organique pour les oliviers, et l'eau, ainsi épurée par les lombrics, peut également servir à irriguer ces mêmes oliviers. Au final, c'est un cycle fermé qui permet de traiter les effluents industriels à faibles coûts et avec un rendement important sans dépenser plus ni pour l'irrigation, ni pour la fertilisation (REARTE *et al*., 2006 et 2007).

Il faut par ailleurs noter que ce système d'épuration des eaux par l'humus de lombric est actuellement en cours d'adaptation en France. Ce processus, venu du Chili, paraît propice à l'épuration des eaux domestiques d'une agglomération de taille moyenne, d'après Patricio SOTO, Ingénieur INRA de Montpellier et gérant de la société Lombriteck-eco-innovation (communication personnelle). Il est malheureusement difficilement applicable à Mendoza, en raison de la taille de l'agglomération.

- Traitement des eaux des entreprises de transport :

Sous l'impulsion des municipalités, les entreprises doivent peu à peu investir dans un système de traitement des eaux de lavage des camions et bus afin que cette eau polluée ne contamine pas l'eau d'usage agricole.

Felipe ANDREU, propriétaire de la société de transport du même nom, nous a expliqué avoir fait installer un petit système primaire de traitement de ses effluents. Les eaux ainsi sommairement traitées, au lieu d'être renvoyées vers le réseau de canaux, sont transportées vers le réseau collectif d'assainissement domestique de Maipú (dont l'exutoire est la station d'épuration de Paramillo).

Les entreprises de transport travaillent avec les *bodegas* et les conserveries, ce qui peut peut-être expliquer la prise de conscience de propriétaires. Par exemple, dans un article du journal *Los Andes* du 14 octobre 2007, Eduardo CORNEJO, gérant de l'entreprise Expreso Luján s'est exprimé ainsi : « *Il y a un problème réel et c'est toujours l'environnement qui est pris en compte en dernier dans le secteur des entreprises et de l'industrie. Nous ne sommes pas une entreprise qui utilise l'eau dans notre processus. Nous utilisons l'eau uniquement pour l'entretien, mais la pollution générée est très importante, voilà pourquoi nous travaillons sur ce projet* ». Le projet en question concerne d'abord l'imperméabilisation totale de la plate-forme de nettoyage de manière à ce que les eaux chargées d'huile, d'essence ou de

détergents ne s'infiltrent pas dans les sols. De plus, l'entreprise a ouvert fin 2007 une petite station d'épuration visant à traiter tous ces effluents.

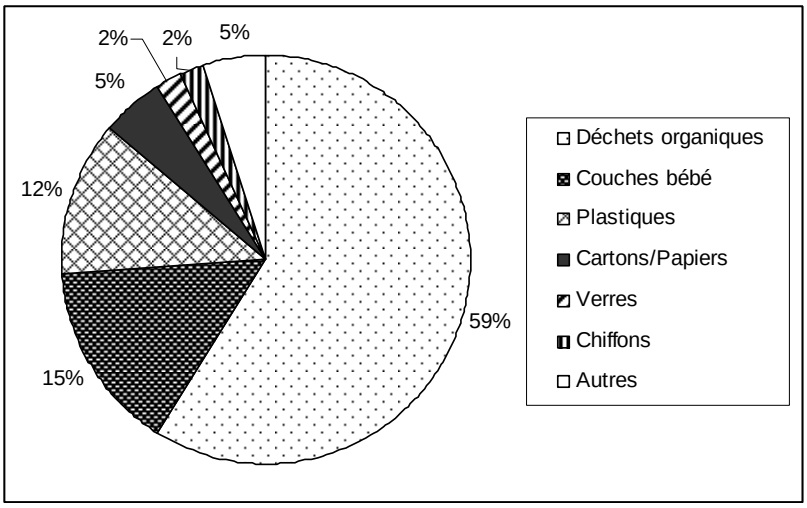
10-1-3- Vers une meilleure gestion du devenir des macro-déchets ?

En 1995, on estimait que le *Gran Mendoza* produisait 546 000 m^3 de déchets par an. En 2000, ce chiffre atteignait 2 791 000 m^3 annuels et on l'estimait à 25 000 000 m^3 en 2025 (LAYMOND, 2000). En 2006, les journaux affirmaient que le poids de ces déchets atteignait 252 000 t. annuelles (ARCE, 2006). Il est évident que si l'augmentation de la population dans l'oasis explique en grande partie les variations de ces chiffres, la démographie n'est pas seule en cause. En effet, les sociétés de consommation comme l'Argentine ont vu se multiplier les nouvelles formes d'emballage, et surtout les produits jetables. Les bouteilles plastiques ont remplacé le verre, les boissons gazeuses prennent de plus en plus la place de l'eau, et les produits d'épicerie sont fréquemment protégés par des plastiques pour être consommables plus longtemps et pour des questions d'hygiène.

De plus, il est reconnu que **sous climat sec, les processus naturels de biodégradation sont beaucoup plus lents que sous climat humide**.

Enfin, le niveau de vie compte puisque par exemple, Capital produisait en 1995 1,3 kg de déchets par an et par habitant, contre 0,45 kg à Las Heras, département le plus pauvre du *Gran Mendoza* (LAYMOND, 2000). D'ailleurs les chiffonniers préfèrent travailler dans le centre-ville (quand cela leur est autorisé) car les déchets sont plus nombreux et moins détériorés.

Sur le **Graph. 26**, on observe que plus de 40 % des déchets ne sont pas organiques, donc peu dégradables. Les couches pour enfants posent beaucoup de problèmes puisque composées en majorité de plastiques fins, elles ne sont pas recyclables. Les plastiques représentent un tiers des déchets non-organiques et par leur coté transportable (en particulier les bouteilles), sont le type de déchets que l'on retrouve le plus dans les canaux (90 %). Enfin les bouteilles en verre ont été en partie remplacées par le plastique, et comme dans les restaurants où elles subsistent encore elles sont consignées, on les retrouve peu dans les déchets, puisque l'ensemble des déchets en verre atteint 2 %.



Graph. 26 : Composition des déchets à Maipú en 2000
Source : Municipalité de Maipú, (*in* Laymond, 2000)

Ainsi, moins produire, moins consommer et donc moins jeter paraît être la solution miracle. Avant d'en arriver à ce point difficile à atteindre, d'autres solutions existent pour limiter la pollution, à commencer par une meilleure gestion du ramassage et du devenir des macro-déchets.

- **La collecte des déchets**

- Le ramassage officiel. Le ramassage des déchets est officiellement à la charge des municipalités. A l'exception de Las Heras, où une entreprise privée a obtenu une concession de la municipalité, les autres départements assurent eux-mêmes la collecte[70]. Cependant, le service est extrêmement hétérogène, tant en qualité qu'en fréquence, en fonction de la zone d'habitat. En effet, selon nos propres observations, le ramassage a lieu tous les jours à l'exception du samedi à Capital et Godoy Cruz, et trois fois par semaine à Guaymallén. De même, certains ramassages ont lieu de nuit, d'autres de jour. Dans les secteurs ruraux, étant donné le prix du transport, les fréquences sont relativement faibles (hebdomadaires souvent), de nombreux résidus échappent donc à tout contrôle (LAYMOND, 2000). La collecte s'effectue soit par camions-compacteurs, soit par camions-bennes à ciel ouvert dont s'échappent quelques déchets, en général les plus légers, portés par le vent.

Le problème à Mendoza est moins dû aux fréquences de collecte qu'aux possibilités de stockage des habitants. En effet, les bacs à ordures en plastique tels que nous les connaissons en France n'existent pas. Les Mendocinos ont pour habitude d'installer des petits bacs en métal, en réalité des sortes de casiers, au travers desquels les détritus peuvent passer, et tomber dans les *acequias* situées juste en dessous **(Planche photos 15)**.

Un chat ou un chien un peu grand n'aura aucune difficulté à éventrer un sac pour le vider de son contenu. De plus, ces casiers non fermés contribuent à la prolifération des odeurs, des mouches… – en particulier en été – et donc des maladies. En outre, ces panières n'étant pas déplaçables, les populations ne peuvent pas les rentrer chez elles pour y stocker les poubelles les jours où il n'y a pas de ramassage. Deux solutions s'offrent alors aux ménages : garder les poubelles chez eux, malgré les odeurs et les risques de développement des cafards… ou déposer leurs ordures dans les bacs des trottoirs et ce jusqu'à ce qu'un service de la municipalité les ramasse. Or, dans ce cas, les chiffonniers et les chiens les ouvrent, et les détritus partent dans les *acequias* (cf. *supra*).

Il ne paraît pas y avoir de solution dans l'état actuel des choses. On peut noter cependant un effort des municipalités qui, pour éviter la prolifération des macro-déchets dans les rues, recommandent ou interdisent selon les cas de « *sortir ses poubelles* » plus d'une demi-heure avant l'heure de passage officiel des camion-bennes. Citons l'exemple du département de Godoy Cruz qui a distribué fin 2005 à tous ses concitoyens un prospectus d'information. Il y est stipulé qu'il ne faut pas sortir ses poubelles le samedi et qu'il convient de les disposer dans les casiers à partir de 21h dans la zone centrale et 18h dans les quartiers est et ouest. Il y est également rappelé que l'amende pour dépôt d'ordure sur la voie publique s'élève à 35 $AR par m^3 (soit 10 €) ; certaines règles de civisme y sont également explicitées, tout comme le coût du ramassage des déchets… Cette action n'est pas isolée. A Guaymallén par exemple, il est écrit sur tous les camions de ramassage de la municipalité qu'il ne faut pas sortir les poubelles avant 21h.

[70] : Godoy Cruz a signé, fin 2008, un contrat avec la société Ambiental Cuyo, qui doit prendre en charge collecte et traitement dans le courant de l'année 2009. Pour ce faire, un nouveau centre dit plus respectueux de l'environnement doit être construit sur le piémont de la municipalité. La collecte des ordures à Godoy Cruz a donc été privatisée à partir de 2008 tandis que le traitement ne changera que dans le courant de 2009 (cf. *infra*) (GUERRERO, 2008).

Mais cela ne suffit pas. D'abord parce que les services municipaux ne passent pas dans les quartiers dits informels (*villas miserias*), alors que le centre de traitement des déchets de la commune Godoy Cruz jouxte le bidonville de Campo Pappa. Ensuite, parce que la seule vraie solution réside dans des **bacs plastiques fermés, seuls capables de freiner le développement des insectes vecteurs de maladies**, mais aussi parce qu'ils rendent les odeurs supportables et empêchent les ordures de tomber par terre ou dans les *acequias*.

Nous prenons le parti d'affirmer que les municipalités, en faisant le choix d'une amélioration des fréquences d'une part, et de l'esprit civique de ses habitants d'autre part, ne contribuent pas forcément à une meilleure gestion des ordures. Au contraire, avec des bacs adaptés (plus grands notamment), moins chers à long terme que le ramassage des déchets domestiques (coût des camions[71], du personnel), on peut réduire les fréquences de ramassage sans augmenter le risque sanitaire. Il ne paraît pas superflu de noter qu'un à deux passages hebdomadaires des services municipaux dans les districts du centre est insuffisant.

- Le ramassage non-officiel est également très important. Les chiffonniers prélèvent les déchets ménagers dans les casiers des habitants, les trient et les revendent soit à des particuliers, soit à des centres de recyclage. Les matières organiques sont utilisées pour nourrir les animaux, que ce soit de petits élevages de porcs ou de volailles ou pour alimenter les chevaux qui tirent les carrioles. Les autres résidus sont triés et stockés, contre la maison familiale ou dans un terrain vague à proximité. Le travail de chiffonniers est officiellement illégal mais il est toléré, sauf dans le centre dense de Capital où les autorités ne veulent pas montrer la misère au visiteur. La pratique est donc admise puisque, d'une part, elle allège grandement les municipalités du ramassage des ordures domestiques, et que d'autre part, elle revêt une connotation sociale conséquente puisqu'elle « *fournit le seul moyen de subsistance à plusieurs centaines de personnes* » (LAYMOND, 2000).

En soi, cette collecte des ordures ménagères et leur tri devraient être une aubaine pour les pouvoirs publics. Cependant les conditions de travail sont pénibles et, surtout, le stockage illégal des déchets posent de graves problèmes environnementaux et sanitaires. D'autant plus que bien souvent, ces décharges illégales, même si elles sont temporaires, sont situées dans les lits des oueds, qui peuvent emporter les ordures lorsqu'ils sont en crue. Les chiffonniers, très pauvres, résident le plus souvent dans les *villas miserias* ou dans des maisons sommaires du piémont. Ils ramassent les déchets dans les bacs situés sur les trottoirs au dessus des *acequias*, mais aussi directement auprès de certaines industries et des commerces. Ils les entassent sur une carriole, plus ou moins grande selon qu'elle est tirée à la main ou par des chevaux. Ces populations indigentes sont souvent des Boliviens ou autres Sud-Américains venus en Argentine travailler comme employés agricoles saisonniers et restés sur place, mais aussi des lointains descendants de la communauté *huarpe*.

Il devient donc urgent d'organiser et de contrôler ces activités. Ces populations font partie intégrante du paysage social argentin mais sont d'avantage soumises que les autres aux risques sanitaires. A Las Heras par exemple, 250 chiffonniers ont tenté de s'organiser pour améliorer leurs conditions de travail, espérant limiter ainsi leurs problèmes de santé en évitant la dispersion et le dépôt spontané des ordures (*ibid.*). Il ne s'agit donc pas de diminuer le nombre de chiffonniers. On peut même les aider, en contrôlant les conditions sanitaires de travail et le stockage des déchets récoltés.

[71] : Nous avons observé que certains camion-bennes disposaient déjà d'un système de levage des bacs utilisés en France par exemple.

a, b, c et d : Dépôt des ordures ménagères en vue de la collecte municipale
a et b : Bacs métalliques au dessus des acequias, d'où les ordures peuvent tomber,
c : L'autre option, c'est d'accrocher les sacs aux arbres, assez hauts pour que les chiens errants de les atteignent pas,
d : Enfin, la solution la plus facile est encore de laisser les sacs à terre, où il peuvent être ouverts par les chiens.

e et f : Le nettoyage public
e : Agent municipal de nettoyage des rues,
f : Une fois balayées, les ordures des rues sont laissées au bord des acequias, où elles peuvent tomber.

g : Le tri par un *cartonero* dans un bac à ordure collectif
Les déchets urbains qu'il fait tomber à terre terminent leur course dans l'acequia.

h : Chiens errants en centre-ville
Ces chiens éventrent les sacs poubelles et laissent les ordures sur le sol.

Clichés : E. Lavie, 2006 et 2007

i et j : Exemples d'*acequías* bouchées par les ordures
i : Matière organique (photo prise en automne),
j : Matière non biodégradable (plastiques surtout).

Planche photos 15 : le problème des déchets urbains

Enfin, une autre solution est à envisager, en théorie facilement réalisable, mais qui ne trouve pas d'écho dans une société où le chien est roi : **l'éradication des chiens errants**. Certains se nourrissent dans les décharges sauvages, déplaçant les déchets, d'autres se servent dans les bacs situés sur les trottoirs, éventrent les sacs et étalent les ordures dans les rues. Cela paraît caricatural, cependant lors de nos enquêtes auprès des riverains des collecteurs de crues, il s'est avéré que la plupart considéraient les chiens comme les seuls responsables de la dispersion des ordures domestiques dans les rues de la ville, avec les indigents.

- **Le traitement des ordures domestiques**

Au début des années 2000, a été instauré le Plan Provincial sur les Résidus Urbains. Il prévoyait que d'ici la fin 2006, 80 à 85 % des ordures ménagères seraient enterrées, alors que les 15 à 20 % restants se destineraient au recyclage et compostage. Ce plan avait donc comme finalité première de ne plus avoir de décharges sauvages ou de centres de stockages à ciel ouvert. Mais, dans les faits, les lieux de stockages illégaux et les centres municipaux à ciel ouvert ont subsisté. A Mendoza, les déchets ménagers et ceux ramassés sur la voirie par les services municipaux peuvent « terminer leur vie » dans des lieux différents selon qui les collecte et selon les municipalités : lieu de stockage interdit (canaux, décharges illégales…) ; lieu de stockage officiel à ciel ouvert ; enterrement ; centre de traitement avec tri partiel ; ou traitement complet. Nous allons donc faire un état des lieux des différents devenirs des ordures ménagères, du plus problématique pour l'environnement, à celui vers lequel pourrait tendre l'ensemble des municipalités.

- <u>Les décharges illégales</u>

Selon le journal *El Uno* (ARCE, 2006), 30 % des 252 000 t annuelles de déchets domestiques produits chaque année se retrouvent dans des lieux illégaux. La forte proportion de vides intra-urbains dans le *Gran Mendoza*, en particulier dans les départements périphériques (Godoy Cruz, Las Heras, Guaymallén ou Maipú), favorise le développement des décharges illégales. Ci et là, les Mendocinos déposent pneumatiques, chiens à moitié calcinés et ordures les plus courantes. Or, si certaines décharges sont situées en périphérie de la ville, sur le piémont ou le long des autoroutes, d'autres prolifèrent depuis longtemps au cœur de l'agglomération. Par exemple, le site où nous prélevons le point DVIII sur le collecteur Pescara est un immense terrain-vague jonché de déchets, traversé par un chemin de terre menant d'un quartier résidentiel précaire à l'école du district. Les enfants traversent donc quatre fois par jour cette décharge et le collecteur, non protégé, qui transporte également les ordures de cette décharge illégale à ciel ouvert. Le problème est sociétal puisque chaque fois qu'une décharge est nettoyée de ses ordures, six mois plus tard elle est à nouveau remplie.

Lors de nos enquêtes auprès des riverains des collecteurs de crue (avec l'UNC), une question portait sur la connaissance d'une décharge sauvage à proximité. Les habitants interrogés (au sud de Capital et nord de Godoy Cruz) nous ont tous signalé une ancienne décharge sur la rue Francisco de Asis, nettoyée depuis par la mairie de Godoy Cruz. Pour certains d'entre eux, les efforts de la municipalité sont notables. Pour d'autres, le collecteur lui-même est une décharge sauvage. Enfin, pour une petite minorité, les a*cequias* sont considérées comme des décharges. L'Européen qui se promène dans ce quartier verra des décharges sauvages partout. Un habitant de Godoy Cruz nous a expliqué qu'un de ses voisins travaillait à la municipalité. Lorsque des ordures étaient laissées devant chez lui, il les faisait enlever par les services municipaux. Le voisinage trouve donc plus pratique de déposer ses ordures devant la maison de l'employé municipal (en pleine nuit pour rester anonyme) que de les transporter dans un lieu approprié. Ces sites de dépôt informel des ordures font ainsi peu à

peu partie intégrante du patrimoine paysager de Mendoza, à tel point que certains ne les voient plus. Ou, peut-être cela les arrange-t-il de les avoir à proximité… ?

- Le stockage à ciel ouvert ou l'enterrement

A Godoy Cruz et Guaymallén, les municipalités ont leur propre centre de « traitement » des ordures ménagères : à Campo Pappa[72], par exemple, localisé dans le lit de l'oued Maure pour Godoy Cruz, et à Puente de Hierro pour Guaymallén **(Fig. 69)**. Ces centres accueillent de manière informelle quelques chiffonniers. Le tri des déchets et leur réutilisation ou recyclage est par conséquent limité.

Pour chacun de ces sites, une *villa miseria* s'est développée. Au total quatre cents familles vivent du ramassage, du tri et de la revente des matériaux. Sur la **Fig. 68** le développement de la *villa* de Campo Pappa entre les différentes excavations apparaît de manière relativement nette. A Godoy Cruz, les déchets sont enterrés alors qu'à Guaymallén ils sont stockés à ciel ouvert. A Godoy Cruz, des trous sont creusés dans les glacis du piémont et les déchets y sont entreposés directement, recouverts de temps en temps de couches de terre, à la manière d'un millefeuille. Cette situation est pratique puisque subsistent là d'anciennes carrières, et que l'encaissement de l'oued permet de moins creuser. Ainsi les déchets sont-ils moins visibles et le dépôt moins coûteux. Les conséquences environnementales de ces pratiques sont importantes. En effet, les déchets enfouis dans les oueds peuvent être déterrés, repris et transportés par celui-ci en cas de crue. Quant au stockage à ciel ouvert, il n'est pas protégé contre le vent qui soulève les détritus les plus légers (papiers, plastiques) et les transporte au loin. De surcroît, aucune imperméabilisation du site n'a été prévue, si bien que l'eau qui s'infiltre peut alors polluer non seulement les eaux superficielles des oueds qui s'écoulent dans le Cacique Guaymallén ou le río Mendoza, mais aussi la nappe phréatique.

- Le Système métropolitain de gestion des résidus

Les municipalités de Las Heras, Capital, Lavalle et en partie (20 %) celles de Guaymallén et de Godoy Cruz, se sont réunies pour traiter leurs déchets. Sur le site d'El Borbollón, à Las Heras, une cinquantaine de chiffonniers travaille en accord avec les autorités pour trier les résidus urbains. Associés en coopérative depuis 1995, ils ont tout de même des conditions de travail très dures. Organisés en équipes tournantes, ils se partagent la recette des ventes des matériaux. Le système n'est pas parfait : des problèmes sociaux et des actes de violence se sont répétés jusqu'à la destruction du matériel et d'un bâtiment. Aujourd'hui le tri se fait donc à la main et en plein air. Selon Gabriela VICENCIO de la municipalité de Las Heras (LAYMOND, 2000), même en l'absence de statistique sur la santé, il s'avère qu'« *il y a bien des cas de maladies graves* ».

Plus organisées donc que Godoy Cruz, Luján et Guaymallén, ces municipalités n'ont pour autant pas trouvé d'autres solutions que l'enterrement des résidus non revendables. Aucun dispositif de protection des eaux et des sols n'a été prévu, mais selon les gestionnaires « *il n'y a pas de risque pour la nappe phréatique puisqu'elle est à 30 m de profondeur à cet endroit* » (*sic* !) (communication personnelle de F. PEREZ, superviseur du centre d'El Borbollón). 13 000 t. de déchets seraient ainsi amenés à la décharge d'El Borbollón chaque mois (SALOMON et PRAT, 2004).

[72] : Le contrat signé entre la municipalité de Godoy Cruz et la société Ambiental Cuyo implique un changement dans le traitement des ordures. Une nouvelle usine en construction ouvrira courant 2009. Elle sera construite selon un principe équivalent au système de Maipú (cf. *infra*) (GUERRERO, 2008).

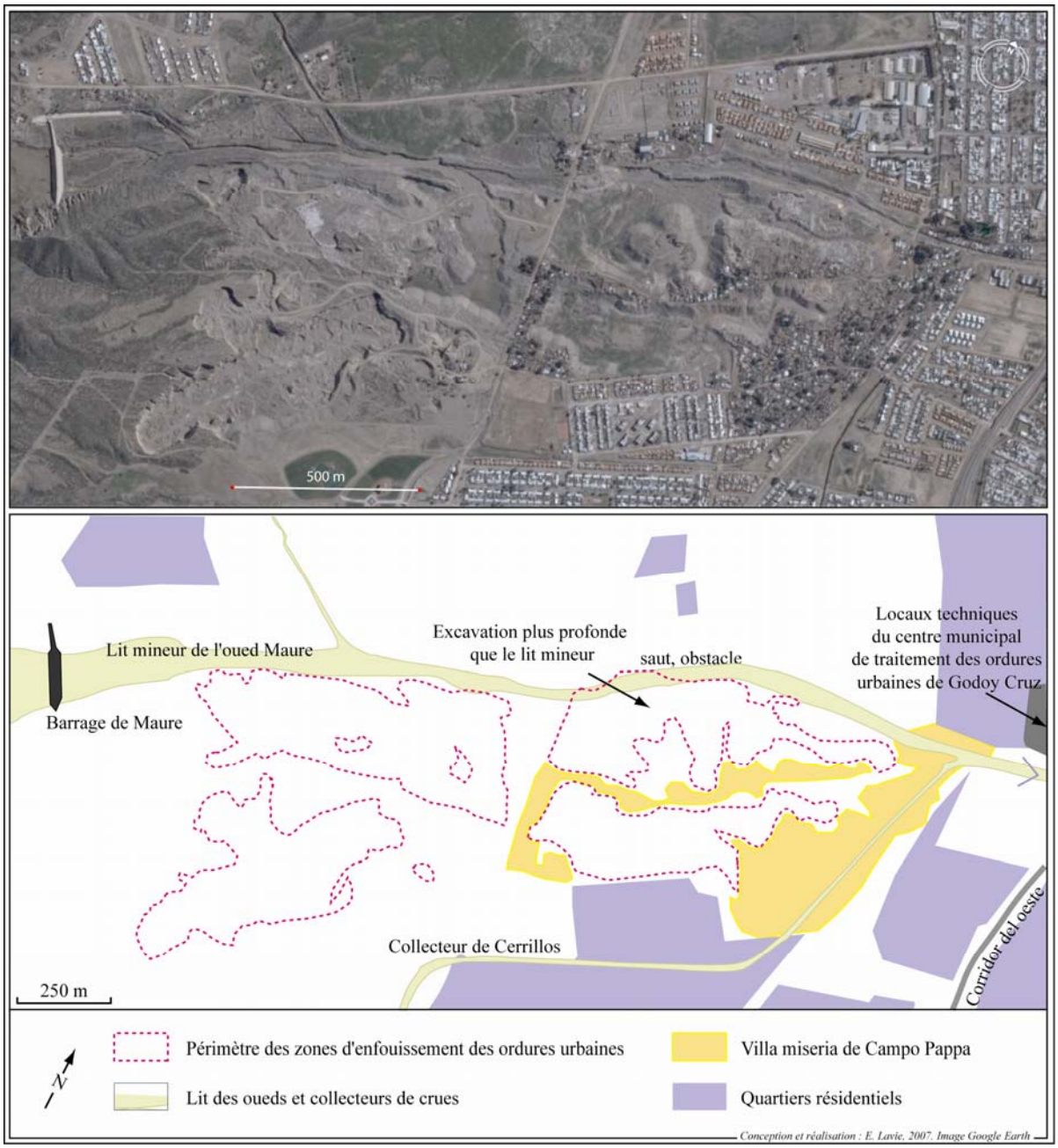


Fig. 68 : Villa miseria au centre de « traitement » des déchets de Godoy Cruz
Source : image satellitale Google Earth

- <u>Un centre organisé : Barrancas</u>

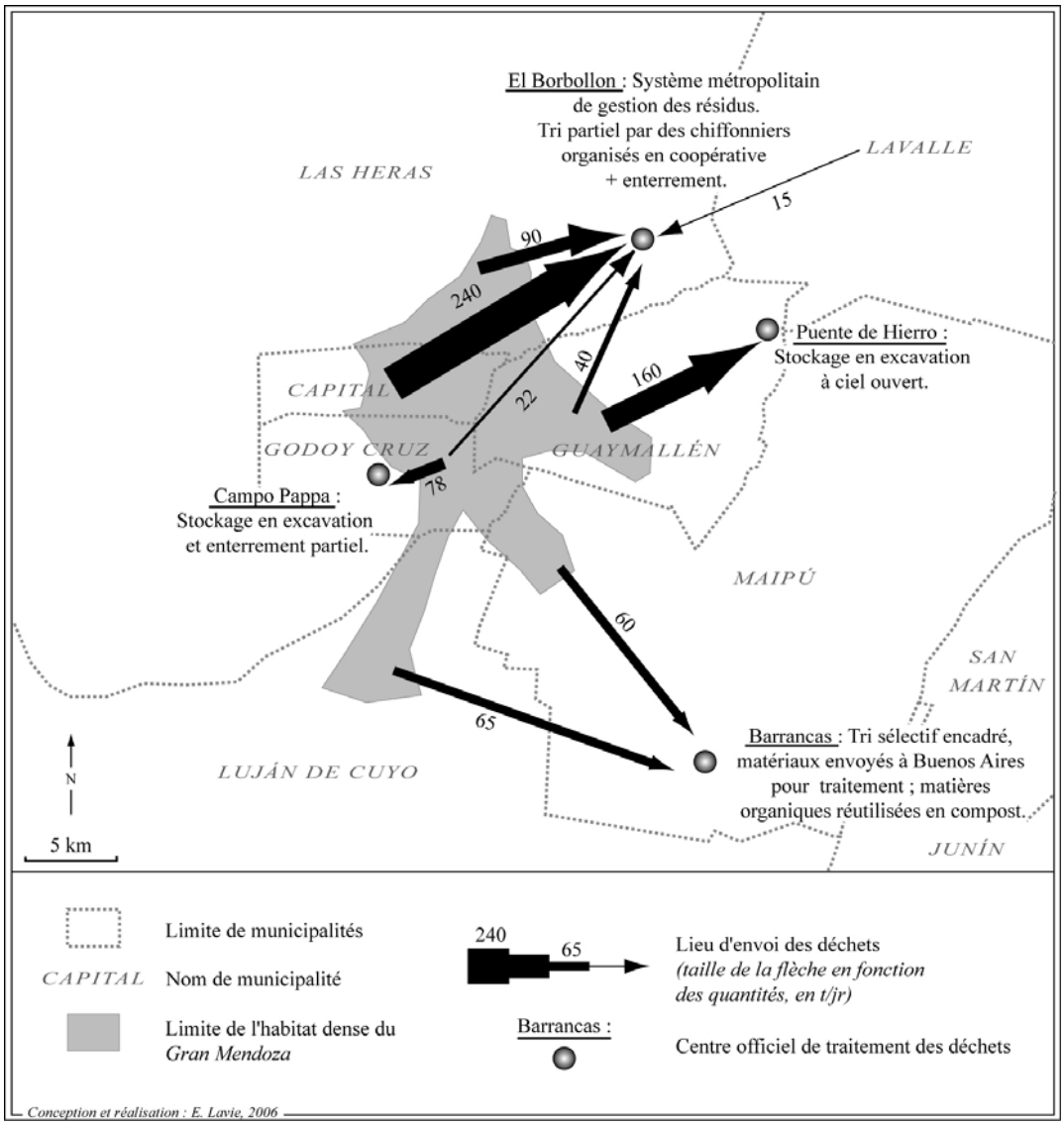
Dans la Municipalité de Maipú, au sud-est de l'agglomération, l'entreprise ClearSRL a obtenu une concession. Les pouvoirs publics ont mis à sa disposition un terrain et des installations afin de traiter les résidus de la commune. Dans le cadre du Plan Provincial sur les Résidus Urbains, les déchets de la municipalité de Luján, autrefois stockés à ciel ouvert dans un oued à Cacheuta, ont été transférés au centre de Maipú qui n'atteignait pas le maximum de ses capacités, en août 2005. Chaque jour dix personnes, de part et d'autre d'un tapis roulant, ouvrent les sacs plastiques et les trient. Comme le font les chiffonniers, ils trient papiers, cartons, verres, plastiques et emballages métalliques. Compactés en cubes, ces matériaux sont envoyés à Buenos Aires. En fin de chaîne ne restent que des matières organiques réutilisées pour faire du compost. Cependant, il demeure dans ces déchets organiques de petits résidus

comme des bouts de ficelle, des bouchons, des mégots, des briquets… Ces petits objets seront malheureusement introduits dans les sols avec les fertilisants.

Néanmoins, l'exemple de Maipú est à valoriser et développer. Parce que le tri sélectif est assez avancé et que la majorité des déchets est réutilisée et non enfouie, mais aussi parce que les employés y travaillent sous contrôle et dans des conditions bien meilleures que celles des chiffonniers des décharges de l'agglomération.

Ainsi à Mendoza, le devenir des déchets est très divers **(Fig. 69)**. Le Plan Provincial sur les Résidus Urbains qui vise à supprimer le stockage à ciel ouvert est une bonne orientation. Il va limiter en partie le transport des déchets légers par le vent, mais également freiner le développement des maladies. Cependant, la problématique sociale reste entière : les quatre cents familles de *cirujeos* (chiffonniers) qui vivent du tri et de la revente des matériaux des décharges ont encore quelques années de « sursis » puisque ces centres ont été largement approvisionnés. Seulement à terme, il faudra trouver une solution pour ces familles sous crainte d'une explosion de cas de délinquance. Les municipalités souhaitent employer les chiffonniers comme travailleurs légaux dans les centres de traitement d'El Borbollón et de Maipú, mais les modifications des habitudes de ces catégories en marge de la société depuis plus de 25 ans ne se feront pas sans heurts.

Fig. 69 : le devenir des déchets ménagers dans l'oasis du río Mendoza



10-2- Mais avant tout, une prise de conscience est nécessaire

Nous avons vu que le lien culturel qui unissait le Mendocino à l'eau depuis des siècles s'était estompé dans les 30 à 40 dernières années. Nous avons également proposé comme hypothèse que cet effacement progressif de la « culture de l'eau » avait abouti à deux conséquences : **l'augmentation des prélèvements** (et donc la baisse des quantités disponibles à long terme avec le recul des glaciers) **et les baisses de qualité de la ressource en eau**. Face à cela, la question aujourd'hui n'est pas seulement de trouver des solutions curatives techniques ou coûteuses. Certes, ces dernières sont indispensables pour régler des problèmes de pollution à grande échelle comme les effluents domestiques et industriels. Néanmoins une grande partie de la pollution pourrait être, sinon supprimée, du moins régulée, par une prise de conscience collective. La prise de conscience passe avant tout par un **vrai positionnement responsable des institutions provinciales face à l'environnement**, car c'est à elles que revient le rôle de prendre des mesures concrètes. Le deuxième acteur qui doit s'impliquer est le **citoyen**. La volonté de la population de faire réagir les politiques en ce qui concerne l'environnement fonctionne dans de nombreux pays. Cependant, nous restons persuadée que dans l'ensemble, la population n'a pas réellement conscience du problème de l'affaiblissement de la ressource en eau, tant sur le plan quantitatif que qualitatif. Le premier constat que nous avons pu faire lors de nos séjours-terrains à Mendoza est que la population, dans l'ensemble, n'a pas vraiment accès à cette information et qu'elle n'a pas non plus la volonté de s'y intéresser.

10-2-1- Des solutions préventives peu nombreuses

Dans tout effort consenti pour améliorer la qualité de la ressource, deux étapes sont essentielles : **limiter la contamination en amont** (prévention) et **traiter la pollution en aval** (solution curative).

Les solutions préventives touchent tous les usagers de la ressource : ménages, industries et agriculture. Malheureusement elles sont peu nombreuses. En fait, il faudrait tout simplement ne pas polluer.

En ce qui concerne les ménages, les germes organiques ne peuvent pas être limités. Les solutions seront donc avant tout curatives. En revanche, il est possible de baisser les consommations de lessives et détergents ou d'utiliser des lessives sans phosphates ; par exemple, les jardins peuvent se passer de certains engrais, les voitures peuvent être lavées à l'eau sans produit, d'autant plus que la plupart du temps, elles sont simplement couvertes des pollens des platanes de la ville…

Par ailleurs, une loi oblige les supermarchés à distribuer des sacs en plastique biodégradables, ce qui n'est jamais le cas en pratique. Il est spécifié que chaque sac peut contenir en moyenne sept produits ; or, la plupart du temps, nous repartons du supermarché avec presque autant de sacs que de produits, les caissières ne les remplissant qu'au tiers de leur capacité.

L'agriculture, par les entrées de produits phytosanitaires et d'engrais NPK, joue aussi un rôle dans la pollution des eaux ; il faudrait alors repenser les **besoins réels** des plantes afin d'éviter le surdosage. En effet, les surplus ne sont jamais absorbés par la plante qui a des capacités limitées, et s'infiltrent systématiquement dans les sols. De même, il existe des solutions complémentaires limitant les utilisations de pesticides ou du moins des produits de type « biologiques ». Par ailleurs, comme vu dans le Chapitre 8, les puits défectueux et non

utilisés contribuent à la salinisation des aquifères ; il est donc relativement facile de protéger les nappes en bouchant les puits non utilisés et en réparant ceux qui sont cassés.

Enfin, l'industrie, assez diverse à Mendoza, doit repenser ses besoins en eau. Il est possible aujourd'hui de rejeter moins d'effluents, de remplacer des produits toxiques par d'autres plus respectueux de l'environnement, voire de recycler les eaux usées….

10-2-2- Quels accès à l'information ?

D'évidence, l'environnement à Mendoza, comme en Argentine en général, n'est pas une question centrale. Le problème est de savoir si le manque d'information dont fait preuve la population vient d'un manque d'intérêt ou d'un manque d'accès à ces informations. Il nous apparaît tout d'abord important de préciser que dans le contexte des vingt dernières années, les questions environnementales ne pouvaient qu'être reléguées à un rang mineur. En effet, déjà fragilisée par des dictatures récentes et une démocratie balbutiante, l'Argentine a connu sous les différents mandats présidentiels de Carlos MENEM (1989-1999), une ultra-libéralisation de son économie et un effondrement de sa classe moyenne. La scission entre des riches devenus très riches et des classes moyennes devenues pauvres s'est accentuée dans ces conditions, et les très pauvres et les indigents se sont multipliés. Le contexte socio-économique a favorisé non seulement une crise économique mais aussi une insécurité croissante. Celle-ci est devenue une préoccupation première pour les Argentins. Lors de nos enquêtes, il était quelquefois impossible d'aborder la gestion des déchets, des pollutions, ou du développement durable au sens large, sans que la conversation ne s'oriente vers les problèmes de pauvreté et « *donc* » d'insécurité. Ce thème, comme dans de très nombreux pays depuis une quinzaine d'année, a été le thème central de l'élection présidentielle de 2007 en Argentine. Il aura fallu attendre la fin des années 1990 pour que « l'environnement » prenne la place qu'il a aujourd'hui. Toutefois, si le Ministère de l'Environnement n'est pas récent (1989), il n'est pas considéré comme une préoccupation de premier plan. Il devient à la mode sous l'influence de la pression écologique mondiale, dans une oasis qui prend conscience de la nécessité de préserver sa ressource. Les municipalités commencent à agir en ce sens.

- **Les municipalités**

L'environnement étant donc à la mode, il existait en hiver 2006 dans toute la ville (centre-ville) des affiches (sponsorisées par des marques de peinture) invitant la population à le respecter. Des slogans comme « *Mendoza ville propre* » ou « *la propreté est l'affaire de tous* » étaient aussi apposés sur les bus. Dans certaines rues du micro-centre, on pouvait voir des banderoles « *ne jetons pas de déchets dans les acequias* ». Au printemps 2007, soit un an plus tard, seules quelques rares banderoles résistaient, la majorité ayant disparu. Par ailleurs, derrière les bus qui émettent une épaisse fumée noire, il est signalé « *si je pollue, appelez le 0800 999 2001 »* **(Planche photos 16)**.

Cette politique environnementaliste également impulsée par les départements voisins, mais dans une moindre mesure, donne la priorité aux macro-déchets (poubelles), type de pollution le plus visible. De ce fait, la politique des municipalités est de prévenir cette pollution en éduquant la population au moyen de ces affichages. Cependant, elles ne font pas vraiment d'autres efforts. Les sites internet des municipalités insistent aussi sur cette préservation des canaux et *acequias* des macro-déchets. Le problème est avant tout agricole. En effet, les *acequias* se déversent dans les canaux qui irriguent en aval les zones cultivées.

Les poubelles bouchent les canaux et diminuent d'autant les débits d'irrigation (cf. *supra*). Cette prévention est aussi, pour la municipalité, une question de santé publique puisque de nombreux marchands de rue s'installent sur des grilles au dessus des *acequias* et passent leur journée assis sur une décharge en quelque sorte. En dehors de cette pseudo-prévention, les moyens de lutte et d'information des Municipalités sont très limités ; est-ce un problème financier ou un manque de volonté ?

Début août 2006, une nouvelle campagne de la municipalité de Mendoza (Capital) a vu le jour. Dans toute la ville, des panneaux verts et jaunes, couleurs de la municipalité, affichaient un slogan que l'on pourrait traduire par « *le grand jour est arrivé* ». Au début, nous avons pensé qu'il pouvait s'agir d'un « teasing » d'une grande marque de vêtements, puis une semaine plus tard à la télévision, la même publicité est apparue, terminant par « *... le jour du nettoyage* ». Le spot insistait sur le fait que le premier vendredi de chaque mois pourrait être consacré au nettoyage des maisons (pour éviter la prolifération des blattes et rats), des rues, et des *acequias*….. A titre personnel nous n'avons rien vu d'autre : pas de lieu de rencontre, pas plus de précisions sur les travaux à effectuer, sur les pratiques de nettoyage respectueuses de l'environnement…. De l'avis de Mendocinos, cette campagne n'est qu'une de plus pour « *épater la galerie* » (S. E. SALATINO, Ing. INA) et ne sert à rien, à elle seule.

Fin 2007, le travail de Marisa FEIJÓO sur le coût financier de la prolifération des macro-déchets dans l'oasis a été présenté au sein de l'INA, à différents gestionnaires de la ressource en eau, notamment le Ministre provincial délégué à l'Environnement. On ne peut pas réellement affirmer que ce travail soit à l'origine d'une prise de conscience. Toujours est-il que durant le premier semestre 2008, de nouvelles dispositions ont été prises dans l'agglomération, à commencer par la municipalité de Capital. Le nouvel Intendant Victor FAYAD a pris, à son arrivée à la municipalité début 2008, deux mesures : d'une part, a commencé une « *lutte sans quartier contre les vendeurs ambulants* » (Ing. SALATINO, communication personnelle) qui s'installent sur les trottoirs et qui sont en grande partie responsables des proliférations de macro-déchets dans les *acequias*. Ils doivent choisir entre se mettre au service de la municipalité pour nettoyer les *acequias* ou s'en aller « *car il ne peut y avoir personne sur les trottoirs* » (*Ibid*.). La deuxième mesure mise en place par l'Intendant est le plan « tolérance zéro ». D'une part, il a signé un contrat avec une entreprise privée, *Pescamona Servicios Ambientales*, pour qu'elle nettoie la ville de ses petites décharges dans les vides intra-urbains, pour qu'elle débarrasse tous les *acequias* du centre-ville et tous les parcs et places de la municipalité des ordures ménagères. L'entreprise sous contrat a eu trois mois à partir du 8 février 2008 pour réaliser ce grand nettoyage d'automne. Soixante-dix personnes ont été réquisitionnées pour ce faire (LOS ANDES, 2008a). L'Intendant a d'ailleurs proposé aux anciens vendeurs ambulants de signer un contrat avec la municipalité pour compenser la perte de leur travail. La proposition était la suivante : FAYAD « *leur a offert de les employer officiellement, sous contrat, avec sécurité sociale, vacances… pour nettoyer les acequias et balayer les trottoirs* ***à tous*** *(ce sont cent familles)* » mais ils ont refusé « *parce ce se sont commerçants et non pas des travailleurs de pelles et de balais* » (Ing. SALATINO, communication personnelle). D'autre part, Capital a embauché quarante inspecteurs, dont la fonction est de faire prendre conscience aux citoyens qui jettent leurs ordures dans les *acequias*, sur les trottoirs et dans les parcs, de l'impact de leur geste. On peut toutefois espérer qu'à terme, ces inspecteurs deviennent contrôleurs et aient un pouvoir de police. Ces deux mesures s'accompagnent d'un effort de la municipalité qui a ajouté un septième jour de collecte hebdomadaire, ce qui ne nous semble pas une mesure adéquate (cf. s*upra*). La participation municipale est de 2 700 000 $AR (soit env. 770 000 €) (LOS ANDES, 2008b).

a, b, c et d : Quelques exemples d'affiches appelant la population à plus de vigilance dans le centre-ville
a : "La propreté est un compromis de tous, joins-toi à nous" (Avenida San Martin, Capital),
b : "S'il vous plaît, ne jetons pas nos déchets dans les acequias" (Paseo Sarmiento, Capital),
c : "S'il vous plaît, à nous tous, protégeons la propreté, Municipalité de Mendoza, une ville pour vivre et profiter" (Paseo Sarmiento, Capital),
d : "Mendoza pur-environnement", slogan de la municipalité, (grilles d'entrée principale du Parc San Martin, Capital).

e : Une des rares bornes de collecte du verre
(Propriété du Gouvernement de Mendoza), (Paseo Alameda, Capital).

f et g : Bus collectifs de l'agglomération avec l'inscription : "Si je pollue, appelez au 0800-999-2001"
(Rue de Godoy Cruz).

Clichés : E. Lavie, 2006 et 2007

Planche photos 16 : La timide prise en compte de l'environnement par les municipalités et le gouvernement provincial

- **La campagne électorale 2007**

C'est donc en Octobre 2007 (le 28), que ce sont tenues les élections présidentielles en Argentine. En même temps que le Président de la République, il fallait renouveler les députés et sénateurs nationaux. Plusieurs provinces (dont Mendoza) devaient élire leur Gouverneur, leurs députés et sénateurs provinciaux, ainsi que l'Intendant de chaque municipalité (équivalent du Maire en France).

Partout dans la ville, ont « fleuri » des affiches de campagne électorale, depuis les plus petits partis, jusqu'aux partis principaux. La nouveauté de cette campagne électorale par rapport aux précédentes fut le thème de l'environnement, largement traité par les Radicaux et les Péronistes, principaux candidats. Les radicaux ont très largement axé la campagne sur la propreté et la qualité de vie en général **(Planche photos 17)**, rappelant que c'est sous leur mandat dans les années 1990 que Mendoza avait été élue « *ville la plus propre d'Argentine* ».

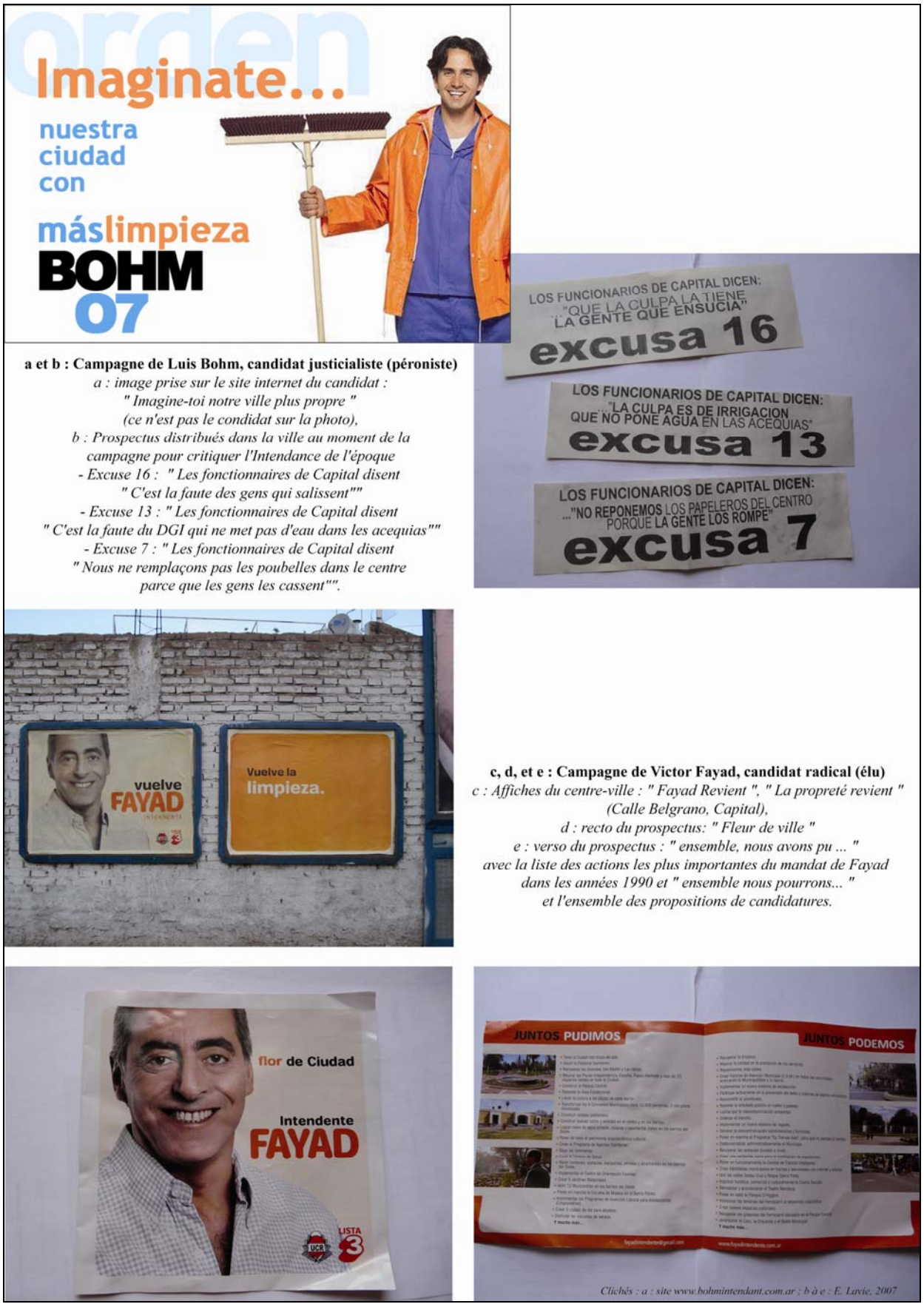
Ces slogans ayant été largement relayés par les journalistes, le concurrent du Parti Justicialiste a lui aussi utilisé ce thème, en toute fin de campagne. Il a par exemple fait distribuer des centaines de tout petits tracts comportant chacun une excuse. Ces excuses, selon les dires des militants, sont celles utilisées par les fonctionnaires de la municipalité quand les habitants de Capital viennent faire une requête ou une réclamation. Parmi celles-ci, « *excuse n° 13 : Les fonctionnaires de Capital disent : « … c'est la faute du DGI qui ne met pas d'eau dans les acequias »* » ; « *excuse n° 7 : Les fonctionnaires de Capital disent « … nous ne remettons pas les poubelles du centre-ville car les gens les cassent »* » ; « *excuse n° 16 : Les fonctionnaires de Capital disent « … c'est la faute des gens qui salissent »* » **(Planche photos 17)**. Ces petites phrases prêtent à sourire si elles sont mises hors de leur contexte, mais il faut prendre en compte que cette campagne a plus été le théâtre d'une guerre de slogans entre les différents candidats, que de débats.

Finalement, au cœur de la politique-spectacle à laquelle les Argentins ont eu droit lors de cette période électorale, l'insécurité semblait être le seul thème important de la campagne au niveau national (élections présidentielles) et provincial (élection des gouvernements et sénateurs provinciaux). A l'inverse, **au niveau local** (élection des intendants) est apparue une certaine **prise en compte des réalités de l'environnement et/ou du cadre de vie**.

- **Les medias généralistes d'information**

- Sur les journaux. Avant 2004, la priorité était le Pescara, le collecteur le plus pollué de l'oasis. En 2006, moment où étaient publiés les travaux de l'OIKOS et du Conseil d'Appellation du BV du río Mendoza, on ne parlait plus que des macro-déchets.

Le problème de ce medium d'information est qu'il est cher et que la population ne le lit en général que le dimanche. Beaucoup d'articles sont sortis sur les déchets en juillet 2006 au moment de la publication de l'étude en question, mais en juin (Coupe du Monde de Football oblige) l'environnement a été délaissé. En conséquence, il existe des articles de fond sur la qualité de l'eau ou de l'environnement dans les journaux, mais la population n'a pas accès à cette information pour des questions financières. Là encore, seule la population aisée et cultivée lit la presse. On peut cependant citer l'exemple du journal *Los Andes* qui a publié en 2006 une série de fascicules consacrés à l'environnement, à destination des enfants.



a et b : Campagne de Luis Bohm, candidat justicialiste (péroniste)
a : image prise sur le site internet du candidat :
" Imagine-toi notre ville plus propre "
(ce n'est pas le condidat sur la photo),
b : Prospectus distribués dans la ville au moment de la campagne pour critiquer l'Intendance de l'époque
- Excuse 16 : " Les fonctionnaires de Capital disent " C'est la faute des gens qui salissent""
- Excuse 13 : " Les fonctionnaires de Capital disent " C'est la faute du DGI qui ne met pas d'eau dans les acequias""
- Excuse 7 : " Les fonctionnaires de Capital disent " Nous ne remplaçons pas les poubelles dans le centre parce que les gens les cassent"".

c, d, et e : Campagne de Victor Fayad, candidat radical (élu)
c : Affiches du centre-ville : " Fayad Revient ", " La propreté revient " (Calle Belgrano, Capital),
d : recto du prospectus: " Fleur de ville "
e : verso du prospectus : " ensemble, nous avons pu ... " avec la liste des actions les plus importantes du mandat de Fayad dans les années 1990 et " ensemble nous pourrons... " et l'ensemble des propositions de candidatures.

Clichés : a : site www.bohmintendant.com.ar ; b à e : E. Lavie, 2007

Planche photos 17 : 2007, une campagne électorale axée sur l'environnement

Dans l'ensemble, les deux journaux principaux, *Los Andes* et *El Uno*, abordent régulièrement d'environnement dans leurs colonnes, même si on peut déplorer une certaine subjectivité certains jours. Le problème est donc avant tout celui d'un prix déraisonnable.

- La télévision est privatisée et très majoritairement sous influence nord-américaine. Elle donne la priorité aux programmes de « real-tv » ou aux films hollywoodiens. Cependant il existe quelques programmes intéressants sur certaines chaînes. Il s'agit de rares émissions en journée sur l'écologie, mais surtout d'émissions tardives sur les problèmes socio-économiques qui prennent régulièrement en compte l'environnement.

- **Les Associations et les réseaux de défense de l'environnement**

Il existe quelques petites associations de défense de l'environnement dans la province de Mendoza, mais une seule est véritablement active et, surtout, respectée. Il s'agit d'***Oikos Red Ambiental***. Cette association a réalisé en 2003 une enquête auprès de cinq cents personnes dans la province, leur demandant de préciser quels étaient à leurs yeux les problèmes prioritaires en termes d'environnement. Le sujet principal fut l'**eau**, le second les **macro-déchets** (poubelles), puis vinrent les **arbres publics** (ceux qui ombragent les rues de la ville). Ainsi l'association a-t-elle choisi dix cas d'intérêts publics dans la province : des cas particuliers comme les effluents d'une industrie à Corralitos (Guaymallén), à des problèmes de grande envergure comme la protection des rives du lac de Potrerillos. Sept volontaires sont en charge de ces dossiers. A partir de rapports et de publications de l'INA, du DGI, des municipalités, du CONICET (équivalent CNRS en Argentine), chacun des dix cas a été observé sérieusement. Oikos travaille avant tout de manière juridique. Les membres préparent leur dossier, demandent au présumé responsable d'une pollution quelconque de retirer son projet, ou de traiter ses effluents… Si la personne refuse, Oikos porte le problème devant la Cour de Justice de la province.

Il faut savoir qu'Oikos, d'une part, prépare très bien ses dossiers car plusieurs avocats font partie des volontaires ; d'autre part, elle n'est pas obligée de prendre une assurance en cas de perte du procès (en Argentine, celui qui perd le procès doit payer les frais de justice de la partie adverse, en plus des siens ; une assurance est donc obligatoire). Enfin, de nombreux désaccords entre le Gouvernement provincial (pouvoir exécutif) et les juges (pouvoir judiciaire) ont rendu la Justice très indépendante et il est souvent facile de gagner en justice face à un organisme provincial comme le DGI par exemple. De fait, si les dossiers d'Oikos prennent souvent du temps, ils n'ont, jusque-là, jamais perdu en Justice (E. SOSA, Président d'OIKOS, communication personnelle).

En général, quand le problème dure, une simple pression médiatique accélère la procédure. Il suffit d'un encart dans un journal local pour que l'entreprise présumée responsable d'un délit de contamination, agisse et évite un procès.

Outre les 10 cas choisis en ce qui concerne l'eau, au quotidien, Oikos règle les problèmes liés à l'environnement. En général, quand une réclamation est faite par les habitants d'un quartier au DGI parce que l'eau est polluée, il faut plusieurs années avant que celui-ci n'agisse. Les réclamants se tournent alors vers Oikos afin que celle-ci se portent partie civile. Le travail de conscientisation passe par trois voies : la voie administrative (en général avec le DGI ou les municipalités), les médias et, quand cela ne suffit pas, la voie judiciaire.

En ce qui concerne la communication, Eduardo SOSA, le Président de l'Association, avoue que les affiches dans la ville n'ont presqu'aucun impact. Pour lui, la seule manière de résoudre les problèmes environnementaux en Argentine passe par la voie législative. En effet,

à partir du moment où une loi est prononcée, il est beaucoup plus facile d'agir. Par exemple, Oikos a poussé le Gouvernement à faire voter la loi obligeant les supermarchés à distribuer des sacs plastiques biodégradables – mais nullement appliquée. Pour l'Association, la pression judiciaire permet à elle seule de faire reculer de nombreux projets industriels non respectueux de l'environnement. Souvent, le simple fait de savoir que le projet peut être retardé de cinq à dix ans, contraint les industriels à présenter des projets plus respectueux de l'environnement.

D'autres petites associations se développent et la distance physique, si importante en Argentine, a permis le développement des forums associatifs sur Internet. Celui-ci permet d'organiser des vidéo-conférences en direct, de donner la parole à chacun via les forums, de « poster » des articles de presse ou autres, et donc d'informer au jour le jour. Ainsi, deux forums locaux ont vu jour : *Movimiento por la Cordillera y el agua* et *No a la mina*.

Movimiento por la Cordillera y el Agua (Mouvement pour la Cordillère et l'eau) est un groupement d'adhérents né grâce à Googlegroups qui facilite l'échange d'informations sur la Cordillère des Andes. Ainsi, les membres de ce groupe reçoivent tous les jours, entre deux et sept informations sur les activités des pays andins. De la Colombie au Chili, en passant par le Pérou, la Bolivie ou l'Argentine, ce groupement de chercheurs, de civils, d'agriculteurs et d'écologistes est géré par un Argentin exilé en Espagne, Fernando MESTRE, Ingénieur Agronome et propriétaire d'une *finca* dans l'oasis de San Juan. Son le but est de faire circuler au maximum les informations de manière à faire pression sur les politiques. Son action concerne avant tout la mine, mais tout ce qui attrait à la politique, au social et à l'environnemental est relayé sur ce groupe. Ainsi, quand une manifestation contre la mine de San Juan a lieu, les Mendocinos peuvent se retrouver sur la Plaza Independencia pour soutenir leurs voisins. De même, lorsqu'une réunion a lieu, les membres du groupe peuvent suivre le débat par vidéo-conférence. Cette action multi-étatique est une nouveauté dans l'action environnementaliste. Chacun peut agir à son niveau, en « postant » des messages, des articles de presse, ou en organisant des manifestations et/ou des réunions avec les différents acteurs d'un espace donné.

No a la mina est un site internet argentin où des articles de presse, des *« posts »* sur des actions militantes et un forum de discussion, informent les visiteurs de l'actualité en ce qui concerne l'activité minière. Des informations sur les autres pays peuvent s'y trouver, mais en général l'information est nationale. Chaque province minière possède une page spéciale qui lui est réservée. Le site permet de diffuser les articles des presses locales et est devenu l'espace privilégié d'un échange d'informations. Il faut dire que le projet à terme est d'implanter des mines dans toute la cordillère, depuis la Colombie jusqu'à la Terre de Feu (F. MESTRE, communication personnelle).

- **Une information à but commercial : le cas Danone**

La défense de l'environnement mendocino est avant tout l'affaire des associations et des Institutions, mais lorsque des intérêts économiques entrent en jeu, le privé reprend à son compte la défense de la « nature ». Le cas de la société Danone est particulièrement révélateur des réalités économiques qui régissent la protection de l'environnement à Mendoza[73].

[73] : Le travail en cours de Jean-Philippe DAVID sur la gestion de la ressource en eau dans l'oasis Nord de Mendoza aborde grandement les conflits d'usage entre les différents acteurs, et les pressions des lobbies privés. Nous ne nous attarderons donc pas sur les détails, mais il nous paraît important de citer au moins cet exemple, afin de présenter le rôle du privé dans l'information (et la désinformation) du public.

Cette multinationale a acheté en 1999 l'usine d'embouteillage de l'eau potable « *Villavicencio* ». Or, dans le bassin hydrologique (dans Las Heras, au nord de l'agglomération) de la source, se trouvait une mine. Fermée dans les années 1960, elle avait exploité du cuivre et de l'or. La mine, propriété de Minería del oeste (MIDO) a cédé en 1999 ses droits d'exploitation à la société canadienne Deprominsa. Cette société cherchait à exploiter des veines de cuivre pouvant contenir de l'or. Pour ce faire, Deprominsa avait commandé une étude d'impact, approuvée par le Gouvernement provincial de Mendoza. Les travaux de sondage commencèrent, mais ne durèrent qu'une semaine. En effet, l'entreprise Danone, propriétaire des terres en surface (et non du sous-sol qui appartient à la province) était parvenue à faire classer la vallée de Villavicencio en « réserve naturelle privée » par le Gouvernement. En effet, cette vallée, unique représentante de la végétation et de la faune du *Cardonal* dans la province (cf. *supra*), recèle des richesses à la fois végétales (forêt naturelle), animales (site où les guanacos descendent assez bas en altitude), topographiques (les 365 virages, *los caracoles* : un par jour de l'année), hydrologiques (eaux thermales) et de fait touristiques. L'affluence touristique a toujours été importante, notamment à la période où les thermes et l'hôtel de Villavicencio fonctionnaient. Par ailleurs, la source Villavicencio rachetée par Danone est la principale source d'embouteillage du pays. Deux multinationales se partagent le marché des eaux en bouteilles : *Eco de los Andes* (à Tupungato, province de Mendoza, propriété de Nestlé) et *Villavicencio* (propriété de Danone). Conscientes de leur image à la fois nationale et internationale, les entreprises de conditionnement des eaux minérales se doivent de protéger les bassins d'alimentation de leurs sources au maximum, afin d'éviter toute trace de pollution. Les pressions de Danone sur le Gouvernement provincial ont porté leurs fruits. Il n'a donc pas été trop difficile pour Danone d'obtenir ce classement en réserve naturelle.

Désormais, deux camps s'affrontent.

D'un côté, la société canadienne Deprominsa qui s'appuie sur le fait d'une part que leur étude d'impact a été acceptée par le Gouvernement, et d'autre part que deux bassins versants souterrains existent et que le site prévu pour la prospection de minerais n'est pas compris dans le bassin d'alimentation de la source de Villavicencio, un rapport des hydrogéologues de l'INA faisant foi (BADALONI, 2006 ; LOS ANDES, 2008c). Mais, parce que la voie juridique est parfois plus accessible que la voie scientifique, Deprominsa s'appuie avant tout sur le fait qu'une Réserve Naturelle privée n'est pas une appellation juridique dans la mesure où cela n'existe pas dans le code argentin ou provincial.

D'un autre côté, Danone rappelle qu'il est impossible de connaître à 100 % la circulation souterraine dans un milieu aussi fracturé et que Deprominsa n'a pas le droit de faire des sondages dans une réserve naturelle.

Mais dans l'ensemble, il s'agit avant tout d'une bataille médiatique. En effet, si Deprominsa argue que c'est une chance économique formidable pour Las Heras, l'image de pureté de Villavicencio est telle que pour nombre de Mendocinos interrogés, c'est une chance que Danone ait pu faire fermer la mine. L'entreprise Danone reste pour le moment gagnante, la justice mendocina ne l'ayant condamnée qu'à verser une amende de 300 000 $AR (environ 80 000 €) à Deprominsa pour « préjudice économique ».

Mais la mine reste culturellement présente à Mendoza. Cette activité a longtemps été la seule réellement rémunératrice pour Las Heras, et Danone a dû faire preuve d'un militantisme environnementaliste pour clarifier la situation. Cela se manifeste par une communication parfaite sur le site de Villavicencio. En effet, lorsque le visiteur entre dans la réserve naturelle, seul ou en excursion, il visite la maison du gardien où tout un mini-musée l'informe sur la faune et la flore de la Réserve, sur la ressource de l'eau d'origine thermale,

sur ce qu'il faut faire et ne pas faire… et il repart avec sa bouteille de 50 cl gratuite. Le parc est très bien entretenu, la chapelle de l'ancien hôtel thermal a été rénovée, l'hôtel lui-même est en cours d'embellissement et de mise aux normes pour accueillir des touristes.

Malgré notre intérêt, nous n'avons pu savoir qui finançait le musée, les prospectus, l'élevage des deux bébés guanacos en captivité du parc, etc. Il n'est nulle part précisé qui de Danone ou du Gouvernement provincial gère la Réserve. Cela dit, malgré la gratuité du site, la différence de moyens à la disposition de cette Réserve, comparée à d'autres réserves en Argentine, permet de penser qu'il y a peu de chances que la province finance la totalité des moyens engagés. Il se dégage à Villavicencio une impression de mélange des genres, de finances et d'intérêts. L'eau Danone, puisée dans les aquifères du piémont, à 50 km au nord de la ville, est distribuée dans la totalité du pays. C'est même souvent la seule eau minérale proposée dans les bars, restaurants, voire supermarchés, même à Buenos Aires. Elle est donc l'image de marque de Mendoza et une garantie de qualité associée à l'image de ville « *la plus propre d'Argentine* ». Les touristes argentins qui viennent à Mendoza se voient quasi systématiquement proposer une visite de la réserve dans leur programme d'excursions.

Mais si la communication de Danone est particulièrement efficace, la réalité est tout autre. En effet, en 2006 il était clair que Danone s'opposait à Deprominsa pour éviter la pollution de sa source par l'activité minière (BADALONI, 2006) ; en 2008 les choses ont nettement évolué. Dans un article du journal *Los Andes* (2008c), le journaliste écrit : « *Deprominsa, subsidiaire de la canadienne Tenke, cherchait de l'or en 2006 mais la firme de capitaux français, entreprise Danone, a fait une action en justice en défense de l'eau parce qu'elle possède là sa source d'eau minérale. Cette action a commencé il y a deux ans quand l'entreprise Danone a interdit à une firme canadienne de chercher du cuivre et de l'or sur ses terres. Maintenant on apprend que les propres fabricants de l'eau sont ceux qui veulent chercher de l'or.* ». Il demeure relativement difficile d'obtenir des informations en dehors des rares articles publiés dans la presse, mais cet exemple de mélange des sphères publiques et privées pose la question du lobbying dans la question de la gestion qualitative de l'eau à Mendoza.

Finalement, il apparaît que si Mendoza garde et entretient une image positive (Andes, vignes, eau minérale, réserves naturelles…) dans le pays, de très nombreux efforts restent à faire à l'intérieur même de la province et au sein du *Gran Mendoza*. Dans ce contexte, d'où devrait émaner l'information ? Des quotidiens et autres média ? Ou bien les Institutions ont-elles un rôle à jouer ? La réponse à cette question est évidemment comprise dans la question. Oui, les différents utilisateurs de la ressource ont une responsabilité, tant dans les augmentations des prélèvements, que dans les baisses de qualité de la ressource en eau. Néanmoins, s'il est fort probable que notre vision européo-centrée ait orienté nos impressions, les Mendocinos nous sont apparus dans l'ensemble très mal informés, voire pas informés du tout. Par exemple, les personnes de notre entourage et celles que nous avons interrogées ont pratiquement toutes été très surprises d'apprendre que la zone agricole n°4 était alimentée en eau issue soit à l'ouest des rejets de la station d'épuration de Campo Espejo, soit à l'est d'une partie des eaux du collecteur Pescara.

10-2-3- Le rôle des institutions : des solutions structurelles

Il y a donc soit une minimisation des faits, volontaire, pour éviter d'éventuels conflits avec certaines catégories d'usagers (en particulier les industriels), soit un réel désintérêt, un

laisser-aller qui commence à se voir… et les solutions ne sont pas forcément qu'infrastructurelles.

Ainsi, quelles sont les actions, ou du moins orientations à prendre par les différentes Institutions ?

- **Regrouper les décisions et actions au sein d'un même organisme**

Pour résumer, le DGI est l'organe décisionnaire en ce qui concerne la ressource en eau. Malgré certaines pressions de la part du Gouvernement provincial, via le Ministère de l'environnement (le MAyOP), le DGI, plus puissant financièrement, **décide de la politique de l'eau**. Néanmoins, s'il est maître de la distribution et de la collecte, il ne peut rien contre la pollution indirecte de l'eau. En effet, malgré son pouvoir de police contre les rejets directs d'effluents dans le réseau d'irrigation, il ne peut rien contre le ruissellement d'eau polluée en surface, provenant des foyers, des champs agricoles ou des industries. En effet, le DGI n'a aucun pouvoir sur le plan d'occupation des sols, sur le choix des espèces végétales plantées par les agriculteurs ni sur les quantités de pesticides et d'autres engrais utilisées, et il n'a aucune influence sur les autorisations d'installation pour les entreprises. Car les habilitations sont accordées par le Ministère (provincial) de l'industrie. Si une industrie, comme c'est le cas de certaines firmes du Parc Industriel Provincial de Luján, pollue indirectement par ruissellement et infiltration la nappe phréatique utilisée par la suite par les irrigants, le DGI n'a pas de pouvoir direct de police. Seul le gouvernement provincial ou les municipalités peuvent autoriser ladite entreprise à rester ou à déménager.

Le DGI étant une assemblée d'usagers, il reste indépendant de la province, même si son SuperIntendant est d'abord choisi par le gouverneur. Il ne peut donc garder toutes les prérogatives en matière de gestion de la ressource. En effet, deux services publics prennent le relais : l'EPAS pour l'eau domestique, et l'EPRE pour l'énergie, dont l'hydro-électricité. La distribution, en énergie ou en eau potable, est ensuite assurée, soit par le privé (EDEMSA, OSM.SA., OGC), soit par le public (municipalités) (cf. *supra*).

La superposition des organismes publics et privés de la gestion de la ressource (cf. DAVID, thèse en cours) amène à une certaine inertie, ainsi qu'à une absence de prise de responsabilité. Il faut donc centraliser les décisions au sein d'un même organisme. Alors MAyOP ou DGI ?

Le MAyOP devrait être le seul organe centralisé de la gestion de la ressource en eau. La raison première est que c'est un Ministère, donc subordonné au Gouvernement provincial élu de tous les Mendocinos. La deuxième réside dans le fait que le DGI joue un rôle supérieur alors que ses membres, notamment son Superintendant, sont élus par les usagers, à savoir en majorité des agriculteurs et des industriels. Dans ce contexte, ceux qui ont les plus gros besoins en eau (et donc qui paient le plus) ont un poids électoral plus fort que ceux qui ne la nécessitent que pour un usage domestique. **La sphère privée** – agriculteurs et industriels qui paient leur impôt de société au DGI et non au Gouvernement provincial ; distributeurs d'eau potable ; producteurs et distributeurs d'énergie hydro-électrique ; sociétés pétrolifères (dont Repsol-YPF) – **possède donc un poids nettement supérieur à celui la sphère publique**.

Nous prenons donc le parti d'affirmer que l'inhérence de l'eau cadrée par la Constitution provinciale de 1916, devrait être transposée depuis le DGI vers le Ministère de l'environnement.

- **Informer**

Comme souvent lorsqu'il s'agit de gestion de l'environnement, la faiblesse vient du manque de conscience de la population, par manque d'information. La population ne peut pas accepter des augmentations de tarif de l'eau si elle ne comprend pas les raisons de cette augmentation. Dans l'ensemble, il apparaît que **la population ne sait pas comment fonctionne le système d'irrigation de l'oasis**. Lorsque l'on interroge les Mendocinos sur leur action en faveur de l'environnement en général, les réponses sont assez éloquentes. En effet, selon un sondage effectué par le journal en ligne MdzOnline (MDZOL, 2008), seuls 16,7 % de la population « *croient qu'ils n'aident pas autant qu'ils le disent à la conservation de l'environnement* ». Selon l'auteur, à la question « *« de quelle manière collaborez-vous pour sa protection ?* » les réponses ont révélé que les « *Mendocinos manifestaient des intérêts pour sa préservation* ». L'auteur se félicite que 23,5 % des sondés ne brûlent pas les feuilles de leurs arbres, que 22,1 % assurent inculquer des valeurs à leurs enfants « *alors que la réalité de ces temps-ci indique que ce sont les enfants qui orientent le plus et éduquent leurs parents en matière d'environnement* ». 13 % pensent que la meilleure façon de participer est de protéger l'eau, tandis que 8,2 % n'utilisent pas d'aérosols polluants.

Ces chiffres, bien que très intéressants pour l'auteur, nous apparaissent extrêmement bas. Dans tous les pays, les sondés assurent agir pour l'environnement plus qu'ils ne le font en réalité ; mais ici, la population qui assure agir en ce sens est réellement limitée.

De même, lorsque nous sommes allés interroger la population des riverains des *zanjones* sur la question des déchets urbains (enquête ZAMORANO *et al*., 2006), et que nous demandions qui était responsable de la prolifération des déchets, la réponse a souvent été de dénoncer les habitants des *villas miserias*, mais certaines personnes nous ont assuré que dans l'ensemble, la population n'avait absolument aucune conscience de son action propre. De fait, cette impression qui était la nôtre est partagée par certains Mendocinos.

La conscientisation passe en partie par l'accès à l'information, qui est limitée à Mendoza (cf. *supra*). De fait, quelles actions ont été prises en ce sens ?

El Club Amigos de la Cuenca del río Mendoza (Club des amis du BV du río Mendoza) est une association créée par le DGI dont le « *but fondamental est d'aider les enfants et les jeunes dans le cadre du respect et de la protection des ressources naturelles, notamment l'eau, comme base de leurs valeurs personnelles et sociales* ». L'association cherche à « *développer de nouvelles formes de relation de l'homme avec la nature et avec l'homme lui-même, ce qui doit commencer depuis le plus jeune âge* » (www.irrigacion.gov.ar). Deux orientations ont été prises : une réorientation de l'éducation des enfants vers le Développement Durable, et une croissance de la conscience du public en matière d'environnement. Le Club fonctionne quelque peu comme les Scouts, à savoir que les plus petits (3-7 ans) sont considérés comme les *apprentis*, les enfants (8-12 ans) comme des *chercheurs*, qui doivent développer des actions, pour lesquelles ils sont souvent récompensés en passant dans les journaux, en recevant des prix…, et les adolescents (13-18 ans) sont les *leaders*, les formateurs des plus jeunes. Le *Club de los Amigos de la Cuenca* existe pour chaque BV de la province et appartient à un regroupement plus large de toute l'Amérique Latine. Mais son problème reste avant tout celui d'une partialité. Le Club a été créé par le DGI et est géré par cette institution puisque les contacts mis en ligne sur le site sont ceux d'Ingénieurs du DGI.

Pour sa part, l'INA possède deux centres à Mendoza, le CRA (*Centro Regional Andino*, avec lequel nous avons réalisé le travail de diagnostic), et le CELA (*Centro de Economía, Legislación y Administración del Agua y el Ambiente*, ou Centre d'économie, de législation et de gestion de l'eau et de l'environnement). Le CELA, avant tout composé d'économistes et d'anthropologues, a trois objectifs dans son plan quinquennal 2003-2008 : jouer un rôle actif dans la question sociale en ce qui concerne le thème de l'eau, contribuer au développement de projets hydriques à grand contenu social, et améliorer le positionnement institutionnel dans le contexte local, régional et international. C'est dans ce cadre qu'est né le projet de *Capacitación en Concienciación de la Gestión Integral de los Recursos Hídricos*, ou Formation de conscientisation de la gestion intégrale des ressources en eau, projet avancé à 60 % en septembre 2006, date de la publication de B. FARO (2006). Ce projet comporte deux volets : une formation pour les étudiants et une autre pour les enseignants.

Le projet pour les étudiants est en fait un stage proposé aux lycéens, axé sur la pratique de la recherche scientifique, qui consiste à mener une analyse critique et une réflexion scientifique pour déboucher sur un changement global des paramètres culturaux.

Le projet pour les enseignants cherche à les conscientiser sur l'importance des ressources en eau et ses problèmes associés, à les faire travailler sur les finalités de la GIRH (Gestion Intégrée des Ressources Hydriques, GIRE en français), sur l'utilisation des techniques et des instruments pour une gestion intégrale, entre autres.

La formation à destination des étudiants, mise en place depuis 2003, a permis la réalisation de dossiers tels que « *l'histoire de l'irrigation à Mendoza* », « *Cadre légal des ressources en eau* », « *Eau potable et santé* », « *Pollution des eaux à Mendoza* », « *Système aquifère Guarani* »…

Ce travail de prise de conscience, bien que modeste pour le moment, et pas très accessible sur le plan financier (300 $AR pour une semaine, soit près de 80 € par personne), est tout de même une grande avancée dans l'information au public. La formation aux enseignants et aux lycéens nous semble être un très bon point de départ car l'implication du secteur éducatif nous paraît essentielle. Le changement dans les mentalités des adultes sera plus long dans la mesure où l'on ne modifie pas ses habitudes du jour au lendemain.

Le problème d'aujourd'hui nous semble être aussi l'information auprès des populations les plus en marge de la société. Il reste primordial d'informer les populations qui n'ont pas accès à l'école, les salariés pauvres qui ne connaissent pas le système de distribution et de collecte des eaux, mais aussi les populations indigentes des *villas miserias*. Sans contraindre financièrement ou juridiquement une population qui ne sera pas réceptive à ce message, il demeure important à nos yeux de faire connaître aux Mendocinos les risques sanitaires encourus par leurs enfants. Une incitation financière aux actions de nettoyage pourrait aussi être envisagée.

- **Inciter et contraindre financièrement les acteurs**

Le problème qualitatif de la ressource en eau est aussi un problème quantitatif. En effet, la population gaspille l'eau d'une manière souvent démesurée. Or, en ce qui concerne l'eau brute à destination des industries et de l'agriculture, plus les usagers consomment d'eau en amont, plus ils rejettent d'eau polluée en aval. Penser que plus on utilise d'eau, plus elle est diluée, donc moins elle est polluée, est une gageure. On **gaspille de l'eau « propre » et on augmente le volume d'eau polluée**. De fait, il est urgent de faire comprendre aux usagers que la qualité et la quantité de l'eau sont limitées et qu'il faut apprendre à l'utiliser en

fonction des besoins, certes, mais surtout des disponibilités. Pour ce qui est de l'eau domestique, le constat est relativement équivalent. La population utilise beaucoup plus d'eau potable, ce qui implique un volume croissant à traiter et des coûts (de traitement) qui augmentent. En aval, les effluents domestiques augmentent parallèlement, ce qui suppose des coûts de traitements en station d'épuration plus lourds. Il s'avère urgent de limiter les usages de l'eau de manière à garder un stock quantitatif suffisant pour les moments de sécheresse plus accrue, pour anticiper le recul des glaciers et donc un abaissement de la ressource à long terme, mais aussi pour limiter les volumes d'eau polluée. Pour cela, plusieurs solutions existent. On peut améliorer les infrastructures de distribution et de collecte afin de limiter les pertes en eau ; on peut informer et conscientiser la population, etc. (cf. *supra*), mais une des solutions passe par une contrainte ou une incitation financière.

- Inciter les actions les plus respectueuses de l'environnement

La question des incitations financières pour développer des actions respectueuses de l'environnement est un sujet largement relayé dans les médias, notamment depuis l'avènement du concept de Développement Durable. Certains pays ont mis en place une fiscalité indexée sur les émissions de dioxyde de carbone par exemple (taxe carbone ou bonus-malus écologique pour les voitures en France…). Ce système pourrait être développé en Argentine sans grande difficulté. D'ailleurs, il est déjà en partie adopté. En effet, les entreprises de transport des personnes et marchandises ont pu bénéficier de crédits d'impôts si elles mettaient en place un système de traitement de leurs eaux usées avant de les déverser au tout-à-l'égout. Les industries de la *Zona alcoholera* ont pu disposer de certaines aides financières pour adopter elles-aussi des systèmes de traitement des effluents. Pour le moment, le gouvernement provincial propose des aides, encore modestes, sans trop obliger les entreprises à adopter des dispositifs respectueux de la qualité des eaux parce que cette technique est coûteuse. Dans l'ensemble, si ce principe d'incitation financière existe, il demeure très peu développé.

- Eau domestique : Une politique tarifaire inégalitaire

L'eau domestique à Mendoza est très peu chère et la politique tarifaire est *a priori* assez complexe. « *A Mendoza comme dans le reste du pays, le principe de tarification adopté, dit de cuota fija (*coût fixe*), est calqué sur le modèle anglo-saxon. En effet, l'idée est d'assurer une certaine redistribution des revenus, c'est la raison pour laquelle les usagers ne sont pas facturés en fonction des quantités réellement consommées mais sur la base d'une formule polynomiale prenant en compte plusieurs paramètres dont l'indice de la valeur locative de l'habitat* » (AKHMOUCH, 2004). Le « tarif forfaitaire bimestriel » est calculé de la manière suivante : $T = (St \times Tt.base + (Sc \times Tc.base \times E) \times Z \times K)$[74]. Le principe est le suivant : « *les quartiers riches sont pour la plupart « valorisés » par les infrastructures d'eau et d'assainissement, et doivent donc payer en retour, d'où la fonction de redistribution des revenus* » (*ibid*.). C'est pourquoi les habitants de la municipalité de Capital (Mendoza centre) et du quartier aisé Bombal (« à cheval » sur Godoy Cruz et Capital) sont les plus imposés (Lic. Patricia LOPEZ, INA, communication personnelle).

Selon une enquête publiée par le journal local *Los Andes* (1998, *in* AKHMOUCH, 2004), 54,7 % des quatre cents sondés des communes de Godoy Cruz et de Guaymallén considèrent que la ressource hydrique est utilisée de manière rationnelle. Même s'il s'agit aussi de la ressource agricole, ce sondage révèle une certaine confiance des usagers

[74] : **T** : tarif forfaitaire bimestriel ; **St** : superficie du terrain ; **Tt.base** : prix/m² du terrain ; **Sc** : surface bâtie ; **Tc.base** : prix/m² de la surface bâtie ; **E** : coefficient d'ancienneté et qualité de la construction ; **Z** : coefficient de situation de l'immeuble ; **K** : coefficient d'ajustement tarifaire.

en leurs dirigeants. En effet, lors de nos entretiens avec les usagers de l'eau, nous avons souvent entendu dire que ce système était juste et équitable, puisque les habitants paient en fonction de leurs moyens. Or, non seulement des dérives de gaspillages sont nombreuses (cf. *supra*), mais de surcroît, certains propriétaires de *kioscos*[75] ou de galeries commerciales règlent leurs factures à OSM.SA. sans avoir de robinet ou d'autre moyen de raccordement au réseau d'eau potable et d'assainissement (AKHMOUCH, 2004).

Il faut en outre savoir que même si les Mendocinos se plaignent du prix de l'eau, elle est réellement très peu chère : environ 40 $AR pour un appartement en centre-ville, soit 9 € pour deux mois. Dans les municipalités gérant elles-mêmes leur eau domestique, Luján et Maipú, elle est encore moins chère puisque ces communes, riches de vignobles, ont les moyens de baisser leurs taxes locales grâce aux taxes professionnelles importantes. Ainsi, deux exemples sont particulièrement évocateurs : un habitant de Maipú nous a affirmé régler pour sa famille de 5 personnes, 17 $AR par mois (3,80 €) pour l'eau, l'assainissement, l'éclairage public, le gaz, la police, l'école…. De même, la *bodega* Chandon, une des plus riches de la province, qui possède plusieurs coopératives, paie, pour celle de Luján, la somme de 300 $AR annuels, soit seulement 67 €[76].

En revanche, les communes les plus pauvres, comme Las Heras ou Lavalle, n'assurent pas réellement de service public, et les habitants qui ne peuvent pas régler leurs factures sont de fait privés d'eau. Des maladies commencent d'ailleurs à se développer. Ce constat alarmant nous a été communiqué par G. GUEVARA, sociologue et ancien employé technique d'OSM.SA. Il a enquêté auprès d'habitants du quartier Plumerillo. Ce quartier est connu pour être celui de l'aéroport, beaucoup moins pour être celui où est implanté le centre d'enfouissement des déchets urbains *El Borbollón*. D'après lui, lorsque le monopole d'Etat OSN (*Obras Sanitarias de la Nación* ou Œuvres sanitaires de la nation) a été transformé en OSM.SE. (*Obras Sanitarias de Mendoza, Sociedad del Estado* ou Œuvres sanitaires de Mendoza, Société d'Etat), les contrats de concession ont été faits très rapidement, de manière à ce que la population ne se rende pas compte des changements qui allaient être opérés lors de la privatisation de OSM.SE. en OSM.SA., soit la transformation d'une société d'état en société anonyme. De fait, les retraités qui recevaient un service public, les populations rurales et les personnes sans ressources, se sont retrouvés exclus du nouveau système. Pour G. GUEVARA (communication personnelle), les indigents ne reçoivent que très peu d'eau, ne peuvent pas payer l'électricité des pompes relais et ne se plaignent jamais puisque la désinformation opérée par les Institutions amène à penser que l'eau n'est pas un bien public. D'après lui, la densité de population dans ces quartiers indigents (formels mais proches des *villas miserias* dans leur bâti) et l'absence d'eau, ont provoqué de nombreuses maladies hydriques. Le coût de la santé est plus important que celui de l'eau, mais il part du principe que les politiques profitent du manque de culture des gens pauvres qui ne savent pas qu'ils peuvent se plaindre. Il conclut même « *l'eau potable fait partie de la santé, la santé fait partie du social, et les politiques considèrent le social comme des frais* ».

Par ailleurs, OSM.SA. est censée contrôler les entreprises qui rejettent leurs eaux domestiques dans les canalisations d'eaux usées domestiques. Si les rejets dépassent les normes, OSM.SA. doit dénoncer l'entreprise à l'EPAS qui met une amende au profit d'OSM.SA. Des pressions commencent donc à se faire sentir, dans un sens comme dans l'autre sur l'EPAS, qui ne joue plus vraiment son rôle de coordinateur.

---

[75] : Il s'agit de toutes petites épiceries de quelques m², vendant cigarettes, boissons gazeuses, bonbons et gâteaux en particulier.

[76] : Valeur du peso début 2008 : 1 € = 4,5 $AR.

« *Aujourd'hui, la compagnie dénonce les abus, gaspillages et consommations irrationnelles de la ressource hydrique, s'oppose fermement au système en place, et prône l'installation de compteurs pour changer de mode de tarification. En effet, d'après un rapport de l'Organisation Mondiale de la Santé, la consommation moyenne d'eau à Mendoza est de 453 litres par jour et par personne, soit deux fois plus que la moyenne mondiale. Cette moyenne varie selon la période saisonnière (de 180 l/j en hiver à plus de 700 l/j en été) et selon la zone géographique et les chiffres ne sont qu'approximatifs.(…) S'il est vrai que les carences hydriques de la province ne sont pas seules responsables des débats actuels et que la simple arrivée de la compagnie privée suffit à remettre profondément en question le principe de tarification et le régime de canilla libre* (robinet libre)*, il faut néanmoins souligner que dans ses différentes campagnes de promotion, l'entreprise a réactivé à plusieurs reprises les représentations autour de la construction du territoire (eau rare, oasis artificielle, systématisation des cours d'eau…) et de « l'imaginaire régional » afin de sensibiliser les usagers à une consommation rationnelle de l'eau potable. A son arrivée à Mendoza, l'entreprise [a dû] faire face à des niveaux de consommation alarmants d'une population qui semble ne pas avoir conscience de l'utilisation irrationnelle de la ressource hydrique* » (AKHMOUCH, 2004).

En outre, les moyennes de consommation **(Tab. 17)**, quoiqu'intéressantes, cachent des extrêmes puisque si certains quartiers informels n'ont que quelques litres par jour, à Chacras de Coria (quartier de Luján), les moyennes journalières sont estimées à 1500 à 3000 l. Ces quartiers sont aisés : il y a de nombreuses piscines remplies d'eau potable. De même, précise AKHMOUCH (2004), à Godoy Cruz, un des départements les plus pauvres, on recense 1400 à 2500 l utilisés par jour et par habitant. L'auteure ajoute : « *ce qui nous amène à croire que « l'eau gratuite » est un « puits profond ». Cet avis est partagé entre autres par Susana YELICH, Directrice de Prodelco d'après qui les quartiers pauvres sont également ceux qui « laissent le robinet couler sans cesse au point de transformer les rues en véritables avenues d'eau ! Il s'en contrefichent pour la simple et bonne raison qu'ils ne la paient pas ou peu […] Lorsqu'ils recevront la première facture basée sur leur consommation individuelle, ils apprendront une bonne fois pour toutes à fermer les robinets »* ».

Rang	% population	Consommation moyenne
1	15%	- 40 m3
2	29,2%	40-80 m3
3	23,6%	80-120m3
4	32,1%	+ 120 m3

Tab. 17 : Consommation d'eau bimestrielle par foyer à Mendoza en 1998
Source : Akhmouch, 2004

La plus grande preuve du gaspillage se trouve dans les canaux. En effet, le tour à tour mis en place à Mendoza pour que chacun ait de l'eau au fur et à mesure, implique que pendant quatre jours, il y ait de l'eau dans le canal Cacique Guaymallén et ses dérivations, puis que pendant qautre jours, le relais soit pris par le canal San Martín. Or, lorsque le canal Cacique Guaymallén est vide, il circule tout de même de l'eau, avec un débit beaucoup plus faible, mais il y a toujours de l'eau. Cette eau vient des *acequias*, ces mini-canaux urbains qui irriguent les arbres des rues. Les *acequias* sont en eau en même temps que le canal Cacique Guaymallén, mais en tant que collecteurs des eaux urbaines, elles transportent vers le canal

principal les eaux des arrosages des jardins, les eaux des piscines vidées (il n'y a pas de système de filtre, quand l'eau est sale, on vide la piscine et on la remplit de nouveau). Qui n'a pas vu en se promenant dans les rues de Mendoza, hiver comme été, les habitants arroser leurs jardins quotidiennement, laver leurs voitures, même dans l'après-midi en été ? Les robinets des jardins coulent parfois en continu.

Quelles propositions tarifaires ?

Dans l'ensemble, OSM.SA. n'est pas opposée à l'idée d'implanter des compteurs d'eau. Au contraire, elle sait que la tarification à la consommation va limiter les gaspillages. Néanmoins, pour bon nombre d'usagers, ces compteurs sont synonymes d'eau plus chère. En pratique, il est néanmoins nécessaire d'augmenter le prix de l'eau. Les tarifs actuels ne permettent pas de financer de nouvelles infrastructures de traitement des eaux domestiques, AEP comme eaux usées. Avant la privatisation, OSM.SE. avait reçu 120 000 compteurs volumétriques financés par l'Etat. En 1993, le Gouvernement provincial avait déposé un projet de loi visant à « *favoriser le passage du tarif forfaitaire à un tarif individualisé* » (AKHMOUCH, 2004). A ce jour les compteurs non utilisés et non entretenus sont inexploitables, et le projet de loi n'a toujours pas été adopté. En effet, ce nouveau système de tarification inquiète les politiques sur le plan socio-économique. Dans un entretien accordé à Aziza AKHMOUCH en 2004, Ricardo CLAVEROL, Ingénieur à l'EPAS disait : « *Aujourd'hui, ceux qui ont le plus d'argent, sont par la même occasion ceux qui paient le plus. Inversement, une famille nombreuse, qui vit dans un petit appartement d'un quartier défavorisé ne paie presque rien. Or, si on change de système, la situation risque de s'inverser ce qui pose des problèmes en matière d'équité et d'accès à la ressource. Le pauvre risque de payer plus que le riche, puisque pour des raisons démographiques, sa consommation sera probablement plus élevée. Il y a donc un grand point d'interrogation sur les éventuels problèmes qui pourraient être occasionnés par cette loi ».* Pour Eduardo SANCHO, Ministre de l'Environnement (MAyOP) de 1991 à 1994, « *le pays est aujourd'hui en période de crise, il faut donc préserver le tarif social sans quoi nous courrons à la catastrophe sanitaire dans certains quartiers pauvres ».*

Aujourd'hui, si pour bon nombre d'Argentins la solution se trouve dans une information (campagnes de sensibilisation visant à éduquer sur une utilisation rationnelle de la ressource en eau), seuls 5 % des Mendocinos ont opté pour la facturation à la consommation, alors que tout abonné peut en bénéficier sur simple demande à OSM.SA., à la condition d'assumer le coût et l'entretien des compteurs volumétriques.

La situation d'aridité est manifeste à Mendoza. Néanmoins, jusqu'ici, les dirigeants ont toujours réussi à approvisionner les habitants, les industries et l'agriculture en eau. Le contexte avéré de réchauffement climatique en haute montagne et de la baisse du volume des glaciers devrait amener les autorités à prendre en compte le problème du gaspillage de l'eau. L'intérêt concerne évidemment la quantité puisque si l'eau est utilisée de manière plus rationnelle, il y aura moins de risque qu'elle soit coupée ; même au niveau qualitatif, cette option est une solution. Moins de quantité nécessaire signifie moins de quantité distribuée, et moins d'eau à traiter, en amont (AEP) comme en aval (assainissement). Si les besoins en eau domestique, qui, rappelons-le sont le double de la moyenne mondiale, passaient de 453l/jr/hab. à moins de 300 l/jr/hab., il n'y aurait pas de besoin si urgent de construire de nouvelles stations AEP et d'épuration des eaux usées, ou d'agrandir les actuelles qui dépassent d'ores et déjà leurs capacités maximales.

Pour OSM.SA., le meilleur moyen, ou plutôt le moyen le plus économique de limiter le gaspillage, demeure l'information de la population. AKHMOUCH (2004) soulignait la mise en place de campagnes d'informations qui ont réactivé « *à plusieurs reprises les représentations autour de la construction du territoire (eau rare, oasis artificielle, systématisation des cours d'eau…) et de « l'imaginaire régional » afin de sensibiliser les usagers à une consommation rationnelle de l'eau potable* ». A l'époque du monopole d'état, les usagers n'avaient pas de facture, ils payaient un droit à l'eau. Avec la privatisation, bien qu'OSM.SA. ait dû faire de nombreux efforts pour accepter le principe de *cuota fija* (prix fixe), les usagers ont pour la première fois reçu une facture et ont adopté le statut de client.

Ne pouvant pas légalement passer à la tarification à la consommation, OSM.SA. tente de conscientiser les abonnés. Des prospectus, des encarts publicitaires dans les journaux, leur site internet, rappellent qu'une douche peut ne durer que 8 min (au lieu des 15 min moyennes à Mendoza), qu'il n'est pas nécessaire de laisser l'eau couler en lavant sa voiture, en se lavant les dents, les mains, en se rasant, et que l'arrosage de son jardin devrait passer en moyenne d'une heure à trente minutes. Les robinets qui gouttent ou les chasses d'eau de toilettes qui coulent en continu gaspillent aussi énormément. Ainsi, alors que l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) établit une consommation quotidienne de 250 l par personne pour les conditions climatiques de Mendoza, la moyenne effective dépasse 450 l/jr/hab. Des campagnes publicitaires rappellent régulièrement que l'eau a un coût.

Dans les faits, nous pensons à titre personnel que ces campagnes sont inefficaces. Même les gens informés que nous avons rencontrés, des personnes qui travaillent dans le domaine de l'eau ou de l'environnement, avouent prendre une douche de 20 min, deux fois par jour en été. OSM.SA. précise que si chacun utilise l'eau en fonction de ses stricts besoins, la consommation serait divisée par deux. Or, les Mendocinos savent bien que les tarifs ne baisseront pas. Alors pourquoi se priveraient-ils ?

- <u>L'eau agricole et industrielle</u>

Le prix de l'eau brute distribuée aux agriculteurs et aux industriels dépend de nombreux critères, dont celui de la zone agricole dans laquelle et située l'entreprise ou l'exploitation, tenant compte du fait que l'eau est de meilleure qualité en amont qu'en aval. Les impôts décidés par les assemblées d'usagers diffèrent également d'une *Inspección de Cauce* à une autre… De même, certaines exploitations ont droit à une réduction, sans que l'origine en soit explicitée sur la facture. Il faut aussi penser que quelques industries utilisent de l'eau brute, mais rejettent leurs effluents non pas dans les canaux agricoles, mais dans le tout-à-l'égout. En effet, certaines activités industrielles sont si polluantes que les eaux ne peuvent être restituées au réseau agricole sous peine de voir les cultures situées à l'aval dépérir (industrie de l'huile d'olive par exemple). Il faut donc ajouter au prix de l'eau brute, le prix de la collecte qui sera plus élevé dans le cas d'une collecte via le réseau domestique (tout-à-l'égout) que dans le cas d'une restitution à des collecteurs agricoles. Enfin, l'infrastructure dite du Système Pescara (cf. *supra*), visant à diluer les eaux industrielles à de l'eau fossile, est en partie financée par des taxes exigées aux industriels.

De telle sorte qu'il est résolument impossible de proposer des chiffres bruts. A titre indicatif, l'irrigation d'un hectare de terre en zone agricole 1, au nord de l'agglomération, est estimée à 240 $AR annuels, soit environ 60 €.

En résumé, l'eau n'est certainement pas facturée à sa juste valeur économique et culturelle.

***

Lorsque l'on traite le thème de la pollution des eaux, deux types de solutions apparaissent : les solutions préventives et les solutions curatives. Les solutions préventives sont dans l'ensemble assez peu coûteuses. Il s'agit de limiter les pollutions en amont, en évitant de jeter les ordures, en abaissant les quantités d'intrants agricoles apportées aux plantes… Les solutions curatives quant à elles sont souvent plus techniques et coûteuses. Il nous paraissait cependant important, au sein de ce catalogue de propositions, d'insister sur des priorités en fonction des usages. Pour nous, LA priorité reste l'enterrement, ou du moins la protection totale du canal Civit, canal d'adduction d'eau crue en vue de l'AEP, qui traverse l'agglomération et les zones d'habitat précaire. Il faudrait également empêcher les industries du Parc Industriel Provincial de rejeter leurs effluents en amont du barrage de Cipolletti. Il est indispensable de protéger les usagers de l'eau de cette pollution chronique. Ce PIP possède deux drains de rejet des effluents industriels. Les deux aboutissent dans le río Mendoza, le premier en amont du barrage de Cipolletti, le second en aval de cette prise d'eau. De fait, même si l'utilisation du drain d'évacuation situé en aval du barrage n'est pas une solution environnementale, elle peut du moins s'avérer être une situation de transition, une solution à court terme. Il y a aussi des véritables solutions infrastructurelles comme l'amélioration de l'efficacité du traitement des eaux domestiques (AEP et assainissement) et industrielles par de nouvelles constructions ou l'augmentation des capacités actuelles. Certaines solutions structurelles peuvent aussi être apportées, telle une meilleure gestion de la collecte et du traitement des ordures domestiques : le remplacement des bacs privatifs de dépôt des déchets ménagers par de vrais bacs en plastiques fermés, que les chiens ne peuvent pas ouvrir, où les cafards et autres rats ne peuvent entrer, qui sont déplaçables et lavables (hygiène), permettrait de réduire les fréquences de passage des camions, générant des économies d'ensemble sur l'agglomération. Néanmoins, ces solutions, simples ou techniques, ne seront adoptées qu'à partir du moment où les usagers auront une certaine conscience de l'existence même du problème. Aujourd'hui, malgré les efforts des associations, la très grande majorité des Mendocinos ne se rend absolument pas compte de la dégradation de la qualité et de la quantité de cette ressource en eau, pourtant indispensable à la survie de l'oasis.

***

Chapitre 11 :

Une oasis en sursis ?

« Un développement durable doit répondre aux besoins du présent, sans compromettre la capacité des générations à venir de répondre aux leurs et correspond aux devoirs des générations actuelles de transmettre un monde vivable, viable et reproductible »
Rapport Brundtland des Nations Unies, 1987

Dans le contexte mondial où le concept de *Développement durable* est employé, non plus vraiment par les scientifiques, mais par la sphère civile et politique, on est amené à s'interroger sur la réalité dans l'oasis de Mendoza vis-à-vis de ce concept à la mode. La dégradation continue de l'eau en matière de quantités et de qualité pose la question de la pérennité de ce milieu anthropique, tant pour l'environnement en lui-même, que pour la société qui y vit. Ce chapitre conclusif propose donc de s'arrêter un instant sur la *durabilité* de cet espace irrigué dans les conditions actuelles et de dresser un état des lieux des orientations prises pour le futur par les autorités à l'échelle de la province, et non plus de la seule oasis du río Mendoza. En dressant un état des lieux de la qualité de l'eau de cette oasis, nous avons tenté de ne pas tomber dans le catastrophisme, mais il reste difficile d'être optimiste. Le problème de la qualité est avant tout structurel : la superposition des autorités en matière d'eau, l'absence de contrôles et de pression sur les « pollueurs » sont au moins aussi prioritaires que les questions infrastructurelles comme la couverture de certains canaux, notamment le canal Civit.

L'évaluation de la *durabilité* de l'oasis que nous proposons dans ce Chapitre 11 n'est valable que si aucune action n'est prise au sein même de l'oasis du río Mendoza. Il demeure évident que si les propositions faites dans le Chapitre 10 sont prises en compte, la réalité future ne sera pas celle que nous tentons d'esquisser ici.

11-1- Une durabilité comptée

La durabilité est un dérivé francisé de *sustainability*, vocable utilisé dans le cadre du concept de développement durable. Sans entrer dans les détails de cette notion très vaste largement définie et utilisée par les scientifiques (géographes et autres) et les associations de protection de l'environnement, nous préciserons la manière dont nous définissons le terme de

durabilité. Afin d'estimer la durabilité de l'oasis de Mendoza, nous allons tenter d'esquisser son « cycle de vie », en comparaison avec les autres oasis de la province.

11-1-1- La notion de durabilité

Le concept de développement durable est né dans les années 1980. Le rapport conjoint du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE), de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) et la World Wildlife Fundation (WWF), intitulé *La Stratégie Mondiale de la Conservation* introduit pour la première fois le concept de *sustainable development* dans un texte officiel de politique environnementale. Le concept de *sustainable developement*, traduit en français par développement durable ne fut défini qu'en 1987 par le rapport *Notre avenir à tous*, plus connu sous le nom de Rapport Brundtland, et cette définition fut officialisée en 1992, lors du second Sommet de la Terre à Rio de Janeiro. Le terme de *soutenable* en français n'existait alors que sous le sens de « *qui peut être supporté, enduré* » (Petit Larousse, 1992). La question de la durée n'est donc pas réellement comprise dans cette définition. De fait, c'est le terme de *durable* qui sera choisi pour traduire *sustainable*. Or, la question du temps est indispensable dans les politiques de gestion de la ressource en eau. Aussi, pour exprimer nos inquiétudes quant au futur de l'oasis, nous aurions pu utiliser le terme de *pérennité*, et non de *durabilité*. Cependant, à nos yeux, la *durabilité*, parce que c'est un terme contemporain du concept de développement durable (*durabilité* n'existe pas dans le *Petit Larousse* de 1992), nous paraît plus adéquat. En effet, un *développement durable* prend en compte les sphères environnementales, économiques et socio-politiques ; de fait, cette prise en compte des réalités sociales, économiques, et donc politiques, nous paraît indispensable pour définir le futur de l'oasis.

11-1-2- La théorie du cycle de vie des oasis

La théorie du cycle de vie du produit est un outil d'interprétation et d'analyse couramment usité dans le domaine commercial, afin d'évaluer la place d'un produit sur un marché. Cette théorie[77] a été employée par PESME (2004) pour qualifier le tourisme des îles de la Caraïbe. Cette adaptation d'un outil commercial à une réalité géographique peut-elle s'appliquer pour les oasis ?

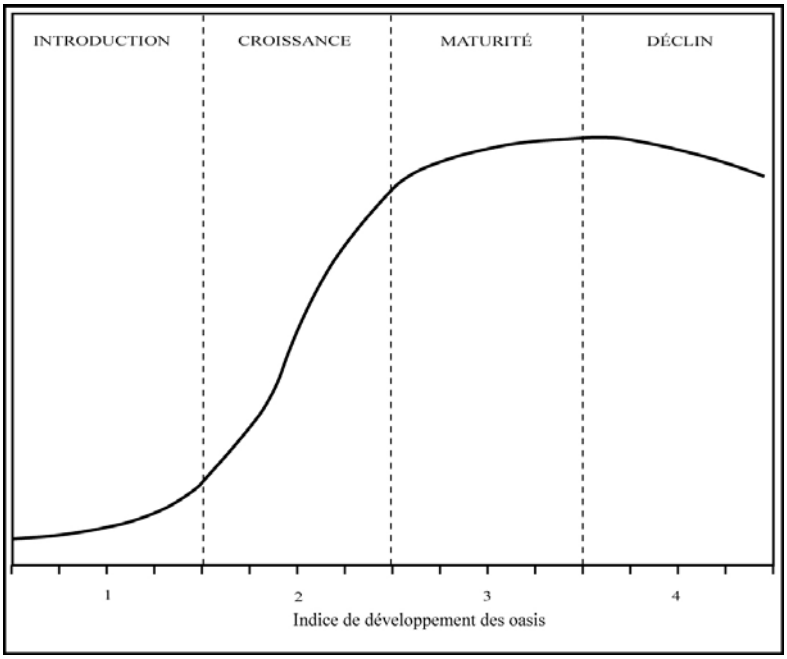
- **Le cycle de vie du produit**

Cet outil commercial cherche donc à situer un produit en fonction de la réalité commerciale du moment. D'allure convexo-concave, la courbe rappelle celle de la transition démographique ou de la transition urbaine, avec quatre phases distinctes **(Graph. 27)**.

D'abord, le produit est **introduit** (1) sur le marché, il amorce son cycle de vie. La progression est lente, voire stagnante au départ. Lorsqu'il commence à être connu, il peut

[77] : Les travaux de J-O. PESME sont relativement inspirés de l'ensemble des travaux de J-M. MIOSSEC, de l'Université de Montpellier sur les régions touristiques. Dans l'ensemble, cette théorie du cycle de vie des lieux touristiques est remise en question par de nombreux géographes qui travaillent sur le tourisme (Isabelle SACAREAU, MCF La Rochelle, communication personnelle) puisqu'applicable sur des sites relativement imperméables entre eux. Mendoza étant une oasis fonctionnant en circuit assez fermé sur le plan à la fois physique et administratif, nous pensons que cet essai peut être une première étape dans l'évaluation méthodologique de la durabilité.

avoir la chance de se développer et de connaître une période de **croissance** (2), plus ou moins forte selon le produit, la manière dont il est commercialisé (publicité, prix, concurrence…). Lorsqu'il commence à être bien développé, la croissance ralentit, puis stagne, c'est la période de **maturité** (3). Le produit est bien connu, bien installé. Puis vient la dernière partie du cycle de vie, le **déclin** (4), lorsque le produit passe de mode ou est supplanté par un nouveau, moins cher, plus technique ou mieux adapté. La courbe entame une baisse et seule une prise en main commerciale (baisse du prix, nouvelle publicité, changement de nom (Raiders© devient Twix©), nouveau slogan…) permettra un sursis, voire un sursaut.



Graph. 27 : La théorie du cycle de vie du produit

PESME (2004) a tenté de reprendre cette théorie et propose un cycle de vie des îles touristiques. En prenant comme critère celui de la fréquentation touristique, il proposa une typologie des îles tropicales de la Caraïbe, distinguant celles comme Cuba[78] en phase d'introduction, de celles comme Saint-Martin, autrefois île touristique de masse et en apparent déclin au moment de l'étude. Malgré des biais de méthodologie cités par l'auteur comme le choix du critère (fréquentation touristique) alors que certaines îles se sont fixé des quotas, cette adaptation d'une théorie économique à une réalité géographique est un excellent exemple d'utilisation des disciplines voisines, dans une recherche en géographie.

- **Adaptation au produit « oasis »**

Si l'on regarde les oasis à l'échelle mondiale, il apparaît que comme d'autres espaces, elles évoluent, grandissent, rétrécissent en fonction des arrivées d'eau (Aguanaval, Mexique (GONZALEZ BARRIOS, *et al*., 2002 ; ORONA CASTILLO *et al*., 2002)), des réalités économiques (oasis ouzbeks de la plaine de l'Aral (CARIOU, 2004)), ou de la pollution (oasis Sahariennes (LEJOT et CALLOT, 2005 ; BARATHON, *et al*., 2005)). Certaines sont abandonnées tandis qu'on en dessine de nouvelles. La question qui se pose alors est de savoir si l'oasis du río Mendoza ne suit pas la même tendance. En effet, la pollution de plus en plus lourde d'une ressource quantitative limitée, interroge sur l'avenir de l'oasis. Par ailleurs, les

[78] : Au début des années 1990, les frontières cubaines étaient moins ouvertes au tourisme.

autres oasis de la province suivent des chemins différents sur leur organisation amont-aval, ou disposent d'autres ressources, etc.

Peut-on alors proposer une typologie de la durabilité des oasis de Mendoza à partir de la théorie du cycle de vie du produit ?

11-1-3- La durabilité des oasis de Mendoza

Afin de situer un produit sur une *courbe de vie*, il faut travailler ***l'indice de développement des oasis***, à partir de critères les plus objectifs possibles.

Le premier critère que nous avons choisi est celui de l'**expansion spatiale**. On considère que plus l'oasis se développe, plus elle grandit. La taille implique de fait une plus grande mise en valeur des terres, un marché agricole plus vaste et plus à même de répondre aux besoins de la population locale (produits frais), voire nationale (approvisionnement des industries agro-alimentaires) ou internationale (agriculture d'exportation (coton ouzbek, vin mendocino)). Mais au-delà d'un certain seuil, l'offre hydrique ne répond plus aux besoins de l'oasis et la surface doit alors diminuer (Aguanaval, Mexique). L'oasis peut alors passer par une période de déclin avant de repartir en croissance. Le critère n°1, sera donc un ratio : offre hydrique superficielle et souterraine (en hm^3/an) sur la surface à irriguer (en km²).

Le second critère est celui de l'**adéquation entre l'offre en eau et les besoins domestiques**. Nous estimons que la densification et l'urbanisation des oasis, notamment lorsque les agglomérations sont situées en amont des espaces agricoles irrigués, sont un frein au développement des oasis. L'impact domestique est lourd, tant sur le plan quantitatif puisqu'il prive en partie les zones agricoles d'eau, que sur le plan qualitatif puisque la ville produit des déchets solides et liquides qui polluent les eaux destinées à l'irrigation des domaines agricoles. Le critère n° 2 sera donc un ratio : offre hydrique (en hm^3/an) sur la densité (en hab./km²).

Le troisième critère sera purement qualitatif. Il s'agit de la **pression polluante des industries**. La pression agricole sur la ressource est induite dans le critère 1, la pression domestique sur le critère 2, le critère 3 sera donc celui de l'industrie. Afin d'évaluer la charge polluante des industries présentes dans les oasis, nous avons choisi le ratio : nombre d'industries polluantes (recensées comme polluantes par les autorités à Mendoza) par km² irrigué. Malheureusement, cet indice est biaisé car une seule entreprise peut polluer comme trois autres selon son activité et l'impact des éléments qu'elle rejette dans le milieu. Néanmoins, c'est une première proposition qui méritera d'être affinée.

Enfin, le **potentiel économique d'une oasis** permet d'évaluer son indice de développement. En effet, une oasis riche pourra mettre en place plus facilement des mesures de protection de l'environnement (stations d'épuration, industries aux normes, etc.). Le critère n° 4 sera donc la production de richesse locale en fonction du nombre d'habitants : PGB (*producto geográfico bruto*, équivalent du Produit Intérieur Brut)/hab./an en milliers de $AR.

Chaque critère donne un chiffre relatif, auquel nous avons attribué une note décroissante, à partir d'une discrétisation par égales amplitudes **(Tab. 18)**.

	Minimum de l'effectif	**Maximum de l'effectif**	**Classe 1 : note 4**	**Classe 2 : note 3**	**Classe 3 : note 2**	**Classe 4 : note 1**
Critère 1 : **Expansion spatiale** Offre hydrique/surf. irriguée (hm^3/km^2)	0,4	1,5	[0 ; 0,5[	[0,5 ; 1[	[1 ; 1,5[	[1,5 ; 2]
Critère 2 : **Adéquation offre/besoins** Offre hydrique/densité (hm^3/hab./km²)	1,9	16,3	[0 ; 5[	[5 ; 10[	[10 ; 15[	[5 ; 20]
Critère 3 : **Pression polluante industrielle** Nombre d'industries polluantes /surface irriguée (nombre/km²)	0,005	0,37	[0 ; 0,1[	[0,1 ; 0,2[	[0,2 ; 0,3[	[0,3 ; 0,4]
Critère 4 : **Potentiel économique** PGB/habitant (milliers de $AR/hab./an)	3,95	11,32	[0 ; 3[	[3 ; 6[	[6 ; 9[	[9 ; 12]

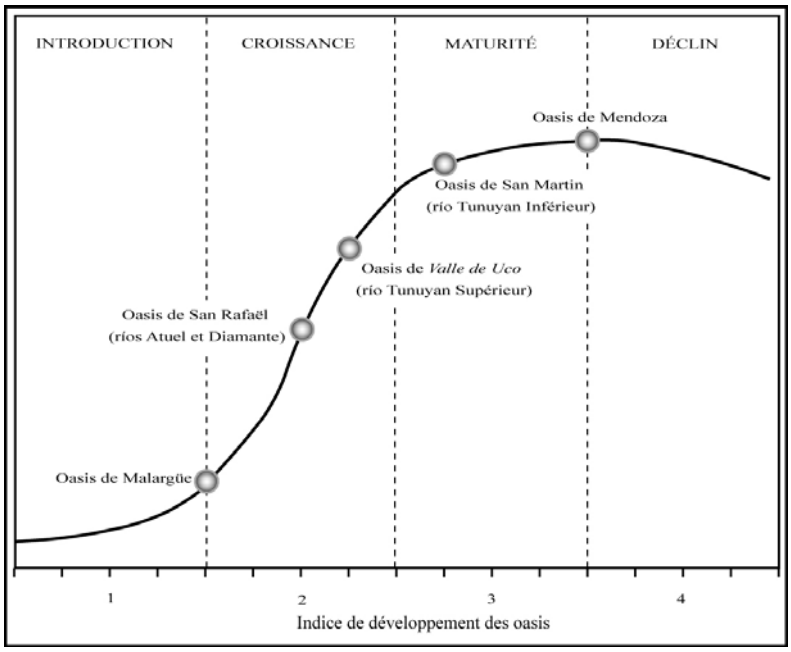
Tab. 18 : Critères de détermination d'un indice de développement des oasis

En faisant la moyenne des valeurs de chaque note, nous avons déterminé un **indice de développement des oasis**, le minimum possible étant 1, le maximum 4. Comme cela est visible sur le **Graph. 28**, nous considérons que 1 est le cœur de la phase d'introduction (le 0 correspondrait à la phase de création de l'oasis, sa construction), le 4 celui de la phase de déclin. En conséquence :

- l'introduction va de 0,5, période de balbutiements, à 1,5 ;
- les oasis situées entre 1,5 et 2,5 sont en période de croissance ;
- la maturité est atteinte entre 2,5 et 3,5 ;
- avant que ne commence la période de déclin.

Cette méthodologie est nouvelle pour les oasis ; elle n'a pas été testée sur d'autres critères que ceux présentés. Nous avons choisi ces critères parce que nous disposions de données sur les oasis de Mendoza. Mais la méthode mérite d'être grandement affinée avant d'être applicable à toutes les oasis, notamment dans la partie qualitative, puisque le problème le plus important de ces espaces irrigués en milieu aride, la salinisation des sols, n'est pas pris en compte, de même que la situation amont-aval de l'agglomération, des industries et des zones agricoles.

Ainsi, cette méthode qui n'est pas une fin en soi, permet d'évaluer la durabilité des oasis de la province de Mendoza, à défaut d'un travail à plus grande échelle (oasis du Cuyo, oasis du Nouveau Monde, oasis du Sud, toutes les oasis). Elle permet surtout de prendre en compte la situation dans laquelle se trouve l'oasis du río Mendoza par rapport aux autres oasis provinciales, et sa durabilité.



Graph. 28 : Courbe présentant le cycle de vie théorique des oasis en fonction de l'« indice de développement »

11-2- « *L'avenir est dans le Sud* »

Le problème de l'absence de certitude quant à l'avenir des glaciers et des neiges persistantes, soumis au réchauffement climatique, ne concerne pas que le BV du río Mendoza. L'abaissement des débits à long terme pose des questions sur l'avenir des oasis du Cuyo en particulier, et de toutes les oasis de piémont en général. De fait, les autorités cherchent à tous prix à trouver d'autres ressources, de manière à retarder l'inévitable, la fin de l'irrigation. Les dernières hypothèses parues dans les journaux parlent d'une augmentation des pluies à court terme sur la plaine aride. Mais cela suffira-t-il à alimenter en eau un espace vaste de 1 156 km², accueillant un million d'usagers ? Les Mendocinos ont privilégié une solution visant à trouver d'autres ressources plutôt que de réévaluer leur demande en eau. De nouvelles oasis sont prévues dans le Sud de la province, dans le but de tripler la capacité hydro-électrique et multiplier par 50 % la surface irriguée. **Mais, il ne faut pas voir dans cette réaction un aveuglement primaire des autorités**. Si la faiblesse des ressources est effectivement mal évaluée par les habitants, les autorités ont néanmoins conscience du problème. De fait, ce désir du Gouvernement et du DGI de développer les oasis du Sud de la province n'est-il pas en soi un indice sur la santé de l'oasis du río Mendoza ? Lors du colloque « *Actualización en riego y fertiriego* » qui s'est tenu en août 2006 à Mendoza, Nicolas HERNANDEZ, Ingénieur hydrogéologue de l'INA, qui présentait les résultats d'une étude sur les aquifères de la province, a conclu : « *l'avenir est dans le Sud* », plus arrosé et pour le moment moins anthropisé. En effet, si le constat sur le réchauffement climatique est commun à toutes les oasis, elles n'ont pas toutes suivi le même développement, ne sont pas toutes construites sur le même modèle, et ne paraissent donc pas toutes soumises au même futur.

Le **Graph. 28** présente les résultats de la méthodologie évoquée ci-avant, appliqués aux oasis de Mendoza. Il s'avère qu'avec une moyenne de 3,5, l'oasis du río Mendoza a atteint le stade de la maturité. Elle connaît un développement ralenti ces dernières années,

illustré notamment par la fin de l'expansion spatiale des terres, la densification du centre urbain et la croissance des industries. La croissance des usages agricoles, domestiques et industriels sur un espace réduit entraîne une charge polluante importante pour le milieu. Le problème est que l'oasis du río Mendoza semble entrer en période de déclin.

Avec une note de 2,75, l'oasis du río Tunuyán inférieur **(Fig. 70)** vient à son tour d'entrer en phase de maturité. Cette oasis, très saline par sa position en aval, subit de graves problèmes de qualité de la ressource. De plus, située en aval d'une autre oasis (celle de Valle de Uco), elle subit la pression anthropique exercée sur le río Tunuyán et dispose de moins d'eau qu'il y a une dizaine d'années, quand le *Valle de Uco* n'était pas aussi développé. Le salut de l'oasis du Tunuyán Inférieur, dite de San Martín, n'est dû qu'à la faiblesse de sa densité (156 hab./km² contre 881 à Mendoza (2000 dans le centre-ville)), avec des petites villes semi-rurales comme San Martín, Rivadavia ou Junín.

Plus en arrière sur la courbe, on trouve l'oasis de *Valle de Uco*. Cette oasis n'est pas récente, mais elle a connu un développement fulgurant en une dizaine d'années, notamment depuis que la crise économique *de los 2000* a fait chuter les prix des terrains, permettant un investissement des étrangers, en particulier Nord-Américains et Européens (Français, Espagnols, Italiens). Avec une note de 2,25, elle est en pleine période de croissance. C'est sans conteste, et en toute subjectivité, que l'on peut dire que c'est la plus belle des oasis mendocinas. Au pied du Cordón del Plata et du Tupungato, deux monts andins, elle s'étale en éventail vers la ville de Tunuyán et tient son originalité du fait que les zones agricoles sont installées en amont de la zone urbaine **(Fig. 70)**.

La deuxième oasis de la province, en termes de nombre d'habitants est pourtant la moins avancée des grandes oasis. Juste avant la petite oasis de Malargüe sur la courbe de développement des oasis, il apparaît que l'oasis Sud (San Rafaël et Général Alvear) est celle qui a le plus fort potentiel de développement, avec seulement la note de 2. Cette oasis, bien que peuplée de seulement 217 000 habitants, est celle qui a le plus d'eau disponible par rapport à la surface et à la densité. Approvisionnée par deux rivières, le río Atuel et le río Diamante, cette oasis dispose de près de 9 fois plus d'eau par habitant et par km² que l'oasis de Mendoza.

Enfin, l'oasis de Malargüe, la seule petite oasis de montagne pour laquelle nous ayons des données disponibles[79], amorce une très récente croissance, due notamment à l'industrie pétrolifère et au tourisme hivernal (station de ski internationale de Las Leñas) et estival (lagune de Llancanelo, stations thermales de montagne, etc.), auxquels il faut ajouter le Centre d'Observation des Rayons Cosmiques Pierre Auger. La récente élection de l'ancien intendant malargüino[80], Celso JAQUE, comme Gouverneur de la province de Mendoza, devrait donner une impulsion à cette oasis.

Somme toute, si la méthodologie proposée comporte des biais, le résultat correspond parfaitement à l'idée subjective que nous nous étions faite du développement et du futur de ces oasis. Nous considérons donc que si ce travail n'est pas applicable à d'autres espaces, il reste convenable en termes de résultats.

[79] : Les données pour l'oasis d'Uspallata sont intégrées à celles du río Mendoza. Il n'y a pas de données pour les autres oasis de montagne.
[80] : Habitant de Malargüe.

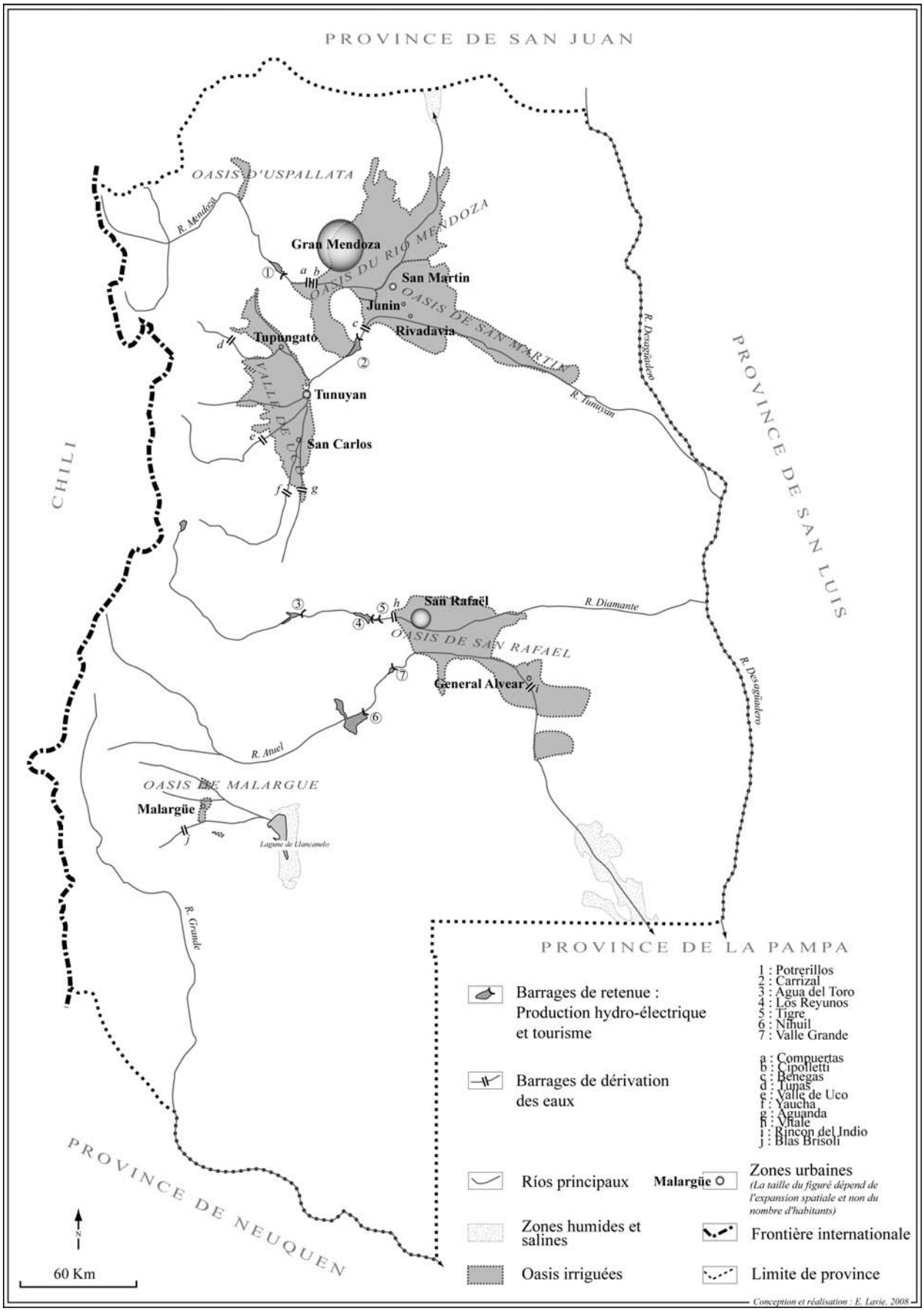


Fig. 70 : Les oasis de la province de Mendoza
Source : d'après Lavie, 2007b, *modifié*

11-2-1- Mendoza et Tunuyán inférieur, un sursaut est nécessaire

Lors de nos entretiens passés avec des usagers de la ressource en eau, nous avions conclu que la population semblait faire confiance aux autorités dans la gestion de l'eau, tout en regrettant qu'il n'y en ait pas assez. Dans l'ensemble, les Mendocinos pensent qu'il y a assez d'eau, et qu'elle est simplement mal répartie. A l'exception du collecteur Pescara et des macro-déchets dans les *zanjones* et les *acequias*, la population considère le réseau hydrographique mendocino comme de bonne qualité hydrique. Les réponses sont très différentes lorsque l'on interroge les scientifiques. L'appel est unanime : dans les conditions actuelles d'utilisation de la ressource en eau, l'oasis est condamnée. Cette auto-destruction paraît catastrophique en soi pour une agglomération millionnaire dotée d'une agriculture de renommée mondiale et d'une industrie de pointe ; mais Mendoza a déjà au cours de son histoire été reconstruite après destructions. On se rappellera la destruction de la cité espagnole en 1561 par débordement des eaux du canal Cacique Guaymallén, le tremblement de terre de 1861 qui détruisit entièrement la ville, celui de 1920, ou encore celui de 1985, qui a détruit deux cent cinquante habitations, pour les plus importants en termes de dégâts. Il n'est pas ici question de résumer l'intégralité de la thèse, mais plutôt de prendre conscience que sans une action urgente et une limitation des prélèvements, l'oasis va décliner. C'est la plus précaire des oasis mendocinas, celle de l'exemple à ne pas suivre en termes de gestion de la qualité des eaux. Néanmoins, elle reste l'exemple du développement d'une oasis à vocation commerciale au cœur d'un désert aride du Nouveau Monde. Bien que la pression anthropique y soit très forte, elle peut compter sur le relais des autres oasis provinciales, et renaître sous une autre forme, plus au Sud.

Mendoza s'est reconstruite plusieurs fois, elle peut connaître un sursaut, mais **dans les conditions actuelles de gestion de la ressource qualitative et quantitative, elle ne peut que décliner.**

Construite sur le même modèle que Mendoza, l'oasis de San Martín (Tunuyán Inférieur) connaît les mêmes problèmes, d'abord au niveau qualitatif, par une salinisation effrénée des sols ; mais aussi sur le plan quantitatif avec une attribution des eaux de l'amont par certains agriculteurs de l'oasis du Tunuyán Supérieur. Or, si dans le *Valle de Uco* (Tunuyán Supérieur), la nappe phréatique profonde est protégée, ce n'est pas le cas à San Martín où elle affleure, chargée en sels minéraux. Les valeurs de conductivités mesurées dans la nappe phréatique à San Martín sont les plus hautes de la province. Le conflit amont-aval est malheureusement déséquilibré, puisque les San Martininos[81] sont les plus pauvres. On y produit beaucoup plus de raisin que dans les autres oasis, mais il s'agit de produits de moindre qualité, réservés aux vins à bas prix ou au raisin de table, de jus de fruits, etc., tandis qu'en *Valle de Uco* la production est plus limitée, mais de très bonne qualité, avec des investisseurs étrangers qui pèsent beaucoup dans la balance commerciale. San Martín est restée une petite ville, un pôle rural qui évite à la population d'aller jusqu'à Mendoza, à une demi-heure de voiture (la route est le moyen de communication par excellence en Argentine). L'oasis du Tunuyán inférieur ne produit que 2 % du total provincial en termes d'hydro-électricité et n'est qu'à la troisième place en ce qui concerne la production de pétrole, après Malargüe et Mendoza, toujours en troisième place dans la production de richesse, en total du PIB, et en PIB/hab. L'oasis subit, avec une vingtaine d'années de retard, les mêmes symptômes que Mendoza : gestion des conflits entre usagers, question du traitement des eaux potables et usées domestiques, gestion des macro-déchets…, tout en ne disposant pas intégralement de l'eau de son unique tributaire, le río Tunuyán.

[81] : Habitants de San Martín

11-2-2- *Valle de Uco*, un avenir agricole et viticole

Sans le savoir, la population a anticipé le déclin de l'oasis du río Mendoza par la création et/ou la valorisation d'autres espaces irrigués. La renaissance de l'oasis de *Valle de Uco* en est un parfait exemple. Cette vallée dépressionnaire, enserrée entre la Cordillère frontale à l'ouest et des reliefs de piémont à l'est (il n'y a pas de Précordillère à ce niveau), est drainée par les ríos de las Tunas, Tupungato, Tunuyán et Yaucha, formant un éventail qui converge vers le bourg de Tunuyán. L'avantage de cette oasis, par rapport à celles de Mendoza, de San Martín (río Tunuyán inférieur), de San Rafaël (Diamante et Atuel) et de Malargüe, est qu'elle est située **en amont de l'agglomération**. Sur les cônes de déjection des ríos pré-cités, une oasis a vu le jour il y a maintenant quelques siècles. Mais l'éloignement du centre commercial de Mendoza, la profondeur de la nappe phréatique (250 m au minimum), les fortes gelées hivernales (l'oasis est à près de 1500 m d'altitude), n'ont pas permis une croissance forte. Or, depuis la crise *de los 2000*, les investisseurs étrangers ont « colonisé » ces espaces irrigables très bon marché, créant une nouvelle oasis moderne, l'agrandissant vers l'ouest (piémont), avec des *bodegas* flambant neuves, organisées pour le tourisme vitivinicole. Elle possède deux secteurs majoritaires de domaines de grande taille : les vignes et le *corredor productivo* (couloir de production) pour les fruits. Les petites propriétés survivent tant bien que mal[82]. En ce qui concerne les cultures, le *Valle de Uco* produit surtout des pommes, des cerises et de la pomme de terre.

L'oasis du río Tunuyán supérieur, dite du *Valle de Uco*, est protégée des pollutions de la ville et des industries, par sa situation en amont de toute autre activité anthropique. Les usines de mise en conserve des fruits sont même implantées dans le bourg de Tunuyán, en aval de l'oasis. Seules les *bodegas* parsemées dans l'espace irrigué, sur le modèle des châteaux du Bordelais (un domaine = un château + une appellation d'origine) sont un signe de pression polluante. Or, les investisseurs étrangers (notamment nord-américains, Français, Espagnols et Italiens) ont les moyens de construire des stations de traitement de leurs effluents, limitant la charge polluante sur les cours d'eau et les aquifères. De fait, avec des marques qui rappellent les châteaux et une appellation « *Valle de Uco* » qui ne précise qu'une situation géographique (unique à Mendoza), le consommateur est rassuré sur l'origine du vin. Comme, de plus, les propriétaires des *fincas* et des *bodegas* ont généralement un réseau commercial dans leur pays d'origine, la majorité de ces vins est exportée, permettant une nouvelle entrée de devises et un développement de l'oasis.

11-2-3- San Rafael, future agglomération mendocina

L'oasis dite Sud, correspond aux oasis mitoyennes de San Rafaël et de General Alvear. Elle est appelée oasis de San Rafaël par la population, du nom de la ville de San Rafaël, second pôle urbain de la province, quatrième du Cuyo (après le *Gran Mendoza*, San Juan et San Luis) et est drainée par les ríos Diamante et Atuel, deux cours d'eau d'origine andine et de direction ouest-est **(Fig. 70)**. San Rafaël s'est d'abord construite sur la route du piémont andin argentin reliant Potosi à la Terre de Feu. Elle est située à mi-chemin entre Mendoza et Neuquén, capitale de la province du même nom, au sud de Mendoza, et servait donc d'étape-relais entre ces deux villes. La présence des ríos Atuel et Diamante, formant une courbe qui les rapproche, a permis la création puis le développement d'une oasis. Ces cours d'eau n'ont pas autant de débit que le río Mendoza (37 m^3/s pour le Diamante, 35 m^3/s pour l'Atuel (51 m^3/s pour le Mendoza)). Mais l'addition des deux fait de San Rafaël l'oasis qui

[82] : Ces *minifundios* du *Valle de Uco* font l'objet de la thèse d'Emilie STARCK, en cours.

dispose de la plus grande quantité d'eau de cette province, soit 2 273 hm^3 annuels (moyenne 1931-1991, DGI, 1997). San Rafaël produit du vin, notamment du vin blanc – ce qui lui donne son originalité par rapport aux autres oasis du Cuyo – et des fruits à pépins (pommes et tomates). Parmi les fruits à noyaux, seuls les pêchers et les pruniers sont produits. Il existe de nombreuses *bodegas* à San Rafaël, qui participent comme les oasis du Tunuyán et de Mendoza, à la production de vin mendocino. Autre originalité de San Rafaël : l'élevage. Cette activité qui a décliné et disparu des oasis Nord et Centre, est restée dominante dans le Sud, avec quelques ovins, mais surtout des bovins et des caprins (SALOMON, 2007). De grandes propriétés extensives se sont développées à San Rafaël et General Alvear. Mais cette oasis est différente des autres. D'abord parce qu'elle dispose d'assez peu d'industries par rapport aux oasis Centre et Nord et présente ainsi une charge polluante moindre ; mais aussi parce qu'elle produit bien plus d'énergie qu'elle n'en consomme. A eux deux, les ríos Diamante et Atuel produisent 50 % du total provincial d'hydro-électricité. Les cours d'eau, dans leur partie andine, sont encaissés dans des gorges permettant une installation facilitée de barrages. Ainsi le río Diamante dispose-t-il de trois barrages de haute montagne (Agua del Toro, Los Reyunos et El Tigre), et de trois centrales hydro-électriques des mêmes noms **(Fig. 70)**. Le río Atuel possède quant à lui un système particulier, avec deux grands barrages (el Nihuil et Valle grande), et quatre centrales hydro-électriques (Nihuil I, II, III et IV) **(Fig. 71)** (SALOMON, 2007 et LAVIE, 2007b). Le seul département de San Rafaël produit donc bien plus d'énergie que nécessaire pour cette cité de 217 000 habitants. Il distribue une grande partie de cette électricité au *Gran Mendoza*, et participe au réseau interconnecté national de production-distribution d'électricité, puisque contrairement à la gestion de l'eau, la gestion de l'énergie n'est pas provincialisée. Les Andes produisent ainsi de l'énergie pour tout le pays car seules deux centrales nucléaires sont actuellement en activité (plus une en restructuration).

Il est fort à parier que si ***Valle de Uco* prend le relais agricole des oasis Nord**, l'oasis de **San Rafaël devrait devenir l'agglomération future** de la province mendocina, parce que les débits en eau sont suffisants par rapport au nombre d'habitants. Cette oasis est relativement récente, contrairement à Mendoza, et elle ne subit pas le problème de la maintenance d'un réseau vieillissant. L'oasis de General Alvear n'est même née qu'en 1950, avec l'édification du barrage du Rincón del Indio, permettant la dérivation des eaux du río Atuel.

Mais la disponibilité de la ressource par rapport aux autres oasis du Cuyo ne doit pas faire oublier que San Rafaël est située en milieu aride, où l'évaporation est forte, et où la moindre surexploitation de la ressource peut provoquer des dégâts irréversibles (oasis de Mendoza, oasis du Sahara). San Rafaël se doit de gérer au mieux sa ressource à court terme, de manière à limiter des conflits d'usage inévitables, notamment avec le développement du tourisme dans la région. Il faut savoir que pour accéder aux stations de ski de Malargüe (Las Leñas), aux paysages andins (*valle*[83] Hermoso, *valle* del Salado, *valle* del río Grande) ou du piémont (Lagune de Llancanelo), il faut passer par San Rafaël. En outre, le département lui-même dispose de ressources touristiques comme les vallées des ríos Diamante ou Atuel, notamment dans le Canyon del Atuel, en aval du barrage Valle Grande, où l'on pratique les sports d'eau (rafting, nage en eau vive). Les conflits d'usage pré-cités pour le BV du río Mendoza entre les gestionnaires des barrages et les agences de tourisme quant à la présence d'eau dans les lits naturels des ríos, sont les mêmes ici à San Rafaël (SALOMON, 2007).

En résumé, San Rafaël a tout pour devenir la prochaine Mendoza ; mais sans apprendre des erreurs de sa consœur, elle subira le même sort.

[83] : *Valle* = vallée

11-2-4- De petites oasis en devenir

Par manque de données, nous nous attacherons surtout à l'exemple de Malargüe. Avec ses quelques 690 km² irrigués, elle est de loin la plus petite des oasis de Mendoza. Elle est aussi particulière. C'est d'abord une oasis de montagne enserrée dans la Cordillère des Andes, née de la dérivation des eaux du río Malargüe et de quelques affluents. En réalité, ce sont plusieurs petits espaces irrigués, voués à l'horticulture, notamment la pomme de terre. Mais le sursaut et l'entrée en stade de croissance de l'oasis de Malargüe sont avant tout dus à deux choses : d'une part, à la présence du « *Centre d'Observation des Rayons Cosmiques Pierre Auger qui est régulièrement fréquenté par 250 scientifiques internationaux de 20 pays différents (...) cet apport économique est très important pour la région car ce personnel dispose d'un pouvoir d'achat élevé* » ; d'autre part, *« à partir de 1970, la confirmation de traces d'hydrocarbures dans la dépression de Los Huarpes (...) et sur le piémont proprement dit aboutit à une véritable ruée générée par les emplois offerts par la mise en valeur. La proche localité de Malargüe a vu sa population multipliée : elle a atteint 25 000 habitants en 2006* » (SALOMON, 2007).

D'autres petites oasis se sont dessinées dans les Andes : la vallée de Calingasta au nord de Potrerillos, ou la vallée d'Uspallata dans le BV du río Mendoza, en sont deux exemples. Il est difficile d'y trouver des données, mais avec l'abaissement de la qualité des terres et des eaux des oasis du piémont, ces oasis de montagne, qui bénéficient de plus de quelques pluies directes, pourraient bien se développer.

Dans l'état actuel des choses, si *Valle de Uco* devient la meilleure cave à vin de Mendoza, que San Rafaël devient le centre urbain, horticole et fruticole, que les petites oasis de montagne prennent un certain relais, il n'en reste pas moins qu'il est impossible d'accueillir toute la population des oasis Nord dans les seuls départements de San Rafaël et General Alvear. Puisque limiter les besoins ne semble pas être la solution trouvée par les autorités, il est urgent de trouver d'autres ressources, afin d'alimenter les zones agricoles, les centres urbains et les industries, notamment pétrolifères et agro-alimentaires.

Cette eau, le Gouvernement de Mendoza ira la chercher encore plus au sud.

11-2-5- Un projet pharaonique pour la province

Le río Grande, à l'extrême sud de la province **(Fig. 70)**, est le cours d'eau de la province possédant le plus fort débit. Cette rivière est un affluent du río Colorado, fleuve qui a son embouchure dans la baie de Bahia Blanca, à la limite entre la Pampa humide et la Patagonie. Le río Grande a un débit de 107 m^3/s pour une longueur de 275 km avant sa confluence avec le Colorado. Sa direction sud-sud-est l'éloigne des terres cultivables du Nord et Nord-Est de Mendoza et sa ressource n'a pas pour le moment véritablement été mise à profit. Pourtant avec son débit trois fois plus important que ceux des ríos Atuel et Diamante et deux fois plus volumineux que celui du río Mendoza, et son dénivelé de près de 3800 m entre sa source et sa confluence, le cours d'eau offre des grandes possibilités d'exploitation. De plus, les conditions topographiques et géologiques (de nombreuses gorges) sont favorables à l'installation de barrages.

Le projet « *Mise à profit intégrale du Río Grande* » **(Fig. 71)**, entériné par les dirigeants provinciaux et nationaux, vise à augmenter la surface irriguée de la province de 80 000 hectares. La finalité est ainsi principalement agro-forestière, mais pas uniquement. En

effet, le projet pourrait doubler la capacité hydro-électrique de la province. La première étape du projet consiste en la construction de cinq barrages, depuis le Valle Hermoso, jusqu'au site de Bardas Blancas **(Fig. 71)**. Le débit de la rivière une fois régulé, il sera possible de construire des Centrales hydro-électriques (au nombre de cinq), permettant de multiplier par 217 % la capacité de production hydro-électrique de la province. Par ailleurs, la finalité du projet n'est pas qu'hydro-électrique. En effet, deux canaux de dérivation des eaux sont prévus. Le premier, en amont du système, déviera les eaux depuis la retenue de La Estrechura, vers le río Salado, affluent du río Atuel. A ce niveau, se trouve la station de ski de renommée internationale Las Leñas, qui a bien besoin d'eau pour l'alimentation en eau potable des touristes, mais peut-être aussi à terme pour les canons à neige lorsque le réchauffement climatique s'accélèrera. Une seconde dérivation transportera les eaux de la retenue de Bardas Blancas, vers le río Atuel. Cette double arrivée d'eau dans le BV du río Atuel permettra d'une part d'augmenter la production hydro-électrique de ce système Atuel-Nihuil par l'augmentation des débits de la rivière, et d'autre part de développer le périmètre irrigué en aval, notamment de l'oasis de San Rafaël. Au total, la superficie irriguée de la province devrait augmenter de 50 %. Nous pouvons également noter que la dérivation des eaux du río Grande vers les oasis de Malargüe et de San Rafaël, vise également à augmenter la ressource en eau potable et industrielle de ces deux pôles urbains en grand devenir, notamment San Rafaël.

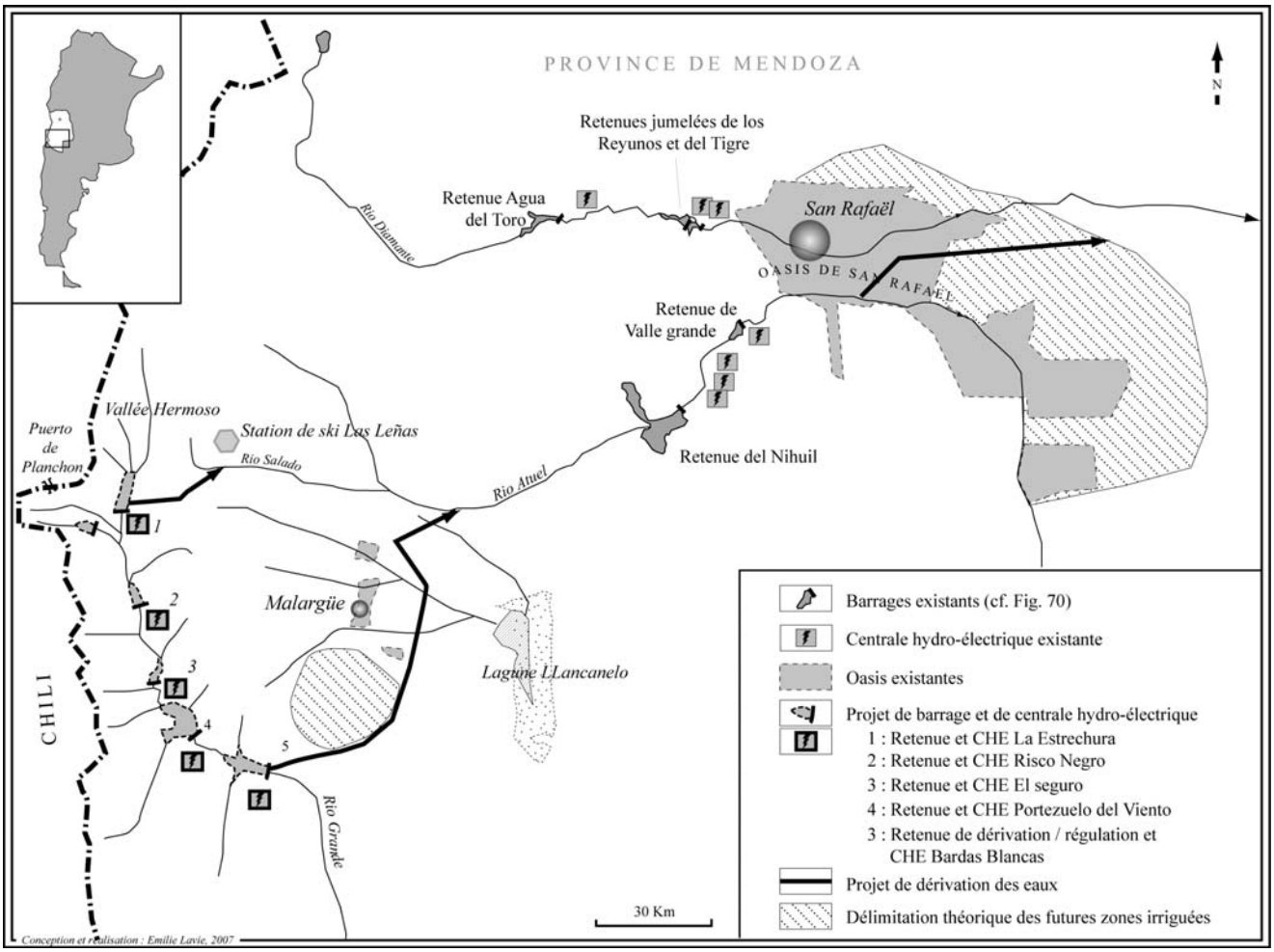


Fig. 71 : Projet « Mise à profit intégrale du río Grande »
Source : Lavie, 2007b

***

Ce Chapitre 11, conclusion du développement de cette thèse n'a pas pour vocation de tomber dans le catastrophisme. Nous pensons néanmoins que la gestion actuelle de l'eau dans l'oasis, tant sur le plan quantitatif que sur le plan qualitatif, ne peut amener qu'à des gaspillages et des pollutions de la ressource. Certains impacts anthropiques sont irréversibles, comme la salinité des deux aquifères supérieurs, minéralisation excessive qui commence à atteindre le troisième niveau, selon les constats de certains hydrogéologues de l'INA-CRA. Il est important que la population prenne conscience que l'usage actuel qui est fait de l'eau n'est pas durable dans cette oasis. Notre position est partagée par un grand nombre de chercheurs de Mendoza, et il semblerait que si les autorités sont quelque peu gênées par la réalité électorale, elles savent relativement bien quel futur attend l'oasis.

Deux directions se dessinent alors pour cette province : d'une part une prise de conscience qui ralentirait, voire empêcherait, un abandon à terme de l'oasis ; d'autre part une répartition des activités vers les autres secteurs irrigués de la province.

***

CONCLUSION DE LA PARTIE 4

Cette quatrième partie, intitulée « *la gestion qualitative de l'eau, un pari difficile* », avait pour finalité de présenter les difficultés auxquelles se heurtent les gestionnaires de la ressource en eau de l'oasis. En effet, les atteintes anthropiques à la qualité de l'hydrosystème sont multiples et les responsabilités diverses. La pollution est variée. La salinisation des eaux et des sols a une cause avant tout agricole, mais dans l'ensemble le secteur primaire n'est pas celui qui impacte le plus l'environnement. En revanche, la pollution bactériologique est très clairement consécutive aux rejets des effluents domestiques des deux principales stations d'épuration. Autre exemple : on retrouve des métaux lourds dans le río Mendoza en aval du PIP (parc accueillant la distillerie de pétrole et de gaz), ou dans le canal Pescara, récepteur des eaux industrielles.

Mais, et il nous paraît important d'insister sur ce point, l'intérêt de ce travail n'était pas de dénoncer telle ou telle pratique, mais de diagnostiquer le problème qualitatif de la ressource en eau et ses enjeux. Les enjeux sont multiples : c'est d'abord un enjeu sanitaire et socio-économique fort. Les dégradations faites à la ressource posent des problèmes de maladie, de dévaluation foncière, impliquent des coûts de nettoyage importants… L'environnement, bien qu'il ne soit pas la priorité absolue dans ce coin de désert, est pourtant lui aussi menacé.

Dans l'ensemble, nous l'avons vu, le problème est celui d'une gestion inappropriée, mêlant superposition des compétences, absence de responsabilité collective et individuelle, absence de volonté politique, manque de projection à moyen et long termes, mais aussi manque de moyens financiers. La mauvaise gestion n'explique pas tout. L'Argentine est un pays considéré comme en développement. Dans la mesure où elle est entrée dans l'économie de marché, par son fonctionnement occidental fort, par son inscription et son action au sein du MERCOSUR, il nous semble que l'Argentine est plutôt un pays émergent, au même titre que son voisin brésilien, mais à une échelle plus réduite. L'Argentine est en reconquête en termes d'économie et d'image auprès des pays du Nord, elle cherche à fonctionner comme la plupart des Etats Européens, mais elle pâtit d'un cruel manque d'argent. Certains diront que l'Argentine est un pays riche où la richesse est très mal répartie. C'est certes en grande partie vrai, mais la majorité de la population reste de classe moyenne basse à pauvre et ne peut économiquement pas supporter une augmentation des taxes, des factures d'eau ou d'énergie. Néanmoins, elle peut, et doit, prendre conscience de sa part de responsabilité et de ses possibilités d'action en faveur de l'environnement. Les problèmes de gestion de la collecte et du traitement des déchets urbains ne justifient en rien les actes incessants d'incivilité, les poubelles laissées dans la rue, les papiers, mégots de cigarettes jetés dans les *acequias*…

En attendant des jours économiquement meilleurs, il reste urgent d'informer les populations et d'inciter les entreprises à agir, sans quoi l'oasis de Mendoza dépérira.

En effet, cette phrase « *notre avenir est dans le Sud* » nous a d'abord saisie, par son catastrophisme. Mais après maintes discussions avec des agronomes et des hydrogéologues, ce constat est malheureusement plus que probable. L'oasis ne pourra supporter une telle pression pendant de longues années. Le recul déjà amorcé des glaciers andins aidera-t-il les populations à prendre en main la question du gaspillage et de la pollution des eaux ?

Conclusion générale

La thèse, selon le Petit Larousse de 2009, est une « *proposition théorique* (…) *dont on s'attache à démontrer la véracité* ». Le propos dont il est question ici est en réalité plus complexe. Il s'agit de proposer un certain nombre d'hypothèses, certes ; cependant, à la démonstration de la véracité, nous préférons la vérification. Certains des *a priori* dont nous avons fait preuve ont très bien pu s'avérer inexacts. Une thèse, c'est donc une démonstration visant à vérifier des hypothèses. Néanmoins, après quatre années de travail, certaines réalités desquelles nous n'avions pas fait cas au départ, se sont avérées primordiales.

Au bout du compte, une thèse a un double objectif : faire avancer la connaissance sur un sujet ou un espace géographique et/ou appliquer une méthodologie reconnue dans le milieu scientifique pour l'adapter aux exigences du terrain, ou pour l'affiner. La question principale à se poser en conclusion de cette étude est : **quels sont les apports de ce travail ?**

Les apports sont multiples : en effet, nous avons d'abord apporté notre pierre à l'édifice en contribuant à la connaissance des impacts anthropiques sur l'aspect qualitatif de la ressource en eau dans les milieux où elle fait défaut. Nous pensons en outre avoir répondu aux attentes des chercheurs locaux sur un site précis, à la fois commun à de nombreuses agglomérations des milieux arides et avec de nombreuses spécificités, souvent lié à sa modernité. Enfin, nous proposons ici un apport méthodologique certain dans l'hydro-qualité en géographie, apport méthodologique que nous espérons applicable dans d'autres espaces d'étude similaires.

Nous ne sommes bien entendu pas la première géographe à nous intéresser aux recherches sur les hydrosystèmes en milieu aride, et la géographie n'est pas non plus l'unique discipline concernée. Deux notions apparaissent lorsque l'on travaille sur la ressource en eau : la question de la **quantité** et celle de la **qualité**.

- Historiquement, l'intérêt des chercheurs mais aussi des ingénieurs, s'est d'abord porté sur la **quantité**. On a depuis toujours cherché à maîtriser les excès ou les manques d'eau en fonction des régions climatiques : l'assèchement des marais par creusement de drains ou plantations de forêts (Landes de Gascogne), ou la construction de barrages en montagne pour stocker les eaux de fonte des neiges en attendant les besoins estivaux, sont deux illustrations simples de cette volonté humaine de déjouer les variations climatiques. En milieu aride, la question de la quantité d'eau utilisable est une préoccupation primordiale pour les populations et les dirigeants. Lorsque l'on traite des milieux arides anthropisés, on est bien souvent amené à s'intéresser aux oasis (CLOUTET, 1995, CLOUTET et DOLLE, 1998). Or, la grande majorité des articles publiés, notamment dans la revue *Sécheresse*, concerne le continent africain : en premier lieu, le Maghreb (CLOUTET, 1995 ; IDDER, 1998 ; AIT KHANDOUCH, 2000 ; SEBEI, *et al.*, 2004 ; BARATHON, *et al.*, 2005 ; LEJOT et CALLOT, 2005 ; DERRADJI *et al.*, 2007 ; GHENIM, *et al.*, 2007), mais aussi l'Afrique

sahélienne (BESANCENOT *et al*., 2004). Il n'est également pas rare de rencontrer certaines publications ou études effectuées en Asie (HALIK, 2003 ; CARIOU, 2004 ; CLOUTET, 1995), ou sur le continent américain (GONZALEZ BARRIOS, *et al*., 2002 ; ORONA CASTILLO, *et al*., 2002 ; SALOMON et PRAT, 2004). Dans l'ensemble, ces études traitent des problèmes d'approvisionnement en eau et des techniques de distribution visant à proposer un service égalitaire, d'amont en aval, de la plus petite propriété (*minifundio* latino-américain ou jardin familial comme dans l'oasis de Tata (Maroc) où 95 % des propriétés mesurent moins d'un hectare (BARATHON, *et al*., 2005)) à des immenses openfields (*haciendas*, domaines cotonniers du bassin de l'Oural). Dans le bassin du río Aguanaval par exemple (GONZALEZ BARRIOS, *et al*., 2002 ; ORONA CASTILLO *et al*., 2002), l'utilisation effrénée des eaux dans la partie amont de l'ancienne oasis de la *Laguna*, a entraîné la baisse des débits de la zone aval et l'abandon de nombreux périmètres irrigués autrefois prospères. L'adaptation des types de culture d'amont en aval tenant compte de l'accès à la nappe phréatique en amont, et la décision des débits accordés aux agriculteurs en fonction du niveau de remplissage des barrages, ont permis une redistribution spatiale des champs, limitant les conflits d'usage amont-aval. De même, la politique de remembrement a rendu possible la baisse des pertes en eaux des canaux d'irrigations.

Dans l'ensemble, les oasis semblent toutes évoluer dans le même sens : elles s'**urbanisent** (comme l'oasis de Tata au Maroc) (BARATHON, *et al*., 2005) qui atteint les 13 hab./ha irrigué « *ce qui constitue une charge humaine très importante pour des ressources limitées* ». La population s'y est multipliée par cinq en 25 ans. A Aleg (Mauritanie, LEJOT et CALLOT, 2005), « *la sédentarisation des anciens nomades fuyant les sécheresses s'est accompagnée d'un manque de planification urbaine* ». L'exemple le plus illustratif est celui de ces habitations construites sur d'anciens axes d'écoulement ou en zones inondables, comme c'est le cas à Mendoza. Parfois, c'est le bétail qui devient trop dense (Tata, BARATHON, *et al*., 2005). Dans l'ensemble, en ce qui concerne les oasis africaines le même constat revient pour tous les auteurs (AIT KHANDOUCH, 2000 ; BARATHON, *et al*., 2005 ; LEJOT, et CALLOT, 2005) : le salut des oasis sahéliennes et maghrébines est en grande partie dû au financement des motopompes et autres infrastructures hydrauliques de la part de l'émigration.

- La seconde notion n'est pas nouvelle en recherche, c'est la question de la **qualité** de la ressource. La recherche sur les questions de qualité n'est pas récente, mais elle est surtout concentrée sur la salinisation des sols, cette pollution naturelle des milieux arides, renforcée par les activités anthropiques, notamment une mauvaise irrigation qui favorise les remontées de sels par capillarité (SALOMON, 2006) et par la multiplication des drains en aval des zones irriguées, qui transportent les sels vers les zones basses (cuvettes pour les oasis intra-désertiques, ou aval pour les oasis de piémont). « *Les gigantesques systèmes d'irrigation développés pour étendre les cultures fortement consommatrices d'eau ont introduit plus d'eau dans les écosystèmes que les systèmes de drainage naturel ne pouvaient en absorber* » (*Ibid*.). De même, il est reconnu que les oasis proches des littoraux subissent des intrusions saumâtres dans leurs nappes phréatiques. C'est le cas de la côte sénégalaise et plus particulièrement de la presqu'île du Cap Vert (Sénégal) (MUDRY et TRAVI, 1994). L'impluvium des aquifères est largement urbanisé (agglomérations de Dakar, Pikin et Rufisque) et les nappes superficielles (infra-basaltique et nappe de Thiaroye) ont été exploitées depuis bien longtemps. Dans le bassin irrigué de Nazas-Aguanaval (Mexique), l'eau est distribuée en fonction de la disponibilité de la ressource et non pas en fonction des besoins, du moins, en théorie. De fait, la superficie de 150 000 ha irrigables évolue dans le temps : quand il faut restreindre la superficie irrigable, ce sont les terrains les plus salins et donc les moins productifs, qui sont laissés de côté. Cet abandon des terres salines, qui n'ont plus de couvert végétal limitant

l'évaporation et la remontée des sels par capillarité, renforce le phénomène naturel (GONZALEZ BARRIOS, *et al*., 2002). Mais le cas qui nous paraît le plus spectaculaire est celui des sols du Sahara : selon DJILI *et al.* (2003), les cultures traditionnelles en exploitations familiales le long des oueds ne sont pas les seuls espaces irrigués du plus vaste désert du monde. En effet, depuis une vingtaine d'années, une nouvelle agriculture a été implantée. « *Elle porte sur la céréaliculture et se caractérise par la mise en place de l'irrigation par aspersion* ». Or, les nappes fossiles du Sahara sont quelquefois salines et il s'avère qu'après cinq campagnes d'irrigation à l'eau de la nappe de l'Albien, le niveau de salinité des sols dépasse le seuil de tolérance du blé dur en sels. Il faut alors abandonner le périmètre irrigué pour en créer de nouveaux plus loin, augmentant les coûts de transport des eaux (*Ibid*.).

Ainsi la salinisation (naturelle et anthropique) des eaux et des sols en milieu aride est-elle connue et étudiée depuis longtemps, mais ce n'est pas le cas des autres polluants. Il est relativement difficile de rencontrer des publications sur les problèmes qualitatifs des hydrosystèmes de milieu aride qui portent sur d'autres éléments que la salinisation. Nous pouvons cependant citer par exemple en ce qui concerne les MES et l'érosion des sols, les travaux de NIAZI *et al*. (2005) sur le BV du Nekkor (Maroc) ; de LAYMOND (1999) et SALOMON et PRAT (2004) pour les oasis du piémont andin argentin ; d'ACHITE et MEDDI (2004), pour le BV de l'oued Haddad (Algérie) ; et de GHENIM *et al*. (2007) pour l'oued Sebdou (Algérie)).

En revanche, il demeure encore délicat de travailler sur des polluants chimiques. Les pesticides sont peu mesurés pour des questions évidentes de financement, mais les données disponibles sur des polluants accessibles comme les nitrates et les phosphates restent peu fréquentes dans la littérature. De fait, le travail de SEBEI *et al*. (2004) sur les nitrates et les phosphates de la nappe de Grombalia (Tunisie) est un exemple à suivre. Cette étude porte sur une nappe littorale qui peut subir des intrusions marines. Mais l'exemple le plus illustratif des conséquences de l'urbanisation sur la qualité physico-chimique est celui de l'oasis de Ouargla. Cette oasis du Sahara algérien connaît des problèmes d'excédents hydriques causés par des rejets d'eaux de drainage et d'eaux résiduelles urbaines (IDDER, 1998). La ville est située dans une vaste dépression dépourvue d'exutoire où la nappe phréatique est souvent à fleur de sol.

La question de la bactériologie n'est pourtant pas nouvelle, mais elle reste la panacée des sciences de l'Homme et de la Santé. Néanmoins, il n'est pas rare de rencontrer des études sur les problèmes d'eau et de santé en milieu aride. BESANCENOT *et al.* (2004) s'intéressent aux conséquences des sécheresses sur la qualité des eaux pour l'Alimentation en Eau Potable (AEP) des populations du Sahel. Ils posent le problème des protections des mares d'eau. Le bétail s'y abreuve, s'y baigne, et les enfants font de même ensuite. Pour eux, les sécheresses ont entraîné la densification des villes par l'affaiblissement du nomadisme, le bétail n'ayant plus de quoi boire ou manger. La pression urbaine sur des hydrosystèmes fragiles est un risque important, vecteur de maladies hydriques. Pour COLLIGNON (1994), le comportement des populations aux alentours des puits est aussi un risque de développement et de prolifération des maladies. En effet, les puits sont relativement peu protégés, les seaux qui puisent l'eau sont laissés à terre, dans un bourbier créé par le piétinement des populations, voire des bêtes. Les bactéries se retrouvent alors dans le puits, polluant l'eau potable de tout un bourg, et ce à l'échelle de tout le Sahel et la zone soudanienne.

Mendoza est une agglomération d'un million d'habitants qui partage de **nombreuses caractéristiques avec les sites précités**. Les problèmes de conflits d'usages amont-aval,

agriculteurs-urbains, une urbanisation récente, des sols qui se salinisent… **mais elle revêt également des spécificités propres.**

En effet, c'est d'abord une **oasis de piémont**.

Dans sa typologie des oasis, CLOUTET (1995) sépare:

- les oasis intra-désertiques (Sahara) « *créées de toutes pièces pour surveiller les frontières et les routes stratégiques. Dépourvues d'eau courante, elles puisent [l'eau] dans la nappe phréatique et s'étalent en tâche autour du point d'eau* ». Ces oasis sont denses d'environ 1000 hab./km² ;
- les oasis de plaine (Pendjab, Irak, Egypte) irriguées de manière linéaire autour de cours d'eau (Tigre, Euphrate, Nil), souvent grâce à un barrage régulant le régime hydrologique ;
- les oasis de piémont (pourtour méditerranéen, Yémen, route de la soie, piémont andin). L'eau y est prise depuis une rivière issue d'un massif montagneux, puis un réseau de petits canaux dont la pente est calculée pour approvisionner toute l'oasis, prend le relais pour la distribution. Généralement, là aussi des barrages sont construits dans le lit des cours d'eau afin de s'affranchir de la dépendance au régime, souvent de type oued. Par la gestion du régime des cours d'eau, adaptée aux besoins des hommes et non à l'offre naturelle en eau, ces oasis de piémont développent des « *produits de forte valeur ajoutée à des prix compétitifs* » (*Ibid.*). C'est d'ailleurs de cas des oasis du Cuyo.

Ensuite, c'est une **grande agglomération**, ce qui n'est pas rare pour une oasis, mais souvent délaissée dans la géographie française qui s'intéresse généralement aux petites oasis maghrébines. L'agglomération millionnaire implique des usages multiples, notamment industriels et touristiques, ce qui n'est pas le cas de la majorité des oasis asiatiques et africaines.

Enfin, c'est une oasis du Nouveau Monde, qui ne s'est pas construite sur des bases sociales ancestrales, mais plutôt sur des **modèles importés**. Elle est résolument moderne[84], avec des industries de premier plan, notamment les hydrocarbures ou l'agroalimentaire. C'est une province relativement riche puisqu'elle exporte ses vins, ses fruits et légumes, ses hydrocarbures transformés et même son électricité. Les principales importations sont la viande et les produits manufacturés.

Les **hypothèses** de départ étaient au nombre de trois, découlant d'un postulat initial : l'effritement du lien culturel entre le Mendocino et sa ressource ont impliqué une augmentation des prélèvements et des baisses de qualité. Il semble, au regard de notre diagnostic, que **cet *a priori* se confirme**.

En effet, on observe bien une méconnaissance par la population du fonctionnement du système d'irrigation. Les Mendocinos dans leur ensemble n'ont pas conscience que les *acequias* dans lesquelles ils jettent leurs détritus irriguent ensuite les zones agricoles. Ils ne savent pas non plus que l'eau du Pescara ou encore leurs effluents domestiques, alimentent en eau certaines zones agricoles. Ils ignorent également que l'eau potable qu'ils consomment

[84] : Malgré sa modernité affichée, Mendoza reste le stéréotype d'une ville secondaire de pays émergent. En effet, l'économie est avant tout basée sur un secteur primaire de production et un secteur secondaire de transformation. Les services et les nouvelles communications existent mais ne constituent pas la base de l'emploi et de la génération de devises comme c'est le cas dans les pays du Nord.

quotidiennement est composée en petite part des effluents industriels de la raffinerie de pétrole…

Nous pouvons de fait répondre à nos hypothèses :

- Il existe un conflit d'usages entre l'administration, la population et les indigents : nous n'avons pas réalisé d'enquête très précise sur ce sujet, n'étant pas le cœur de la thèse. Néanmoins, nous avons participé à l'étude de l'UNC sur les déchets urbains et nous avons interrogé ci et là, la population mendocina sur ce point. Les responsabilités de la dispersion des déchets et donc de la prolifération des nuisibles vecteurs de maladies (cafards, mouches, rats…) dans les *acequias*, aux yeux de la population, convergent vers deux acteurs : les chiens errants et les indigents. Par ailleurs, de nombreuses incompréhensions sont ressorties entre les populations et les gestionnaires de la ressource. **Le principal problème concerne l'eau potable**, seul usage direct par les urbains. La hausse de la tarification de l'eau domestique par OSM.SA. n'est en aucun cas acceptée par une population qui ignore sa responsabilité partielle dans cette hausse. Un autre problème existe entre des agriculteurs fatigués de recevoir une eau de mauvaise qualité et le Département d'irrigation. Ils n'acceptent pas non plus que le DGI ne prenne pas plus en compte la dispersion des macro-déchets qui bouchent les canaux et abaissent les débits facturés.

- Le gaspillage de la ressource dû à une facturation de l'eau au forfait est réel : l'eau industrielle, agricole et même domestique, est facturée au forfait. En ce qui concerne l'eau industrielle (pour les industries ne nécessitant pas d'eau potable) et agricole, les débits apportés sont fonction des cycles végétatifs ou des quantités disponibles dans le lac de barrage de Potrerillos. Les agriculteurs paient en fonction de la surface à irriguer, les débits effectivement reçus sont gérés par le DGI en amont. Pour l'eau potable, le forfait est calculé en fonction de la surface du bâti et du niveau économique du quartier, entre autres spécificités techniques (cf. partie IV). Nous proposions donc comme hypothèse **un gaspillage dû à l'absence de conscience de la valeur à la fois économique et culturelle de l'eau**. Cette supposition est très clairement vérifiée. Les fontaines à eau publiques coulent pour beaucoup en continu, les douches sont longues et fréquentes, les jardins arrosés à l'eau potable au moins une heure par jour…. La prise de conscience par la population de la baisse de la ressource à long terme avec le réchauffement climatique et la croissance de l'agglomération, reste **LA** priorité.

- La pollution des eaux est due à la conjugaison de plusieurs facteurs : une augmentation et une multiplicité des usages, un désintérêt et une absence de conscience des réalités environnementales. Ce point est sans conteste l'apport principal de cette thèse. Le diagnostic hydro-qualitatif ainsi opéré révèle bien une pollution relativement prononcée des eaux superficielles et souterraines. La multiplicité des acteurs implique d'ailleurs **une responsabilité partagée de l'ensemble des usagers**. De fait, les agriculteurs, les foyers, les industries et les touristes ont tous un impact fort sur la qualité de la ressource. Or, deux secteurs nous paraissaient plus responsables que les autres : l'agriculture et l'industrie des hydrocarbures. Les résultats de nos analyses hydro-bactériologiques, hydro-physiques et hydro-chimiques révèlent bien la mesure de l'impact anthropique de ces usagers sur la ressource.
L'industrie des hydrocarbures, que les autorités mendocinas semblent protéger, est sans contexte le principal responsable des concentrations de métaux lourds dans le río Mendoza en amont et en aval du barrage de Cipolletti. Toutes les populations alimentées par d'autres stations AEP que Municipalidad de Luján, ou Luján I et II, sont concernées. De fait,

l'ensemble des habitants de Las Heras, Guaymallén, de Capital, et la moitié des habitants de Godoy Cruz et de Maipú, soit les trois-quarts des habitants de l'oasis, consomment une eau mêlée d'effluents des industries des hydrocarbures. Certes, cette eau est potable au regard des contrôles d'OSM.SA. sur son réseau, mais un accident peut subvenir.
L'agriculture quant-à-elle est un acteur à la fois victime et coupable. En effet, par sa situation en aval de toutes les autres activités anthropiques, l'agriculture est dépendante des usages faits en amont. Il a même été demandé aux agriculteurs de la zone 4 de financer en partie le Système Pescara, ce qui revient à dire que les agriculteurs doivent payer pour dépolluer l'eau souillée par les autres usagers. Le principe pollueur-payeur n'est pas appliqué à Mendoza. En revanche, conformément à nos *a priori*, l'implication des agriculteurs dans le processus de salinisation est démontrée. Les agriculteurs ne sont pas responsables de la haute minéralisation calco-sulfatée naturelle, ils ne sont pas non plus responsables de l'enrichissement en minéraux par les effluents industriels et domestiques. Néanmoins, par une irrigation par ennoiement mal maîtrisée, par un mauvais entretien des puits et par le choix d'une végétation peu couvrante favorisant l'évaporation de l'eau contenue dans les sols, les agriculteurs accentuent le phénomène naturel de salinisation des sols, notamment dans les zones les plus en aval du cône de déjection.

Le diagnostic ne se contente pas de répondre à des hypothèses, il a révélé des conséquences des activités anthropiques sur l'état qualitatif de la ressource, au-delà de nos postulats de départ. De fait, en quoi avons-nous contribué à des éclaircissements ?
- Les industries agro-alimentaires sont bien plus polluantes que ne l'avoue le DGI et le Système Pescara n'est pas efficace ;
- L'impact domestique est très sous-estimé dans cette oasis ;
- Contrairement à ce qu'il se dit, la ressource superficielle est déjà très atteinte ;
- Si certaines solutions sont coûteuses, il est possible d'améliorer la qualité de la ressource par quelques aménagements structurels.

Les industries agro-alimentaires sont bien considérées comme polluantes par les autorités, qui ont cherché à prendre en charge le problème via la mise en place du Système Pescara. Or, si ce Système – qui n'est en fait qu'une dilution – a changé le comportement minéral, il n'apporte rien de plus. En effet, nous avons observé une certaine stabilisation des minéralisations dans le collecteur Pescara en aval du Système, permettant aux agriculteurs de la zone 4 de s'affranchir des pics de pollution. Mais *quid* des bactéries ? *Quid* des métaux lourds ? *Quid* des solides, de la couleur et des odeurs qui abaissent les valeurs foncières du voisinage ? *Quid* de la turbidité qui limite la photosynthèse et rend le milieu hypoxique ? Le Système Pescara est une gageure, un gaspillage d'argent public (celui des contribuables et celui des taxes sur l'agriculture) et un gaspillage d'une eau fossile déjà mal en point.

L'impact domestique et ses conséquences sur la qualité de l'eau fut notre plus grande surprise. En effet, tous les traceurs typiques des effluents domestiques se retrouvent en quantités importantes dans les eaux. Les bactéries sont présentes dans les canaux urbains, en aval des rejets des stations d'épuration de Campo Espejo et de Paramillo, mais aussi dans la nappe phréatique ! Les changements dans les paramètres physiques des eaux dans le canal Jocoli et le río Mendoza en aval des stations sont marqués (turbidité, couleur, odeurs, mousse en surface…). Ces rejets modifient le comportement minéral, notamment celui du sodium et du calcium, présents dans les détergents et la javel. Le bore dans la nappe phréatique sous les ACREs pose la question de l'efficacité des stations par lagunage. Enfin, les phosphates, dispersés dans tout le réseau superficiel et présents dans les nappes phréatiques, sont une des principales pollutions de l'oasis. De fait, il s'avère indispensable de s'interroger :

- sur l'efficacité du réseau urbain de collecte des effluents puisque déjà en CI, la pollution domestique est notable ;
- sur l'efficacité des fosses septiques en milieu périurbain et rural, qu'implique la diffusion des phosphates dans tout l'hydrosystème ;
- sur l'efficacité même des deux principales stations d'épuration[85], qui laissent échapper solides, bactéries, phosphates, bore, et participent donc à l'hypoxie du milieu. Seuls les nitrates paraissent réellement dépurés par les lagunes.

Plus inquiétante encore est la **propagation de cette pollution superficielle à l'hydrosphère souterraine**. Bien que peu d'études aient été réalisées, avec des représentativités spatiales et temporelles limitées, on se doit de prendre en compte une minéralisation conséquente des aquifères, jumelées d'impacts localisés du bore ou des phosphates sous les ACREs, de l'arsenic sous l'ancien secteur minier, voire d'autres métaux dans le sous-BV du Carrizal.

Enfin, arrêtons-nous sur certaines observations faites dans le développement. En effet, nous avons mis en avant certaines solutions plus ou moins coûteuses, dont nous pensons qu'il n'est pas inutile de faire un résumé des actions les plus urgentes.

- **L'urgence reste la <u>prise de conscience</u> par la population de la <u>valeur</u> à la fois <u>économique et culturelle</u> de l'eau**. La facturation à la consommation est une des principales mesures structurelles à mettre en place. Elle permettrait de baisser les quantités distribuées et collectées, ce qui retarderait en principe les nécessaires agrandissements des stations AEP et d'épuration. Cette facturation à la consommation, accompagnée d'une hausse légère pourrait aussi augmenter la trésorerie d'OSM.SA. et (avec une certaine volonté politique) accélèrerait les travaux d'enterrement du canal Civit entre autre.
- La <u>police urbaine de surveillance des *acequias*</u> est une idée à valoriser. La contrainte financière apparaît comme une des solutions dans la prise de conscience par les populations, de l'intérêt de protéger les *acequias*, des macro-déchets notamment.
- En revanche, accroître les fréquences de collecte des déchets domestiques ne nous paraissait pas une urgence, cela va même à l'inverse d'un respect environnemental puisque ces camions, souvent mal entretenus, participent à la pollution de l'air urbain. Au contraire, <u>la solution est moins dans la collecte que dans le stockage</u>. Des bacs en plastique, facilement nettoyables, fermés et donc salubres, permettraient de limiter les fréquences et donc les coûts.

Par ailleurs, cette thèse est issue d'une **collaboration** entre nos laboratoires de rattachement à Bordeaux (LGPA et UMR ADES) et l'Institut national de l'eau de Mendoza (INA). Au départ, ce travail fut une demande de l'Ing. SALATINO auprès de M. SALOMON, notre Directeur de thèse. Il s'est donc agi pour nous de présenter un travail qui répondait à la fois aux standards du doctorat français et aux *desiderata* de l'INA de Mendoza.

Ainsi, trois axes ont guidé notre recherche, ce sont les trois mots-clés qui en composent le sous-titre : **diagnostic**, **enjeux** et **durabilité**. De fait, à partir de ces mots-clés, nous devions apporter à l'INA trois réponses concrètes : un diagnostic précis de la pollution de l'eau superficielle et souterraine, une mise en perspective des enjeux à venir et de la durabilité de l'oasis, et des solutions variées, structurelles et infrastructurelles, pas forcément

[85] : Or, toutes les personnes interrogées nous ont affirmé que ces deux stations étaient de très haute qualité, à l'exception de Carlos JARA (OSM.SA.) et de E. COMELLAS (INA) qui pensent qu'elles ont dépassé leur capacité limite de traitement.

onéreuses, mais qui permettraient à l'INA de jouer un rôle dans l'échiquier politique de la gestion de l'eau.

Le diagnostic hydro-qualitatif a été le principal sujet d'étude. Il a aussi occupé la plus grande partie du temps dont nous disposions pour ce faire. Néanmoins, pour répondre aux interrogations sur les causes et les conséquences de la pollution de l'eau, nous avons également procédé à un diagnostic des problèmes de gestion, de tarification, de réseau… Le diagnostic est donc relativement complet.

En effet, nous présentons des résultats graphiques et cartographiques sur de très nombreux paramètres polluants et ce sur les trois pans de l'hydro-qualité : biologique, physique, chimique. En tout, ce sont **trente-trois paramètres** différents qui ont été observés : bactéries aérophiles mésophiles, coliformes totaux et fécaux, hormones, OGM, MES, turbidité, solides totaux, macro-déchets, couleur, odeur, températures, conductivité électrique, calcium, potassium, magnésium, sodium, carbonates et bicarbonates, chlorures, sulfates, nitrates, phosphates, bore, fluor, oxygène dissous, Demande Chimique en Oxygène, pH, pesticides, zinc, cadmium, cuivre et arsenic.

Nous avons également travaillé sur les eaux superficielles comme souterraines, ce qui est unique dans la bibliographie en hydro-qualité sur Mendoza.

Enfin, on peut observer une **grande représentativité spatiale** (de seize points dans des types de cours d'eau différents à quatre-vingt dix-neuf points pour la conductivité électrique en 2001-2002), **sur toute l'oasis**. Nous pouvons également nous satisfaire de présenter des résultats d'une bonne représentativité temporelle. Certes, certaines études sont publiées à partir d'une seule analyse par point (ce que nous avons systématiquement précisé), mais nos propres résultats s'appuient sur des analyses mensuelles sur cinq ans, ou deux séries saisonnières d'une fréquence hebdomadaire. Là encore, c'est sans conteste sur Mendoza l'étude publiée[86] la plus complète.

Le diagnostic qualitatif impliquait que nous dressions également un état des lieux des enjeux pour l'oasis. De fait, quels sont-ils ?

- Pour les gestionnaires : regrouper tous les attributs d'administration dans un seul et même organisme, élu de tous les habitants : le ministère de l'environnement (voire de l'eau). Eviter les chevauchements de compétences s'avère indispensable (cf. DAVID, thèse en cours). De même, l'enjeu principal est de faire prendre conscience à la population du mythe de l'abondance de l'eau dans lequel elle vit. Les autorités sont responsables de la survie de l'oasis.
- Pour les agriculteurs : savoir se faire entendre. Il s'avère indispensable pour les agriculteurs de montrer aux autorités l'intérêt de la protection de la ressource. La qualité de la production dépendra aussi de la qualité de l'eau. L'oasis n'a pas besoin d'être agrandie, contrairement à ce que prétend FRIGERIO, le Superintendant actuel (élu en 2008). La baisse des quantités produites amorcée il y a une vingtaine d'années est à poursuivre. L'agriculteur doit rappeler qu'il est un acteur de premier plan. Mais cela passe aussi par une remise en question de ses propres pratiques : mise en place du goutte-à-goutte, baisse des fertilisants et des pesticides, pourtant assez peu utilisés par comparaison à la France par exemple.
- Pour les industriels : poursuivre les efforts consentis dans l'installation de systèmes d'épuration des effluents, hausse des tarifs de l'eau potable, mise en place du principe pollueur-payeur. Quand au PIP, l'enjeu concerne la fin de la pollution des eaux du río

[86] : Le DGI dispose sûrement de plus de données, mais elles sont confidentielles et très bien gardées.

Mendoza en amont de la prise de Cipolletti. Cela passe par une imperméabilisation totale du parc, un traitement des effluents de la raffinerie et la fermeture du drain situé en amont du barrage.

- Pour la population : apprendre à respecter son eau et son patrimoine paysager hydraulique par une prise de conscience et une information.

Un diagnostic qualitatif, s'il est relativement complet, peut s'avérer être un outil politique, au sens noble du terme. Un diagnostic permet de connaître l'état de la ressource et donc de mieux gérer en fonction des priorités. L'impact domestique par exemple, semble quelques peu sous-estimé et délaissé par les gestionnaires, tout comme l'impact de la raffinerie. Il faut savoir que la publication de l'étude sur les macro-déchets (OIKOS, et 1° Association d'IC du DGI, *in* ARCE, 2006) dans les canaux a fait couler beaucoup d'encre dans les journaux locaux pendant quelques jours, faisant réagir la population sur son propre comportement. L'INA, par sa place de centre de recherche, doit agir au plan local, ce qui implique des **outils techniques et de connaissance**. C'était tout l'intérêt de cette étude.

Enfin, le dernier apport de cette thèse concerne le **plan méthodologique**. La méthode de prélèvements et d'analyses opérée au LGPA depuis près de vingt ans, a été mise à rude épreuve sur ce terrain aride. En effet, les mesures *in situ*, la taille du terrain, l'adaptation du matériel aux conditions climatiques, mais aussi le fait que l'hydrosystème soit totalement anthropisé, ont remis en question certaines de nos habitudes. La méthodologie du LGPA n'est pas en soi différente des études en chimie ou en biologie en général. **Elle a cela d'original qu'elle utilise l'hydro-qualité comme un outil en géographie**, et non pas comme une fin en soi. Or, cette méthode de prélèvement, de mesures *in situ* et d'analyses en laboratoire que nous avons utilisée lors de nos terrains de maîtrise (LAVIE, 2005) et de DEA (MACARY *et al*., 2006), a été relativement difficile à mettre en place sur ce terrain : la taille de l'oasis, les difficultés d'accès, ou l'inadaptation du matériel à la chaleur et la sécheresse sont des exemples. Mais dans l'ensemble, cette thèse prouve qu'avec des aménagements, cette méthodologie apporte beaucoup à la connaissance de la qualité des ressources en eau.

A nos yeux, **le principal intérêt sur le plan méthodologique a été la grande collaboration avec l'INA**. Ce travail, notamment par la quantité de données, la facilité d'accès à l'information, n'aurait pu être possible sans l'appui de ce centre de recherches. Nous pensons qu'outre toutes les spécificités liées au matériel d'hydro-qualité, le principal dans un diagnostic qualitatif est l'appui des centres de recherches locaux. Le système d'irrigation de Mendoza est extrêmement compliqué, au point que nous avons dû quelquefois le simplifier pour des questions de lecture. Sans la connaissance des Ingénieurs de l'INA qui ont encadré nos deux stages, nous n'aurions pu présenter ce travail. Leurs données, enregistrées depuis 2003, ont toutes été mises à notre disposition. Nous aurions certainement été obligée de doubler le temps passé sur place, nous n'aurions jamais pu rencontrer certains gestionnaires et usagers de l'eau[87].

[87] : En effet, sans déplorer cette situation, il ne faut pas cacher que le fait que nous soyons une femme, jeune et étrangère, n'a pas toujours été à notre avantage. Il faut comprendre la méfiance de la population et des professionnels face à une jeune européenne qui pose des questions sur l'environnement. Faire une thèse en Argentine est relativement rare avant l'âge de trente ans et malgré de vrais changements sociétaux, une certaine mysoginie demeure. Il faut donc reconnaître que l'appui des chercheurs de l'INA nous a apporté une certaine légitimité lors de nos entretiens.

Leur connaissance du terrain a accéléré nos évaluations des résultats. Pour chaque tributaire, ils connaissaient les origines, les usages en irrigation. Etant données les lacunes des centres de recherche en cartographie, leurs indications nous ont considérablement aidée à produire nos propres cartes. Ce travail de collaboration nous a également permis de présenter un diagnostic temporel particulier, avec deux méthodes qui se complètent bien.

Enfin, nous pensons que ce diagnostic est **applicable à d'autres terrains d'études similaires**, à savoir des **oasis de grande taille**, accueillant une **agglomération** et des activités usagères de la ressource très distinctes. La place des industries aujourd'hui dans les oasis est relativement en marge par rapport aux agglomérations non-oasiennes (milieux humides ou à régime pluviométrique alterné). Néanmoins, le réchauffement climatique et l'aridification de nombreuses terres émergées, jumelés avec une croissance démographique urbaine, peuvent à terme, poser à certaines oasis les mêmes problèmes que connaît Mendoza aujourd'hui.

Finalement, notre travail a pu mettre en exergue une oasis à l'avenir lointain incertain, du moins si les problèmes hydriques invoqués ne sont pas plus sérieusement pris en compte.

Bibliographie

A

1- ABIHAGGLE, C. ; DAY, J-A. – 2004 – *Agua y sociedad. Un ensayo económico sobre la política hídrica*. Mendoza, EDIUNC. 252 p.

2- ABRAHAM, E. – 1996 – *Mapa geomorfológico Mendoza norte*. (Carte géomorphologique avec légende). Conicet.

3- ABRAHAM, E. ; ABAD, J. ; LORA BORRERO, B. ; SALOMÓN, M. ; SANCHEZ, C. ; SORIA, D. – 2007 – « Caracterización y valoración hidrológica de la cuenca del río Mendoza mediante elaboración de modelo conceptual de evaluación ». *Actes du Colloque National de l'Eau Argentin CONAGUA*, Mai 2007. 14 p.

4- ACHITE, M. ; MEDDI, M. – 2004 – « Estimation du transport solide dans le bassin-versant de l'oued Haddad (Nord-Ouest algérien) » *in Sécheresse* n° 15-4. pp. 367-373.

5- ADEME. Stations d'épurations. Fiche technique en ligne, www.ademe.fr

6- Agences de l'Eau – 1999 – « Système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau » in *Les études des Agences de l'Eau n° 4*. 59 p.

7- Agences de l'Eau – 2003 – « Système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines ». En collaboration avec le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, et le BRGM. Document en ligne : http://siecorse.eaurmc.fr/eaux_souterraines/fichiers-telechargeables/SEQSOUT0803.pdf

8- AIT KHANDOUCH, M. – 2000 – « L'eau : facteur limitant de l'espace oasien. Le cas des oasis de Skoura et Amkchoud au sud du Maroc ». BAGF n° 1-2000. pp. 53-60.

9- AKHMOUCH, A. – 2004 – *La privatisation des services publics argentins au cœur d'enjeux géopolitiques, conflits et rivalités territoriales. Le cas de la concession d'eau potable et d'assainissement dans la province de Mendoza*. Mémoire de DEA de géopolitique Univ. Paris 8 Vincennes-St. Denis, 170 p.

10- ALBRIEU, H. ; SANCHEZ, C. ; SALOMÓN, M. – 2006 – « Problemática actual del sistema hídrico – canal Cacique Guaymallén ». *Consejo de Asociaciones e inspecciones de cauce del río Mendoza*. 7 p.

11- ALESSANDRO DE RODRIGUEZ, M. – 1997 – « Fenómenos de deterioro natural y antrópicos ». Mendoza, Ecogeo. pp. 60-74.

12- ALVAREZ, A. – 1995 – « Estudios de contaminación del agua subterránea, salinización de acuíferos y contenido de arsénico, fluor y nitrato en la zona norte de la provincia de Mendoza », *in Mendoza Ambiental*. Mendoza, pp. 29-43.

13- AMES MARQUEZ, A. ; FRANCOU, B. – 1995 – « *Cordillera blanca: glaciares en la historia* ». In *Bulletin de l'Institut Français d'Etudes Andines*. pp. 37-64.

14- ARCE, M. – 2006 – « Los mendocinos tiran toneladas de basura en sus cauces de riego » journal *Los Andes*, 18-06-2006.

15- AULY, T. ; MONTEIL, N. ; MOREAU, S. ; SALOMON, J-N. – 2002 – « Le fond du Bassin d'Arcachon est-il pollué ? Les enjeux ». *In Travaux du LGPA* n° 20. pp 81-104.

16- AVELLANEDA, M. ; BERMEJILLO, A. ; MASTRANTONIO, L. – 2004 – *Aguas de riego. Calidad y evaluación de su factibilidad de uso*. Mendoza, EDIUNC. 143 p.

B

17- BADALONI, R. – 2006 – « Secreto en la montaña ». *Journal Clarín*, Buenos Aires. 06-08-06.

18- BAGINI – 1987 – *Mejoramiento del riego en Mendoza*. E.E.A. Mendoza INTA, Mendoza, Argentine. 12 pp.

19- BARATHON, J-J. ; EL ABASSI, H. ; LECHEVALIER, C. – 2005 – « Les oasis de la région de Tata (Maroc) : abandon de la vie oasienne traditionnelle et adaptation à la vie urbaine » *in Annale de Géographie* n° 644, 114° année, 07-08/2005. pp. 449-461.

20- BARDINI, S-L. – Date non mentionnée – *Cultura del agua en la Provincia de Mendoza, Desierto vs oasis*. Document inédit.

21- BARTHE, G. ; HOFFMANN, F. ; LAVIE, E. – 2008 – « Les eaux en bouteille sont-elles de bonne qualité ? ». *In Travaux du LGPA* n° 26. pp. 11-30.

22- BELPOMME, D. – 2007 – *Avant qu'il ne soit trop tard*. Paris, Fayard, 302 p.

23 - BERNARD, N. ; BOUVET, Y. ; DESSE, R-P. – 2005 – *Géographie de l'Argentine. Approche régionale d'un espace latino-américain*. PUF, Rennes. 190 p.

24- BERRERA, R-O. – 1961 – « Actualidades de Cuyo, dos proyectos de obras hidráulicas en la Provincia de Mendoza », *in Boletín de Estudios Geográficos n° 32*, Mendoza, UNC. pp. 123-128.

25- BERTRANOU, A. *et al.* – 1978 – *Uso del agua y ambiente humano. El caso de la zona norte de Mendoza*. Mendoza, Publication INCYTH. 129 p.

26- BERVILLE, D. – 2001 – *Les effluents vinicoles du Médoc : enjeux économiques et environnementaux*. TER de Maîtrise, Univ. Bordeaux 3, Pessac. 140 p.

27- BESANCENOT, J-P. ; HANDSCHMACHER, P. ; NDIONE J-A. ; MBAYE, I. ; LAAIDI, K. – 2004 – « Climat, eau et santé au Sahel oust-africain » *in Sécheresse* n° 13-3. pp. 233-241.

28- BETHEMONT, J. – 1999 – *Les grands fleuves, entre nature et société.* Paris, A. Colin/Masson. 256 p.

29- BETHEMONT, J. – 2001 – « L'eau, le pouvoir, la violence dans le monde méditerranéen ». *In Herodote*, n° 103. pp. 175-200.

30- BLANCHON, D. – 2003 – *Impacts environnementaux et enjeux territoriaux des transferts d'eau inter bassins en Afrique du Sud*. Thèse de Géographie. Univ. Nanterre, Paris X. 623 p.

31- BONINSEGNA, J-A. ; VILLALBA, R. – sans date – *Los escenarios de Cambio Climático y el impacto de los caudales*. En ligne : www.imd.uncu.adu.ar

32- BRAVARD, J-P. – 1998 – « Le temps et l'espace dans les systèmes fluviaux, deux dimensions spécifiques de l'approche géomorphologique ». *In Annales de géographie* n° 599. pp. 3-15.

33- BRAVARD, J-P. ; PETIT, F. – 1997 – *Les cours d'eau, dynamique du système fluvial*. Paris, A. Colin/masson. 222 p.

34- BREMONT, R. ; VUICHARD, R. – 1973 – *Paramètres de la qualité des eaux*. Paris, La Documentation française. 180 p.

35- BRL Ingenieries – 1998 – *Identificación de estrategias de inversiones en riego al nivel de finca*. Informe Final al DGI. 147 p.

36- BRL Ingenieries ; Gobierno de Mendoza – 2001 – *Diagnóstico del sector irrigado de la provincia de Mendoza*. 111p. + 38 p. d'annexes.

37- BUREAU, A. *et al.* – 2005 – « *Participación de los regantes en la administración*

del agua de la Tercera Zona de Riego de Mendoza ». Rapport de stage INA, 26 p.

38- BUSTELO, G. – 2008 – « Ambiental : Alertan que en cinco años puede faltar agua para el agro mendocino ». *In Journal Los Andes*. 15-09-2008.

39- BUSTOS, R. – 1977 – *Le massif de l'Aconcagua*. Thèse doctorale de l'Univ. Bordeaux 3, Institut de Géographie. 241 p.

C

40- CAPITANELLI, R. – 1967 – « Climatología de Mendoza ». *In Boletín de Estudios geográficos n° 54-57*. Mendoza, UNC. 441 p.

41- CAPITANELLI, R. – 1972 – « Balance hídrico del piedemonte mendocino ». *In Boletín de Estudios Geográficos n° 34, Vol. IX.* Mendoza, UNC. pp. 1-38.

42- CAPITANELLI, R. – 1983 – « Carta dinámica del ambiente ». *In Boletín de Estudios Geográficos n° 78, Vol. XX,* Mendoza, UNC. pp. 90-117.

43- CAPITANELLI, R. – 1997 – « Sequedad, flagelos climáticos y problemas socio-económicos derivados ». In *Problemas del medio ambiente de la provincia de Mendoza*. Mendoza, Ecogeo. pp. 13-38.

44- CARIOU, A. – 2004 – « Le jardin saccagé. Anciennes oasis et nouvelles campagnes d'Ouzbekistan » *in Annales de Géographie* n° 634, 113° année. 01-02/2004. pp. 51-73.

45- CATTANEO, M. ; HOFFMANN, F. ; LAVIE, E. – 2008 – « Qualité des eaux dans le Saint-Emilionnais ». *In Travaux du LGPA* n° 26. pp. 41-60.

46- CEMAGREF – 2002 – *Traiter la pollution par les boues actives urbaines*. Fiche technique en ligne. 2 p.

47- CEMAGREF – 2002 – *Les procédés de traitement biologique applicables aux effluents vinicoles*. Fiche technique en ligne. 2 p.

48- CENSO AGRÍCOLA – 2003 – Recensement agricole argentin.

49- CHAMBOULEYRON, J. *et al.* – 1982 – *Evaluación y optimización del uso del agua en grandes redes de riego*. Rome, INCYTH-IILA. 176 p.

50- CHAMBOULEYRON, J. ; SALATINO, S. ; DROVANDI, A. ; ZIMMERMANN, M. ; DE NONINO, D-G. ; NACIF, N. ; MORÁBITO, J. ; MIRABILE, C. ; DÍAS, R. ; CAMPOS, S. ; SOLANES, R. ; TROILO, S. – 1994 – *La contaminación del agua de riego en Mendoza, Argentina*. Sélection de travaux de l'INA de Mendoza, période 1991-1993. pp. 63-77.

51- CHAMBOULEYRON, J. ; SALATINO, S. ; DROVANDI, A. ; FILIPPINI, M-F. ; MEDINA, R. ; ZIMMERMANN, M. ; NACIF, N. DEDIOL, C. ; CAMARGO, A. ; CAMPO, S. ; GENOVESE, D. ; BUSTOS, R. ; MARRE, M. ; ANTONIOLLI, E. – 2003 – *Conflictos ambientales en tierras regadías. Evaluación de impactos en la cuenca del río Tunuyán, Mendoza, Argentina*. Mendoza, FONCYT – INA. 185 p.

52- CHAMBOULEYRON, J. – 2004 – *El aprovechamiento del agua*. Publication en ligne : www.irrigacion.gov.ar

53- CHAMBOULEYRON, J. – 2006 – « Resolución de conflictos, la unificación de Inspecciones de cauce en Mendoza ». *In Taller regional de desarrollo de capacidades*, Mendoza, INA-CELA. 5-9 juin 2006.

54- CLARÍN *Journal*, sans auteur – 2003 – « Asi nacio 'Pampa Mansa'». 03/10/03.

55- CLOUTET, Y. – 1995 – « Les oasis » *in Mappemonde*, revue en ligne n° 4 du 01-12-1995.

56- CLOUTET, Y. ; DOLLE, V. – 1998 – « Aridité, oasis et petite production, exigence hydraulique et fragilité sociale » *in Sécheresse spécial Oasis Vol 9 n°2*, juin 1998, Paris. pp. 83-94.

57- CÓDIGO ALIMENTARIO ARGENTINO. Code alimentaire argentin : liste des normes de potabilité.

58- COLLIGNON, B. – 1994 – « Impact des activités humaines sur les ressources en eau souterraine en Afrique sahélienne et soudanienne ». *In Enregistreurs et indicateurs de l'évolution de l'environnement en zone tropicale*, sous la direction de MAIRE, R. ; POMEL, S. et SALOMON, J-N. Pessac, PUB. pp. 235-249.

59- CORRIPIO, J-G. ; PURVES, R-S. – date non mentionnée – *Surface energy balance of hish altitude glaciers in the central Andes : the effect snow penitentes*. www. Ifu.ethz.ch

60- COSSART, E. ; LE GALL, J. – 2008 – « Les variations récentes (1975-2000) de l'englacement dans le massif de l'Aconcagua (Mendoza, Argentine) ». *Ecogéo* 4-2008. Mars-mai. www.ecogeo.fr

D

61- DABENE, O. – 2006 – *Atlas de l'Amérique Latine*. Paris, Coll° Autrement. 79 p.

62- DA COSTA, A. ; LACANAL, G. ; HOFFMANN, F. – 2005 – " Problèmes de gestion des ressources en eau et de l'assainissement en pays Bamiléké : l'exemple de la ville de Dschang (Cameroun)". *In Travaux du LGPA* n° 23. pp. 63-77.

63- DE PLAHHOL, X. ; ROGNON, P. – 1970 – *Les zones tropicales arides et subtropicales*. Paris, Ed°. A. Colin. 487 p.

64- DEL VALLE VENENCIO, M. ; BERNAL, G. – 2006 – « La importancia de la comunicación asociada, los problemas del agua subterránea », *In Taller regional de desarrollo de capacidades*, Mendoza, INA-CELA. 5-9 juin 2006.

65- DEPARTAMENTO DE PASTORAL SOCIAL DE LA DIOCESIS DE SAN CARLOS DE BARILOCHE – sans date – Reflexiones sobre los problemas que representa la actividad minera.

66- DERRADJI, F. ; BOUSNOUBRA, H. ; KHERICI, N. ; ROMEO, M. ; CARUBA, R. – 2007 – « Impact de la pollution organique sur la qualité des eaux superficielles dans le Nord-Est algérien » *in Sécheresse* n° 18-1. pp. 23-27.

67- DGI – 1992 – *El riego de la Provincia de Mendoza*. Mendoza. 34 p.

68- DGI – 1994 – *Descripción preliminar de la Cuenca del río Mendoza*. Mendoza. 112 p. anexes.

69- DGI – 1997 – *Plan hídrico para la Provincia de Mendoza. Ésta es Mendoza*. Mendoza. Nombre de pages non mentionné.

70- DGI – 1999 – *Memoria 2000*. Mendoza. 28 p.

71- DGI – 2006a – *Boletín de información hidronivometeorológica 2006*. Mendoza. 8 p.

72- DGI – 2006b – *Pronóstico de escurrimiento para los ríos Mendoza, Tunuyán, Diamante, Atuel, Malargüe y Grande, periodo octubre 2006-setiembre 2007*. Document en ligne www.irrigacion.gov.ar

73- DGI – 2006c – *Obras 2002-2006*. pdf en ligne sur www.irrigacion.gov.ar. 38 p.

74- DGI – *Resol vigente n° 778* (normes de qualité de l'eau).

75- DGI – en ligne – *Diagnóstico hídrico sobre la gestión de los recursos hídricos de la Provincia de Mendoza*. www.oni.escuelas.edu.ar

76- DIGID – 1973 – *Estudios de cuencas aluvionales en las provincias de San Juan y Mendoza*. Buenos Aires, Ministerio de Obras y Servicios Públicos. 3 tomes.

77- DI LELLO, F-A. ; FERNÁNDEZ, D. – 2000 – « Mejora de la eficiencia y aprovechamiento hidroeléctrico del río Mendoza entre Alvarez Condarco y el dique Cipolletti », *in Revista de la facultad de Ingeniería, UNC, n° 42, año XIX*, nov. 2000. pp. 33-42.

78- DJILI, K. ; DAOUD, Y. ; GAOUAR, A. ; BELDJOUDI, Z. – 2003 – « La salinisation secondaire des sols au Sahara. Conséquences sur la durabilité de l'agriculture

dans les nouveaux périmètres de mise en valeur » *in Sécheresse* n° 14-4. pp. 241-6.

79- DOMINGO APARICIO, J-A. – 2005 – « El río Mendoza y el problema de la escasez de agua en primavera, análisis de posibles soluciones » *Boletín de Estudios geográficos n° 95 Resumen de seminario de Licenciatura*. Juin-05. pp. 111-125.

E

80- EL UNO (Journal) – 2006 – « Franceses de OSM desisten de enjuiciar a la Argentina ». *El Uno,* 18-04-2006.

81- ESPIZUA, L. – 2005 – *Glaciaciones cuaternarias en el valle del Río Mendoza, Andes argentinos*. Publication en ligne du CONICET-IANIGLA pp. 111-115.

F

82- FARO, B. – 2006 – « Aspectos vinculados al rol del Estado en la negociación de conflictos » *in Taller regional de desarrollo de capacidades*, Mendoza, INA-CELA. 5-9 juin 2006.

83- FASCIOLO, G. – 1984 – *La contaminación hídrica*. Mendoza, INCYTH-CELA. 11 p.

84- FASCIOLO, G. – 1990 – *Contaminación hídrica industrial en Mendoza*. Mendoza, INCYTH-CELA. pp. 6-9.

85- FEIJÓO, M-L. ; MORÁBITO, J-A. ; SALATINO, S-E. – 2007 – *Gestión de los residuos sólidos urbanos y su impacto sobre los cauces de riego del río Mendoza, Argentina. Diagnóstico y propuestas de manejo para la toma de decisiones.* Rapport de stage de l'INA. Mendoza. 23 p.

86- FERNÁNDEZ, N. ; VINCIANA, V. ; DROVANDI, A. – 2006 – « Valoración del impacto ambiental total por agroquímicos en la cuenca del Río Mendoza ». *In III Jornadas de Actualización en Riego y Fertirriego*. INA, INTA, DGI, UNC/FCA, CIAM. Mendoza, 10 et 11 Août 2006.

87- FERNÁNDEZ, L. – 2006 – « Diagnóstico de la situación del agua en la Provincia de Mendoza ». *In Defensa del agua y los derechos humanos*, informe de situación, OIKOS Red Ambiental, Mendoza, Juin 2006. pp. 28-83.

88- FERNANDEZ ROJAS, J. – 2003 – « El Carrizal: confirman presencia de hidrocarburos en pozos de agua ». *In Journal los Andes* du 22-07-2003.

89- FOURNIER, J-M. ; HERIN, R. – 2001 – *L'eau dans les villes d'Amérique Latine*. Paris, Coll° l'Harmattan. 203 p.

90- FLORES, M-A. – 2008 – « OSM acusó al Gobierno de no cumplir lo pactado ». *In Journal Los Andes* du 25-06-2008.

G

91- GENIN, B. ; CHAUVIN, C. ; MENARD, F. – 2003 – *Cours d'eau et indices biologiques*. 2° éd°. Dijon, Edcagri Ed°. 221 p.

92- GENNARI, A. – 2006 – « De las organizaciones de usuarios de riego al desarrollo territorial: capital social, gobernabilidad y futuro » *in III jornadas de Actualización en Riego y Fertirriego*. Colloque présenté à Mendoza, 10 et 11 Août 2006.

93- GEORGE, P. – 1966 – « Ensayo de topología de los oasis », *in Boletín de Estudios geográficos n° 51*. UNC. pp. 117-133.

94- GHENIM, A. ; TERFOUS, A. ; SEDDINI, A. – 2007 – « Etude du transport solide en suspension dans les régions semi-arides méditerranéennes : cas du basin-versant de l'oued Sebdou (Nord-Ouest algérien) » *in Sécheresse* n° 18-1. pp. 39-44.

95- GOBIERNO DE MENDOZA – 1998 – *Historia de la minería.* Document inédit.

96- GOBIERNO DE MENDOZA – 1999 – *Guía de educación ambiental, flora y fauna de Mendoza*. Mendoza, Edition publique. 257 p.

97- GONZALEZ, M-B. – 2007 – *Revalorización de la Cultura del Agua.*

Document inédit, Institut de géographie, UNC. 3 p.

98- GONZALEZ BARRIOS, J-L. ; JOB, J-O. ; AHLERS, R. – 2002 – « Irrigation et salinisation des sols dans la partie basse aride du bassin Nazas-Aguanaval : le périmètre de la Comarca Lagunera (Nord-Mexique) » *in Sécheresse* n° 13-4. pp. 244-250.

99- GRASSO, C. ; ROCCHI, L. – 1997 – « Panorama ambiental de las áreas protegidas » *in Problemas del medio ambiente de la provincia de Mendoza*. Mendoza, Ecogéo. pp. 75-90.

100- , GRASSO, C. ; ROCCHI, L. – 1997 – « El agua, indispensable para la vida, motivo de profunda preocupación » *in Problemas del medio ambiente de la provincia de Mendoza*. Mendoza, Ecogéo. pp. 53-59.

101- GREENPEACE – 2003 – *Chapitre "glaciares de Cuyo"* Document en ligne.

102- GROZAVU, A. ; KOCSIS, L-S., *dir.* – 2005 – *Dictionnaire multilingue et multimédia de l'environnement et des sciences de la Terre*. Iasi, Roumanie, Ed° Azimuth. 650 p. + CD-rom.

103- GUERRERO, F. – 2008 – « Godoy Cruz terceriza el tratamiento de sus residuos ». *In Journal Los Andes*. 19-09-08.

H

104- HALIK, W. – 2003 – *Les évolutions des oasis de la région aride au Xinjiang et leur développement durable. Exemple des oasis de Qira*. Thèse de géographie de l'université de Nice Sophia-Antipolis. 421 p.

105- HERNANDEZ, V-G. – 2006 – « Derecho ambiental y mediación, caso de conflictos hídricos ». *In Taller regional de desarrollo de capacidades*, Mendoza, INA-CELA. 5-9 juin 2006.

106- HERNANDEZ, J. ; MARTINIS, N. – 2006 – « Particularidades de las cuencas hidrogeológicas explotadas con fines de riego en la Provincia de Mendoza », *In III Jornadas de Actualización en Riego y Fertirriego*. INA, INTA, DGI, UNC/FCA, CIAM. Mendoza, 10 et 11 Août 2006.

107- HOFFMANN, F. et PELLEGRIN, J-C. – 1996 – « Méthodologies hydrochimiques ». *In Travaux du LGPA* n° 14. pp. 13-79.

108- HOFFMANN, F. et TARRISSE, A. – 2000 – « Influences climatiques et pression anthropique sur l'hydrologie des bassins karstiques des vallées de la Dordogne et du Lot ». *In Travaux du LGPA* n° 18. pp. 63-97.

109- HOFFMANN, F. – 2005 – *Les tufs et travertins en Périgord-Quercy*. Kastologia mémoires n° 13. PUB, Pesac. 260 p.

I

110- ICARDI, P. – 2004 – « La UNCuyo advierte sobre la contaminación del agua en Mendoza ». *In Journal Los Andes* du 31-08-2004.

111- ICARDI, P. – 2005 – « El glaciar Horcones descendió cuatro kilómetros en un año ». *In journal Los Andes* du 15-11-2005.

112- ICARDI, P. – 2008a – « Ernesto Montoro: "Hay que fortalecer el poder de policía del EPAS" ». *In Journal Los Andes* du 04-06-2008.

113- ICARDI, P. – 2008b – « Harán una auditoría en OSM antes de autorizar otro "tarifazo" ». *In Journal Los Andes* du 25-06-2008.

114- IDDER, T. – 1998 – *La dégradation de l'environnement urbain lié aux excédents hydriques au Sahara algérien. Impact des rejets d'origine agricole et urbains et techniques de remédiation proposées. L'exemple de Ouargla*. Thèse de doctorat en Sciences de la Terre et de l'atmosphère. Université d'Anger. 284 p.

115- Institut National de santé publique du Quebec, Groupe scientifique sur l'eau – 2003 – « Turbidité ». In *Fiches synthèses sur l'eau et la santé humaine.*. 5 p.

K

116- KUPPER, E. ; QUERNER, E. ; MORÁBITO, J., MENENTI, M. – 2002 – « Using the SIMGRO regional hydrological model to evaluate salinity control measures in an irrigation model area », *in Agricultural Water Management n° 56*, Wageningen (Pays Bas). pp. 11-15.

L

117- LAMARRE, D. – 1994 – « Climatologie et environnement : à propos des indicateurs climatiques en milieu intertropical ». *In Enregistreurs et indicateurs de l'évolution de l'environnement en zone tropicale*, sous la direction de MAIRE, R. ; POMEL, S. et SALOMON, J-N. Pessac, PUB. pp. 205-218.

118- LAMBERT, R. – 1995 – *Géographie du cycle de l'eau*. Toulouse, Presses du Mirail. 425 p.

119- LAVIE, E. – 2005 – « La pollution de l'eau d'un milieu humide sableux : application au bassin versant de l'étang de Carcans Hourtin ». *In Travaux du LGPA* n° 23. pp. 49-61.

120- LAVIE, E. – 2007a – « Deux exemples d'aménagements pour l'amélioration de la qualité de l'eau d'irrigation dans l'oasis de Mendoza (Argentine). Le Système Pescara et l'imperméabilisation du canal Matriz San Martín ». *In Travaux du Laboratoire de géographie Physique Appliquée n° 25*. Pessac, Mars 2007. pp. 83-106.

121- LAVIE, E. – 2007b – « La ressource hydro-électrique dans la Province de Mendoza » *in Cahiers d'Outre Mer n°* 239, Vol 06. Pessac, Décembre 2007. pp. 319-339.

122- LAVIE, E. ; MORÁBITO, J. ; SALATINO, S. – 2008 – « Problèmes de pollution phosphatée de l'eau d'irrigation en zones aval d'oasis : le cas de la quatrième zone agricole irriguée de l'oasis du río Mendoza, Argentine ». *in Actes du World Water Congres IWRA*, Montpellier, 01 au 04 Septembre 2008.

123- LAVIE, E. ; MORÁBITO, J. ; SALATINO, S. – à paraître – *« La gestion de l'eau potable et de l'assainissement dans l'agglomération-oasis de Mendoza (Argentine) : entre quantité, qualité et gestion tarifaire ».*

124- LAYMOND, P. – 1999 – *Les crues torrentielles à Mendoza (Argentine)*. TER de Maîtrise, Univ. Bordeaux 3, Pessac. 144 p.

125- LAYMOND, P. – 2000 – *Croissance urbaine et problèmes environnementaux à Mendoza (Argentine)*. Mémoire de DEA, Univ. Bordeaux 3, Pessac. 135 p.

126- LAYMOND, P. – 2006 – *Mal-développement et gestion de l'environnement. Le cas du Grand San Miguel de Tucuman (Nord-Ouest de l'Argentine)*. Thèse de Géographie, Univ. Bordeaux 3, Pessac. 527 p.

127- LEBEAU, R. – 1996 – *Les grands types de structure agraire dans le monde*. Paris, A. Colin. 182 p.

128- LEIVA, J-C. – 1999 – « Recent fluctuations of the argentinean glaciers » *in Global and planetary change n°22*, articles en ligne Science Direct. pp. 169-177.

129- LEIVA, J-C. – 2002 – *La situación actual de los glaciares andinos*. Publication en ligne du CONICET-IANIGLA. pp. 181-185.

130- LEJOT, J. ; CALLOT, Y. – 2005 – « L'homme et l'eau à Aleg (Mauritanie) : de la Pénurie à l'excès » *in Sécheresse* n° 16-3. pp. 175-181.

131- LLOP, A. – 2002 – *Guía sobre la salinización del agua subterránea en el este mendocino*. Publication DGI et INA-CELA. 61 p.

132- LLORENS, R-E. – 2002 – *Avances o retrocesos glaciarios en los Andes centrales argentinos.* Publication en ligne du CONICET-IANIGLA. pp. 177-180.

133- LOHN, *Dir*. – 2004 – *Estudio de la contaminación del agua subterránea de la subcuenca « El Carrizal ».* Informe final. Convenio INA-MAyOP. San Juan. Tomes I et II. 124 p. + 160 p. + anexes.

134- LOPEZ, P. ; MAZA, J. ; SEOANE, R. ; MOYANO, C. ; BURGOS, V. ; VARGAS, A. ; ALMEIRA, G. ; FORNEO, L. ; NUÑEZ, M. – 2006 – « Estudios de actualización hidrológica del proyecto "complejo de obras presa chacras de Coria para atenuación de crecidas y demás obras complementarias" », *in Jornadas de actualización sobre el recurso hídrico*, Mendoza, 28 septembre 2007.

135- LOS ANDES (journal) – 2002 – *Curso de educación ambiental*. Fascicules sur l'environnement distribué aux enseignants et élèves dans le journal *los Andes*, n° 1, 2, 6 et 7.

136- LOS ANDES (journal), sans auteur – 2004 – *Firman importante convenio con municipios*. 01-09-04.

137- LOS ANDES (journal), sans auteur – 2007 – « Expreso Luján reciclará el agua de sus lavaderos ». 14-10-07.

138- LOS ANDES (journal), sans auteur – 2008a – « El Pescara y un nuevo llamado de alerta ». 03-01-08.

139- LOS ANDES (journal), sans auteur – 2008b – « Capital lanza un plan de "tolerancia cero" para mantener limpia la Ciudad ». 08-02-08.

140- LOS ANDES (journal), sans auteur – 2008c – « Vienen por todo: Villavicencio planea buscar oro en su reserva ecológica ». 09-04-08.

141- LOS ANDES (journal), sans auteur – 2008d– « Por riesgo ambiental clausuran por treinta días a una refinería ». 25-05-08.

142- LOS ANDES (journal), sans auteur – 2008e – « Rehabilitaron en 7 días una refinería cerrada por un mes ». 12-06-08.

143- LOS ANDES (journal), sans auteur – 2008f– « El EPAS denuncia a Obras Sanitarias ante la justicia por el agua con manganeso ». 02-10-08.

144- LUNA, Felix – 1997 – *Breve historia de los Argentinos*. Booket+, Buenos Aires. 267 p.

M

145- MACARY F. – 2002 – *Conception du traitement des effluents vinicoles et viticoles au Château Dillon à Blanquefort, dans le cadre d'une méthodologie à caractère pilote et pédagogique*. Mémoire de fin d'études, 3ème cycle cours supérieur de l'ENESAD préparant au certificat d'études supérieures en agri-culture-environnement. 63 p. + 40 p.

146- MACARY, F. ; LAVIE, E. ; LUCAS, G. ; RIGLOS, O. – 2006 – « Méthode de changement d'échelle pour l'estimation du potentiel de contamination des eaux de surface par l'azote ». *In Ingéniéries EAT* n° 46. CEMAGREF Anthony, Juin 2006. pp. 35-49.

147- MAGNE, C. – 2005 – *Evolution des discours en environnement entre les pays francophones. Evolution basée sur l'étude des actes de colloque du SIFEE*. TER de Maîtrise, Univ. Bordeaux 3, Pessac. 121 p.

148- MAINGUET, M. – 2003 – *Les pays secs, environnement et développement*. Paris, Ellipses, Carrefours. 159 p.

149- MANNINO, M-E. – 1992 – « Diagnóstico de la contaminación ambiental en la ciudad de Mendoza ». *In Boletín de Estudios Geográficos n° 88, Vol. XXV*. Mendoza, UNC. pp. 153-184.

150- MANNINO, M-E. – 1996 – « Los residuos », *in Problemas del medio ambiente de la provincia de Mendoza*. Mendoza, Ecogéo. pp. 113-127.

151- MANRIQUE, F. – 2007 – « En los próximos años, el agua tendrá más valor que el oro ». Interview de l'Ing. MESTRE. Journal *Los Andes*. 09-09-2007.

152- MARTI, L. ; FILIPPINI, M. ; SALCEDO, C. ; DROVANDI, A. ; TROILO, S. ; REY, E. ; CAMPOS, S. ; VALDES, A. – date non mentionnée – *Metales pesados contaminantes en suelos de oasis irrigados en la provincia de Mendoza : I- Contenidos totales de Pb, Cd, Zn y Cu*. pp. 236-245.

153- MARTINEZ CARRETERO, E. – 1989 – « Vegetación, red de drenaje y erosión en el

piedemonte de Mendoza ». *In Detección y control de la desertificación*. Mendoza, ROIG, FA Ed. pp. 180-184.

154- MASSINI CALDERON, J-L. ; ROBLEDO, S-B. – 1994 – « Tierras, irrigación y colonización en Mendoza a principios del siglo XX (1900-1917) », in *Revista de estudios regionales n° 11*. Mendoza, CEIDER. pp. 101-150.

155- MASTRANTONIO, L. – 2006 – *Reuso agrícola de efluentes industriales y domésticos: efecto en la calidad de agua y suelo.* Publication des Etats ibérico-américains por l'éducation, la science et la culture – DGI. 95 p.

156- MDZOL – 2008 – « Los mendocinos aseguran que ayudan a cuidar el ambiente de diversas maneras ». *Journal en ligne Mendoza on line*. 07-06-08.

157- MIKKAN, R. – 1984 – *Geomorfología del piedemonte mendocino en el ámbito de la carta 1:50000*. Maîtrise de géographie, *Facultad de filosofía y letras, Universidad Nacional de Cuyo*. 76 p.

158- MIKKAN, R. – 1996 – *Fenómenos catastróficos naturales que afectan al Gran Mendoza*. Thèse doctorale de l'UNC, Institut de géographie, Mendoza. 200 p.

159- MIQUEL, G. ; REVOL, H. – 2002-2003 – *La qualité de l'eau et de l'assainissement en France.* Rapport 215, tome 2, Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. Paris, en ligne sur le site du Sénat français.

160- MOLENAAR, J-W. ; VAN SANTEN, C-M. – 2006 – « Perceptions of water in a changing hydrological and ecological context: the case of the Logone flood plains in Cameroon » in *The Geographical Journal*, vol. 172-4. pp. 331-347.

161- MOLLE, F. – 2007 – « Scales and power in river basin management: the Chao Phraya River in Thailand » *in The Geographical Journal* vol. 173-4. pp. 358-373

162- MONTANA – 1995 – « Alternative de croissance urbaine d'une ville oasis : un débat ouvert. Le cas de Mendoza en Argentine ». *L'Information géographique Vol. 59 n° 1*. Paris. pp. 24-34.

163- MORÁBITO, J-A. – 1997 – *Introducción al riego. En el mundo, Argentina y Mendoza.* Mendoza, publication INA, 37 p.

164- MORÁBITO, J. – 2003 – *Desempeño del riego por superficie en el área de riego del río Mendoza*. Tesis de Maestría (mémoire de Master) de la FCA/UNC, et INA. 91 p.

165- MORÁBITO, J. *dir*. – 2002-2004 – *Eficiencia de riego y evaluación de la calidad del agua en el área regadía del río Mendoza. Recomendaciones para un aprovechamiento racional y sustentable*. Informe de Avance del proyecto, Mendoza, UNC et INA.

166- MORÁBITO, J. ; MARTINEZ TIVOLI, J. ; SALATINO, S. ; MIRABILE, C. ; MANZANERA, M. ; MASTRANTONIO, L. – 2004 – *Determinación de escenarios de demanda de riego en el área dominada por el río Mendoza*. Publication INA/CRA-FCA/UNC, MAyOP. 71 p.

167- MORÁBITO, J. ; SALATINO, S. ; MEDINA, R. ; ZIMMERMANN, M. ; FILIPINI, M. ; BERMEJILLO, A. ; NACIF, N. ; CAMPOS, S. ; DEDIOL, C. ; GENOVESE, D. ; PIZZUOLO, P. ; MASTRANTONIO, L. – 2005a – « Calidad del agua en el área regadía del río Mendoza (Argentina) », *in Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Tomo XXXVII*, Mendoza, UNC/FCA. pp. 1-23.

168- MORÁBITO, J. ; MIRABILE, C. ; MANZANERA, M. ; CAPPE, O. , TOZZI, D. ; MASTRANTONIO, L. – 2005b – *Evolución de la salinidad de suelos regadíos e incultos en el área del río Mendoza*. Publication INA-UNC-FCA. 19 p.

169- MORÁBITO, J. ; SALATINO, S. ; LAVIE, E. ; FILIPPINI, M. ; BERMEJILLO, A. ; MEDINA, R. ; ZIMMERMANN, M. ; CAMPOS, S. ; NACIF, N. ; DEDIOL, C. ; GENOVESE, D. ; PIZZUOLO, P. ; MASTRANTONIO, L. – 2007 – « Impactos de las obras humanas sobre la mejora de la calidad del agua en el oasis regadío del río Mendoza: "Impermeabilización

del canal Matriz San Martín" ». *Actes du Colloque National de l'Eau Argentin CONAGUA*, Mai 2007. 9p.

170- MOREIRA, S. – 2005 – *Climatic effect of ENSO associated with landslides occurrence in the Central Andes, Mendoza Province, Argentina.*
En ligne sur www.springerlink.com. 7 p.

171- MUDRY, J. ; TRAVI, Y. – 1994 – « Sécheresse sahélienne et action anthropique : deux facteurs conjugués de dégradation des ressources en eau de l'Afrique de l'Ouest. Exemple du Sénégal ». *In Enregistreurs et indicateurs de l'évolution de l'environnement en zone tropicale*, sous la direction de MAIRE, R. ; POMEL, S. et SALOMON, J-N. Pessac, PUB. pp. 219-234.

N

172- NAVE, M. ; PEDRANI, A. ; VICH, A-I-J. ; MARIANI, A. – 2002 – *Caracterización del proceso de infiltración en el piedemonte mendocino.* Publication en ligne du CONICET-IANIGLA, Mendoza. pp. 145-149.

173- NIAZI, S. ; SNOUSSI, M. ; FOUTLANE, A. – 2005 – « Impact des aléas climatiques sur la qualité des eaux d'un hydrosystème aménagé en zone semi-aride : cas du bassin-versant du Nekkor (Maroc) ». *In Sécheresse n° 16-3*. pp. 183-187.

O

174- OIKOS ; subsecretaría del gobierno de Mendoza – 1998 – *La minería de Mendoza*. pp. 41-181.

175- ORONA CASTILLO, I. ; LOYER, J-Y. ; ESPINOZA, J-J. ; GALLARD, D. – 2002 – « Utilisation segmentée de l'eau d'un bassin semi-aride mexicain : le bassin du Río Aguanaval », *in Sécheresse* n° 13-4. pp. 259-265.

176- ORTIZ MALDONADO, G. ; MORÁBITO, J. ; REARTE, E. ; MASTRANTONIO, L. – 2004 – *Salinidad del agua freática en el área regadía del río Mendoza*. Publication INA-UNC-FCA. 14 p.

P

177- PAGES, B. – 2004 – *Les impacts potentiels de l'agriculture sur l'environnement en Nouvelle Calédonie. Bilan, enjeux et perspectives*. Mémoire de DEA, Univ. Bordeaux 3, Pessac. 125 p.

178- PAIN J-M. ; MAILLOT, H ; BERNARD, D. ; BLIN, F. ; WARTEL, M. ; OUDDANE, B. – 1996 – « Le bore marqueur de pollution urbaine, le bore naturel : état des connaissances et illustrations régionales dans le bassin Artois-Picardie ». *In* Actes du séminaire *Bore et nickel dans les eaux destinées à la consommation*. Lille, 23-01-1996. pp. 673-679.

179- PAULAIS, J. – 2003 – « Qualité des eaux souterraines et impact anthropique dans un karst sous couverture : l'exemple du bassin du Caudeau (Bergeracois, Dordogne) ». *In Travaux du LGPA* n° 21. pp. 25-42.

180- PELLEGRIN, J-C. – 1997 – *Un exemple de cryptokarst en région tempérée : le karst de Casteljaloux (Lot-et-Garonne)*. Thèse de Géographie. Pessac, Université Bordeaux 3. 247 p.

181- PELLEGRIN, J-C. ; HOFFMANN, F. – 1997 – « Expérience de mise en solution des calcaires. Contrôle par conductimétrie ». *In Karstologia n° 29*. Paris, 1° semestre 1997. pp. 53-54.

182- PEREZ, M. – 1949 – « La explotación de las aguas subterráneas en la Provincia de Mendoza ». *Boletín de Estudios geográficos n° 5*. Mendoza, UNC. pp. 11-32

183- PESME, J-O. – 2004 – « Mondialisation des marchés et risques : le cas des îles de la Caraïbe comme « produits touristiques » ». *In Espaces tropicaux et risques. Du local au global*. IRD. Orléans. 10 p.

184- PINTO, M. – 2006 – « La administración y gestión del agua en Mendoza ». *In III Jornadas de Actualización en Riego y*

Fertirriego. INA, INTA, DGI, UNC/FCA, CIAM. Mendoza, 10 et 11 Août 2006.

185- PIZARRO, F. – 1996 – *Riegos localizados de alta frecuencia*. 3° Ed°. Madrid, MP.

186- POLIMENI, C-M. – 1997 – *Calidad del aire*. Mendoza, Ecogeo, pp. 39-53.

187- PONTE ; CERVINI – 1998 – *Mendoza, donde las acequias encauzan l'historia.* Mendoza, Ed° DGI. 57 p.

188- PONTE, J-R. – 2006 – « Historia del regadío: las acequias de Mendoza, Argentina », *Scripta Nova. Revista electrónica de geografía y ciencias sociales.* Barcelona: Universidad de Barcelona.

189- POUYAUD, B. ; FRANCOU, B. ; RIBSTEIN, P. ; DIAZ ESCOBAR, C. ; CAMACHO, F. – 1996 – « Les glaciers andins, remarquables laboratoires naturels ». *In Orstom actualités*. Paris, ORSTOM, pp. 9-16.

190- ProDIA ; MAyOP – 2003 – Colector Pescara, la solución definitiva, Prospectus. *Date estimée.*

191- PULIAFITO, S. – 1995 – « La calidad del aire en Mendoza ». *In Mendoza ambiental.* MAyOP-IADIZA, Mendoza, pp. 207-242.

R

192- RAUEK, T. ; FORESI, C. ; FAGOT, L. ; PEREYRA, M. – Date non mentionnée – *Saneamiento del colector pescara. Sistema centralizado de reuso en riego de efluentes líquidos agroindustriales*. DGI, et MAyOP. 15 p.

193- REARTE, E. ; FILIPPINI, M-F. ; CONY, M. ; MAFEI, J. ; MASTRANTONIO, L. ; BINOMO, V. ; ALFONSO, A. – 2006 – « Producción de humus de lombriz a partir de subproductos y efluentes de la industria del aceite de oliva" *In III Jornadas de Actualización en Riego y Fertirriego*. INA, INTA, DGI, UNC/FCA, CIAM. Mendoza, 10 et 11 Août 2006.

194- REARTE, E. ; FILIPPINI, M-F. ; MASTRANTONIO, L. – 2007 – « La lombricultura como herramienta para el tratamiento de efluentes de la industria del aceite de oliva », *in Jornadas de actualización sobre el recurso hídrico*, Mendoza, 28 septembre 2007.

195- RETA, J. – date non mentionnée – *Argentina (provincia de Mendoza*). Document en ligne sur la gestion de l'eau à Mendoza. www.fao.org

196- ROBERT, E. – 2006 – *L'envasement du lac de barrage de Bagré : une approche qualitative*. Rapport de recherche de Master 1. 87 p.

197- RODRIGUEZ, R. – 1995 – « Estudio de la contaminación del agua subterránea por efecto de los efluentes industriales », *in Mendoza ambiental*. Ministerio de medio ambiente, urbanismo y vivienda, IADIZA. pp. 45-56.

198- RODRIGUEZ AGUILERA, P. ; SATLARI, G. ; SCHILARDI, C. – 2006 – « Proceso de mejora de la distribución del agua para riego en la Provincia de Mendoza ». *In III Jornadas de Actualización en Riego y Fertirriego*. INA, INTA, DGI, UNC/FCA, CIAM. Mendoza, 10 et 11 Août 2006.

199- ROMAY, C. – 2005 – *Informe final, mayo 2005, octubre 2005. Componente calidad agua y suelo – monitoreo recurso hídrico superficial cuenca del río Mendoza.* Publication des Etats ibérico-américains pour l'éducation, la science et la culture. Document non publié, DGI. 40 p.

S

200- SALOMÓN, M. ; ABRAHAM, M-E. ; SORIA, D. – sans date a – *Propuesta de abastecimiento hídrico al tramo inferior y humedales asociados de la cuenca del río Mendoza (Argentina)*. Document Asic Primera zona. 14 p.

201- SALOMÓN, M. ; ABRAHAM, M-E. ; SANCHEZ, C-M. ; ROSELL, M. ; THO-

ME, R. ; LÓPEZ, J. ; ALBRIEU, H. – sans date b - *Análisis de los impactos ambientales generados por las presas sobre los sistemas de riego. Cuenca del río Mendoza*. En ligne : http://ceer.isa.utl.pt/cyted/brasil2008/tema2/Sessao%20II_MSalomon.pdf 20 p.

202- SALOMON, J-N. – 1968 – *La haute vallée du río Mendoza, Argentine. Mémoire de maîtrise de l'Institut de Géographie*. Université Bordeaux 3. Pessac.

203- SALOMON, J-N. – 1969 – « El alto valle del río Mendoza ». *In boletín de Estudios Geográficos* n° 62, VOL. XVI. Mendoza, UNC. pp. 1-50.

204- SALOMON, J-N. – 2003a – « Le réchauffement planétaire : ce que l'on sait en ce début de siècle », *in Travaux de Laboratoire de Géographie Physique Appliquée*, Pessac, LGPA, UFR de Géographie, Univ. Bordeaux 3. pp. 69-86.

205- SALOMON, J-N. – 2003b – *Danger, Pollutions !* Pessac, PUB. 171 p.

206- SALOMON, J-N. – 2006 – « Les dangers de l'irrigation » *in Annales des Mines*. Avril, 2006. pp. 20-32.

207- SALOMON, J-N. – 2006 – « Les dangers de l'irrigation », *in Annales des Mines*. Paris, Ecole des Mines, Avril 2006. pp. 20-32.

208- SALOMON, J-N. – 2007 – « Le Río Atuel, un exemple d'aménagement en milieu naturel subaride (Andes de Mendoza, Argentine) » *In Cahiers d'Outre Mer n°* 239, Vol 06. Pessac, Décembre 2007. pp. 301-318.

209- SALOMON, J-N. – 2008a – « Le « bon état des eaux » en question, en France », *In Sud-ouest Européen* n° 25. pp. 1-9.

210- SALOMON, J-N. – 2008b – « La querelle des OGM », *In Sud-ouest Européen* n° 25. pp. 25-37.

211- SALOMON, J-N. ; BUSTOS, R. – 1992 – « Le karst du gypse des Andes de Mendoza-Neuquén (Argentine) », *in Karstologia n° 20*. pp. 11-22.

212- SALOMON, J-N. ; PRAT, M-C, *Dir.* - 2004 – « Le piémont andin argentin : environnement, risques et enjeux », *n° spécial Travaux du Laboratoire de Géographie Physique Appliquée*, Pessac, LGPA, UFR de Géographie, Univ. Bordeaux 3. 241 p.

213- SAM – 2001 – *Boletín informático de la SAM du 04-2001*. Compilation d'articles de journaux en ligne.

214- SAURINA, S-M. ; GOMEZ, M-E. ; FARO, B. – 2007 – « Capacitación en Concienciación para la Gestión Integral de los Recursos Hídricos », *in Jornadas de actualización sobre el recurso hídrico*, Mendoza, 28 septembre 2007.

215- SEBEI, A. ; CHAABANI, F. ; SOUISSI, F. ; ABDEJAOUED, S. – 2004 – « Hydrologie et qualité des eaux de la nappe de Grombalia (Tunisie Nord-orientale) » *in Sécheresse* n° 15-2. pp. 159-166.

216- SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, PESCA Y ALIMENTACIÓN DE LA NACIÓN ; DGI – 2006 – *Plan director del río Mendoza*. Mendoza, DGI. 82 p.

217- SELMI, S. ; SAI, M-B. – 1998 – « La gestion collective de l'eau d'irrigation en Tunisie. Particularité des Associations d'Intérêt Collectif des oasis », *in Sécheresse spécial Oasis Vol 9 n°2*, juin 1998, Paris. pp. 111-116

218- STURNIOLO, L. – 2008a – « El canal Cacique Guaymallén recibió el agua repleto de basura », *in Journal Los Andes*. 23-07-08.

219- STURNIOLO, L. – 2008b – « El EPAS va a Justicia contra OSM por el agua turbia », *in Journal Los Andes*. 03-10-08.

T

220- THENIER, F. – 2001 – *La pollution de l'air et la santé dans le Grand San Juan (Argentine)*. TER de Maîtrise, Univ. Bordeaux 3, Pessac. 116 p.

221- TOUCHARD, L. – 2003 – *Hydrologie, mers, fleuves et lacs*. Paris, A. Colin, Ed° Campus. 190 p.

222- TROIN, J-F. – 2005 – « Iles et oasis : de l'isolat au monde » *in Annales de Géographie* n° 644, 114° année -07-08/2005. pp. 339-341.

U

223- USACH, Z.. – 2007 – « El calentamiento repercute en los glaciares mendocinos », *Journal Los Andes* du 03-02-2007.

V

224- VELUT, S. – 2002 – *L'Argentine, des provinces à la nation*. PUF-Géographie, Paris. 295 p.

225- VICH, A. ; PEDRANI, A. – 2002 – *La erosión hídrica en el piedemonte árido de Mendoza*. Publication en ligne du CONICET-IANIGLA. pp. 151-154.

226- VIERS, G. – 1963 – « Le piémont semi-aride disloqué de Mendoza », *in RGPSO n° XXXIV*, pp. 89-114.

227- VIERS, G. – 1965 – « Observations sur la glaciation quaternaire dans les Andes de Mendoza », *in RGPSO n° XXXVI*, Juin 1965. pp. 89-116.

228- VIERS, G. – 1966 – « La morfología del piedemonte andino en la provincia de Mendoza: los hechos y las concepciones antiguas », *in Boletín de Estudios geográficos n° 52*, Mendoza, UNC. pp. 165-181.

229- VIOLLAT – 2006 – « Les OGM, pari à trois inconnues ». *In Atlas du Monde diplomatique*. pp. 32-33.

W

230- WALKNER, M. – 2001 – « Retroceden los glaciares mendocinos », *in Journal La Nación* du 11-04-2001.

Z

231- ZAMORANO, G-L. ; ALESSANDRO, M. ; FERNANDEZ, L-E. ; ALEGRE, F-G. – 2006 – « Evaluación de la contaminación por sólidos en los cauces aluvionales del subsistema urbano del *Gran Mendoza* » *In Anales de la Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas*. Santiago de Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile. (*sous presse*) 4 p.

232- ZAMORANO, G.-L. ; ALEGRE, F-G. ; ANDRADE, M-A. ; BARBERO, M-N. ; LAYMOND, P. ; LAVIE, E. ; DAVID, J-P. ; GONZALES, M-B. ; LUCERO, L. ; MENDEZ, G. ; SANTIAGO, A. ; RODRIGUEZ, M. – 2008 – « Contaminación por residuos sólidos en acequias y veredas del Gran Mendoza ». *X° jornadas de geografía de la UNC*, 28 au 31 mai 2008.

233- ZOIA, O. ; FASCIOLO, G. – date non mentionnée – *Contaminación hídrica industrial de Mendoza.* Mendoza, document INCITH-CELA. pp. 99-105.

234- ZOIA, O. ; MANGHISI, S. – 1983 – *Costos del control de la Contaminación en áreas urbanas.* Mendoza, document INCITH-CELA. pp. 10-23.

235- ZOIA, O. ; FASCIOLO, G. –1989 – *Contaminación hídrica industrial en Mendoza.* Mendoza, document INCITH-CELA. pp. 5-18.

236- ZOIA, O. ; FASCIOLO, G. – 1989 – *Contaminación hídrica industrial y doméstica en Mendoza.* Mendoza, document INCITH-CELA. 8 p.

237- ZOIA, O. ; RAOUEK, T. ; GIORDANO, R. ; LOPEZ, J. ; SOSA, E – 2006 – « Problemática del manejo de la contaminación de efluentes industriales. Presentación del caso Pescara desde la visión de distintos actores » *In Taller regional de desarrollo de capacidades*, Mendoza, INA-CELA. 5-9 juin 2006.

238- ZULUAGA, J. ; FILIPPINI, M. ; DROVANDI, A. ; BERMEJILLO, A. ; MORSUCCI, A.; VALDÉS, A. – 2006 – « Calidad del agua de riego en la tercera zona

del río Mendoza » - Argentina, 2005-2006. *1° congreso Internacional sobre Gestión y Tratamiento Integral del Agua*. Avril 2006, Córdoba, Argentina. 4p.

Table des matières

Résumés **3**
Remerciements **5**
Sommaire **9**
Liste des sigles utilisés **11**
Lexique des termes castillans **13**
Avant-propos **15**
Introduction **19**

PREMIERE PARTIE : **31**

Chapitre 1 : **35**
1-1- L'eau du ciel, une denrée rare mais parfois dangereuse **35**
1-1-1- Le Cuyo, désert de piémont andin 35
- Une situation d'abri 35
- Une continentalité vécue au quotidien 37

1-1-2- Des pluies rares mais intenses 38
1-2- Une alimentation limitée **40**
1-2-1- Le río Mendoza, cadeau divin ? 40
1-2-2- Les pluies 43
1-2-3- Un aquifère libre limité 43
1-3- Une mise en valeur relativement ancienne **48**
1-3-1- Les premiers occupants connus : les indiens Huarpes 48
1-3-2- La colonisation européenne et le vice royaume de la Plata 50
- Le cadre national et international 50
- Le cadre mendocino 51

1-3-3- « Les Mexicains descendent des Aztèques, les Péruviens des Incas, les Argentins des bateaux » 53
Chapitre 2 : **57**
2-1- Un réseau étendu et complexe de systèmes emboîtés **57**
2-1-1- Le réseau énergétique 57
2-1-2- Le réseau domestique 59
- l'AEP (Alimentation en Eau Potable).. 59
- L'assainissement.. 63

2-1-3- Les réseaux urbains 66
- Le système de protection contre les crues. … 66
- L'irrigation publique. 66

2-1-4- Le réseau industriel 70
2-1-5- Un réseau à finalité avant tout agricole 71
- Le réseau agricole primaire 71

- Les espaces de réutilisation des effluents 73

2-2- Distribution et évacuation de l'eau : une ressource bien gérée ? 74

2-2-1- Le contexte politico-législatif 74

2-2-2- A l'échelon local, une surreprésentation du privé dans la pratique 77

- Irrigation et Industrie : Les Inspecciónes de Cauce, assemblées d'usagers 77
- Eau domestique : des acteurs publics ou privés 79
- Ressource énergétique : le secteur privé assure production et distribution 80

2-2-3- A l'échelon provincial, le public reste législateur 81

- Pour le réseau domestique : l'EPAS 81
- Pour le réseau électrique : l'EPRE 82
- Le DGI, organisme tout puissant 82
- Un coordinateur : le MAyOP 84

2-2-4- De nouvelles technologies au service d'une meilleure gestion des usages de l'eau 84

Chapitre 3 : 89

3-1- Une offre en baisse à moyen terme 89

3-1-1- Chaleur, sécheresses et baisse des précipitations neigeuses 89

3-1-2- Des glaciers qui fondent 94

- Le recul spectaculaire du glacier de los Horcones 95
- Le Cajón del Rubio 97
- La masse glaciaire du Plomo en danger 100

3-2- Une demande en hausse 102

3-2-1- Une infrastructure moderne sur le plan de la distribution… 103

- les barrages 103
- Les canaux et écluses 104
- Les pompes 104

3-2-2- … mais pas toujours efficace mais sur plan qualitatif 104

- Les macro-déchets abaissent les débits 104
- Le barrage de Potrerillos ou la fin du pouvoir imperméabilisant des eaux de fonte des neiges 105
- Des pompes mal entretenues 107

3-2-3- Des prélèvements en hausse 107

- La ressource superficielle est surexploitée 107
- La ressource souterraine, une exploitation en baisse 110

3-2-4- Le mythe de l'eau inépuisable 112

- La fonte des glaciers : une illusion d'abondance 112
- Le prix de l'eau, un sentiment de quantité 113

CONCLUSION DE LA PARTIE 1 117

DEUXIEME PARTIE : 119

Méthodologie 122

La question des seuils 122

Les études recensées 124

- DGI-OIKOS, 2006 127
- MASTRANTONIO, 2006 127
- FEIJÓO *et al*., 2007 127
- ZAMORANO *et al*., 2006 et 2008 128
- Qualité INA-CRA 2003-2008 130

Les apports personnels **133**
Chapitre 4 : **137**
4-1- Une pollution bactériologique concentrée **137**
4-1-1- Pollution domestique : inefficacité du système d'assainissement collectif..... 142
- Les eaux superficielles 142
- Les eaux souterraines 145

4-1-2- Pollution industrielle : les bodegas « en ligne de mire »..... 146
4-2- Des menaces plus récentes **150**
4-2-1- Les produits pharmaceutiques..... 151
4-2-2- Les OGM en Argentine..... 152
Chapitre 5 : **155**
5-1- Des eaux claires… mais pas partout **156**
5-1-1- Le problème des eaux claires pour les pertes en eau..... 161
5-1-2- Des activités anthropiques qui rendent les eaux troubles..... 164
- Le río Mendoza : points RI-RII-RIII..... 165
- Les activités agricoles : points RI-CIV 166
- Le canal Jocoli : points CI-CII 167
- Le Système Pescara : points DI-DVIII-CI-CV 169

5-2- Les paramètres sensoriels **173**
5-2-1- Des couleurs changeantes..... 173
5-2-2- Les mauvaises odeurs sont-elles des pollutions ? 174
5-3- Les macro-déchets, une pollution qui se voit **176**
5-3-1- Les déchets des zanjones : les indigents montrés du doigt 176
5-3-2- Les déchets des acequias..... 177
5-3-3- Les déchets dans les canaux..... 180
CONCLUSION DE LA PARTIE 2..... **184**

TROISIEME PARTIE : **187**

Précisions méthodologiques..... **191**
Les études recensées..... 191
- ALVAREZ, 1995 et LLOP, 2002 191
- MORÁBITO, 2003..... 191
- LOHN, 2004..... 192
- ORTIZ MALDONADO *et al*., 2004..... 192
- MASTRANTONIO, 2006..... 193
- FERNANDEZ, *et al*., 2006 193
- Qualité INA 2003-2008..... 193

Les apports personnels **193**
Chapitre 6 : **195**
6-1- La minéralisation des eaux de surface..... **195**
6-1-1- Vers une salinisation ?..... 196
6-1-2- Des pressions domestiques et industrielles fortes sur le système calco-sulfaté 203
- Le système urbain-domestique..... 206
- Le système industriel du Pescara 208

6-1-3- Une pression azotée relativement limitée..... 210
6-1-4- Une pression phosphatée diffuse et très importante..... 215
- Une pollution des eaux dans le río Mendoza en amont de l'oasis 216

- Une pollution diffuse à l'échelle de l'oasis 218
- Quelques sites très pollués 219

6-2- La minéralisation des aquifères 221

6-2-1- Une conductivité électrique inquiétante 222
- Les trois niveaux d'aquifère sont concernés 222
- La pollution souterraine des ACREs 226

6-2-2- Des nitrates d'origine urbaine 226
6-2-3- Des phosphates d'origine domestique 228
6-2-4- Les autres éléments 230
- Le bore 230
- Le fluor 230

Chapitre 7 : 233

7-1- Une asphyxie du milieu ? 233

7-1-1- L'Oxygène dissous de l'eau, des comportements variés 234
7-1-2- Une Demande Chimique en Oxygène très haute 237

7-2- Les pesticides 239

7-3- Les métaux lourds 240

7-3-1- Les métaux lourds dans le réseau superficiel 240
- Le cadmium 241
- Le cuivre 243
- Le zinc 244
- Le PIP est-il responsable de la pollution du río Mendoza en métaux lourds? 244

7-3-2- Les métaux lourds dans les aquifères 248
- L'arsenic 248

CONCLUSION DE LA PARTIE 3 250

QUATRIEME PARTIE : 253

Chapitre 8 : 257

8-1-1- Les intrants chimiques 258
Vigne 258
Vergers/oliviers. 258
Cultures maraîchères. 259
8-1-2- Une grande responsabilité dans les processus de salinisation 260

8-2- L'industrie, un impact anthropique conséquent mais localisé 261

8-2-1- les industries agro-alimentaires 261
- Les bodegas 262
- Les usines de conserves de fruits et légumes 263
- Les fabriques d'huile d'olive 263
- Les abattoirs 264

8-2-2- Les industries de l'énergie 264
- L'hydroélectricité 264
- L'énergie thermique 265
- L'extraction du pétrole et du gaz 265
- L'activité minière 267

8-2-3- Les autres industries 269

8-3- La pollution domestique, un impact anthropique mal estimé 270

8-3-1- La question des eaux usées 270
- Les foyers non reliés au réseau collectif d'assainissement 270

- Le réseau domestique collectif 271

8-3-2- La pollution urbaine 274

8-3-3- L'incivilité, l'impact environnemental le plus visible 275

Chapitre 9 : 277

9-1- Le risque sanitaire 277

9-2- Le coût socio-économique 281

9-2-1- Le coût des macro-déchets 281

9-2-2- La dévalorisation du foncier 283

9-2-3- La dégradation des sols et des eaux d'usages agricoles 284

9-2-4- Le coût du traitement des eaux 287

- Les eaux domestiques 287
- Les eaux usées industrielles 289

9-3- Le coût environnemental 290

9-3-1- Une végétation naturelle qui recule 291

9-3-2- Une végétation anthropique malade 292

9-3-3- Une faune pourtant variée 294

Chapitre 10 : 297

10-1- Des solutions avant tout curatives 297

10-1-1- Améliorer les infrastructures de distribution de l'eau 298

- Enterrer les canaux AEP 298
- Eliminer les macro-déchets dans les canaux 299
- Imperméabiliser les canaux 299

10-1-2- Rendre plus efficaces les infrastructures de traitement des eaux 301

- Améliorer la qualité de l'eau du robinet 302
- Construire des Stations d'Epuration par boues activées 305
- Traiter chimiquement les effluents industriels 306

10-1-3- Vers une meilleure gestion du devenir des macro-déchets ? 308

- La collecte des déchets 309
- Le traitement des ordures domestiques 312

10-2- Mais avant tout, une prise de conscience est nécessaire 316

10-2-1- Des solutions préventives peu nombreuses 316

10-2-2- Quels accès à l'information ? 317

- Les municipalités 317
- La campagne électorale 2007 320
- Les medias généralistes d'information 320
- Les Associations et les réseaux de défense de l'environnement 322
- Une information à but commercial : le cas Danone 323

10-2-3- Le rôle des institutions : des solutions structurelles 325

- Regrouper les décisions et actions au sein d'un même organisme 326
- Informer 327
- Inciter et contraindre financièrement les acteurs 328

Chapitre 11 : 335

11-1- Une durabilité comptée 335

11-1-1- La notion de durabilité 336

11-1-2- La théorie du cycle de vie des oasis 336

- Le cycle de vie du produit 336
- Adaptation au produit « oasis » 337

11-1-3- La durabilité des oasis de Mendoza 338

11-2- « L'avenir est dans le Sud » 340

11-2-2- Valle de Uco, un avenir agricole et viticole 344
11-2-3- San Rafael, future agglomération mendocina 344
11-2-4- De petites oasis en devenir 346
11-2-5- Un projet pharaonique pour la province 346
CONCLUSION DE LA PARTIE 4 349

Conclusion générale 351
Bibliographie 361
Table des matières 375
Index 381
Index des figures 381
Index des graphiques 383
Index des tableaux 384
Index des photographies et des pages photographiques 384

Index

Index des figures

Fig. 1 : Le relief de l'Argentine et localisation de la zone d'étude 27
Fig. 2 : Le site d'étude : l'oasis du río Mendoza, et les unités physiques et humaines le composant……..29
Fig. 3 : La diagonale aride sud américaine (moyenne 1960-1990) 36
Fig. 4 : Aridité à Mendoza : processus 37
Fig. 5 : Diagramme ombro-thermique de Mendoza 38
Fig. 6 : Rose des vents à Mendoza 38
Fig. 7 : Le paradoxe climatique de Mendoza 39
Fig. 8 : Morphologie du piémont de Mendoza : aléas et risques inondations…….....41
Fig. 9 : Débit du río Mendoza 42
Fig. 10 : Débit des affluents du río Mendoza 42
Fig. 11 : Diagramme ombro-thermique de Montagne (Las Cuevas) 42
Fig. 12 : Carte des flux des rivières du bassin-versant du río Mendoza en amont du barrage de Cipolletti……..……44
Fig. 13 : Géomorphologie simplifiée de la zone d'étude. Plan et coupes……45
Fig. 14 : Hydrogéologie du bassin-versant souterrain des ríos Mendoza et Tunuyán inférieur ……...49
Fig. 15: Le site de Mendoza 50
Fig. 16 : Organisation politique et sociale en Amérique Latine espagnole au XVIIIème siècle……..52
Fig. 17 : Plan de Mendoza datant de 1761…….....54
Fig. 18 : Système de traitement, de distribution et de collecte des eaux domestiques du Gran Mendoza……....60
Fig. 19 : Les réseaux emboîtés de distribution et d'évacuation des eaux dans l'oasis de Mendoza……69
Fig. 20 : Infrastructures d'irrigation agricole à Mendoza 73
Fig. 21 : Les usages de l'eau dans l'oasis : des quantités qui augmentent…...……....75
Fig. 22 : Exemple de facture envoyée aux agriculteurs par le DGI 78
Fig. 23 : Le système de production hydro-électrique du río Mendoza / Potrerillos..... 81
Fig. 24 : Organisation du DGI..... 82
Fig. 25 : Investissements (en millions d'€) du DGI 83
Fig. 26 : Organigramme des usagers et gestionnaires de la ressource en eau..... 85
Fig. 27 : Entrées et sorties d'eau dans le BV du río Mendoza……...92
Fig. 28 : Localisation des glaciers du BV du río Mendoza 96
Fig. 29 : Fluctuations spatiales des glaciers du Cajón del Rubio.....……99
Fig. 30 : Fluctuations spatiales des glaciers du complexe du Plomo……...101

Fig. 31 : Localisation des secteurs-tests pour le recensement 130
des macro-déchets dans les *acequias* 130
Fig. 32 : Localisation des points de prélèvements 132
Fig. 33 : Cartographie des bactéries aérophiles mésophiles..... 139
dans le réseau d'irrigation de l'oasis 139
Fig. 34 : Cartographie des coliformes fécaux dans le réseau d'irrigation de l'oasis..... 140
Fig. 35 : Cartographie des coliformes totaux dans le réseau d'irrigation de l'oasis 141
Fig. 36 : Coliformes fécaux dans la nappe phréatique des ACREs..... 146
Fig. 37 : Système de « traitement » des eaux dans le secteur Pescara 149
Fig. 38 : MES dans les eaux superficielles..... 157
Fig. 39 : Solides totaux dans les eaux superficielles 158
Fig. 40 : Turbidité dans les eaux superficielles..... 159
Fig. 41 : Classement qualitatif des eaux en fonction de leur teneur moyennes en solides 160
Fig. 42 : Turbidité de l'eau dans le BV amont du río Mendoza……..…163
Fig. 43 : Variations temporelles de la turbidité dans les points d'étude du Système Pescara 172
Fig. 44 : Quantités et types de déchets recensés dans le *zanjón* de Frias - 2005-2006 179
Fig. 45 : La question des déchets et de la société de consommation en Argentine vue par le dessinateur Quino. 182
Fig. 46 : Conductivité électrique de l'eau d'irrigation dans les domaines agricoles (2001-2002)..... 197
Fig. 47 : Conductivités électriques dans les points de suivi,..... 199
données mensuelles 2003-2008..... 199
Fig. 48 : Conductivités électriques dans les points de suivi,..... 200
Fig. 49 : Classement de qualité des nitrates 214
Fig. 50 : Cartographie de la qualité phosphatée de l'eau d'irrigation 217
Fig. 51 : Variations temporelles des phosphates dans les points suivis par l'INA, ... 220
2003-2008..... 220
Fig. 52 a et b : Superficies affectées en fonction des différents rangs de CE de l'eau phréatique (<80 m) 223
Fig. 53 : Conductivités électriques dans le second niveau de l'aquifère,..... 224
en 1983, 1987 et 1991 224
Fig. 54 : Conductivité électrique dans les trois niveaux exploités de l'aquifère..... 225
en 1991-1992..... 225
Fig. 55 : Pollution minérale des eaux souterraines des ACREs 227
Fig. 56 : Pollution nitratée des eaux souterraines des ACREs 227
Fig. 57 : Pollution phosphatée des eaux souterraines des ACREs 229
Fig. 58 : Pollution au bore des eaux souterraines des ACREs 229
Fig. 59 : L'oxygène dissous dans les eaux des points du suivi 236
Fig. 60 : Une DCO très élevée 238
Fig. 61: Cartographie de l'indice « impact environnemental total »..... 240
à l'échelle de l'unité de gestion..... 240
Fig. 62 : Diffusion des métaux lourds dans le réseau superficiel..... 242
Fig. 63 : Impact du PIP sur la qualité en métaux lourds dans le río Mendoza……247
Fig. 64 : Salinisation des aquifères par la pression agricole 261
Fig. 65: Procédé d'extraction et de purge des hydrocarbures au sud de Mendoza 266
Fig. 66 : Conductivités mesurées dans l'eau d'irrigation des exploitations en zones agricoles 5 et 6 en 2001, 2002 300
Fig. 67 : L'eau potable, une eau de bonne qualité..... 303
Fig. 68 : Villa miseria au centre de « traitement » des déchets de Godoy Cruz 314
Fig. 69 : le devenir des déchets ménagers dans l'oasis du río Mendoza..... 315

Fig. 70 : Les oasis de la province de Mendoza 342
Fig. 71 : Projet « Mise à profit intégrale du río Grande » 347

Index des graphiques

Graph. 1 : Gradient altitudinal des précipitations 91
Graph. 2 : Gradient altitudinal de l'accumulation neigeuse 93
Graph 3 : Des débits qui baissent dans le río Mendoza : station Guido 113
Graph. 4 : Comparaison des teneurs en bactéries dans les canaux à vocation en partie domestique……...143
Graph. 5 : Evolution des teneurs en bactéries entre CI et CV..……...148
Graph. 6 : Les solides en RI depuis 2003 161
Graph. 7 : Matières en suspension dans le río Mendoza 165
Graph. 8 : Turbidité de l'eau dans le río Mendoza (hiver 2006 et printemps 2007) 166
Graph. 9 : MES sur la rive droite 167
Graph. 10 : Solides totaux sur la rive droite 167
Graph. 11 : Les solides totaux dans le canal Jocoli 168
Graph. 12 : La turbidité dans le canal Jocoli 169
Graph. 13 : MES dans le canal Auxiliar Tulumaya 170
Graph. 14 : Solides totaux dans le canal Auxiliar Tulumaya 170
Graph. 15 : La turbidité (FNU) en CV en fonction des *turnos* de agua 173
Graph. 16 : Composition des déchets accumulés dans les cours d'eau du BV du río Mendoza : exemple de la *rama* Jarillal à Godoy Cruz, année 2003 180
Graph. 17 a, b, c et d : Conductivités électriques et températures des points RIII, CV et DIII …...…….…202
Graph. 18 : Les ions dans les points RI, CI et CII……..….208
Graph. 19 : Les ions dans les points RI, DI et DVIII…….….209
Graph. 20 : Les nitrates dans les points de suivi de l'INA…….….212
Graph. 21 : Suivi amont-aval des phosphates dans le río Mendoza 216
Graph. 22 : Une bonne oxygénation de l'eau générale 235
Graph. 23 : Types de carrières en activité dans le BV du río Mendoza 268
Graph. 24 : Baisse des rendements agricoles en fonction 285
de la conductivité électrique des sols 285
Graph 25 : Conductivités en RI et CIII (2003/2006) 301
Graph. 26 : Composition des déchets à Maipú en 2000 308
Graph. 27 : La théorie du cycle de vie du produit 337
Graph. 28 : Courbe présentant le cycle de vie théorique des oasis en fonction de l'« indice de développement » 340

Index des tableaux

Tab. 1 : Offre, besoin et demande en eau superficielle pour les usages consomptifs 108
Tab. 2 : Répartition des différentes sources d'alimentation en eau de l'oasis irriguée..... 111
Tab. 3 : Tableau de référence des classes choisies pour le diagnostic qualitatif de la ressource en eau..... 125
Tab. 4 : Tableau de référence des classes choisies pour le diagnostic qualitatif de la ressource en eau souterraine..... 126
Tab. 5 : Choix des secteurs de référence selon la catégorie socio-économique..... 129
Tab. 6 : Concentrations moyennes mesurées et croissance des teneurs en RI, CI et CV..... 147
Tab. 7 : Moyennes des concentrations des ions dans les points RI, CI, CII, DI et DVIII, colorées en fonction de la qualité (seuils du SEQ-Eau, Tab. 3 et 4)..... 205
Tab. 8 : Seuils de détection des appareils de mesure du DETI 245
par rapport aux normes de qualité..... 245
Tab. 9 : Moyennes de concentrations en arsenic dans les trois niveaux de l'aquifère exploitable, en µg/l..... 248
Tab. 10 : Produits phytosanitaires les plus commercialisés à Mendoza 260
Tab. 11 : Impact de la conductivité des eaux d'irrigation sur les rendements agricoles..... 284
Tab. 12 : Concentrations maximales en oligo-éléments recommandées pour l'eau d'irrigation 286
Tab. 13 : Restrictions d'usages de l'eau azotée 287
Tab. 14 : Moyennes des conductivités par branches irriguées..... 300
Tab. 15 : Résultats des analyses et normes de potabilité 304
Tab. 16 : Normes maximales autorisées pour le rejet des eaux industrielles dans le réseau superficiel..... 306
Tab. 17 : Consommation d'eau bimestrielle par foyer à Mendoza en 1998 331
Tab. 18 : Critères de détermination d'un indice de développement des oasis 339

Index des photographies et des pages photographiques

Photo 1 : petit sanctuaire dédié à la Difunta Correa sur la route Nationale 7 reliant Mendoza au Chili, entre Potrerillos et Uspallata 28
Photo 2 : du contact entre la Précordillère, les glacis mendocinos et la plaine du Cuyo 28
Planche photos 1 : Ouvrages hydrauliques sur le río Mendoza du barrage de Potrerillos au barrage de Cipolletti..... 58
Planche photos 2 : Traitement et adduction d'eau potable..... 62
Planche photos 3 : Le traitement collectif des effluents domestiques..... 64
Planche photos 4 : Un exemple de manque de conscience du risque sanitaire..... 65
Planche photos 5 : Infrastructures d'irrigation agricole et de collecte des eaux 67
Planche photos 6 : Infrastructure d'irrigation urbaine 68
Planche photos 7 : Différents types de cultures de l'oasis du río Mendoza..... 72
Planche photos 8 Infrastructures bouchées par des macro-déchets, limitant ainsi les débits et donc l'approvisionnement en eau des irrigants 87
Planche photos 9 : Paysages de haute montagne..... 98
Planche photos 10 : Quelques équipements de distribution..... 106

Planche photos 11 : L'eau dans la ville de Mendoza 116
Planche photos 12a : Points de prélèvement RI, RII, RIII, CI, CII, et CIII 135
Planche photos 12b : Points de prélèvement CIV, CV et les drains DI à DVIII..... 136
Planche photos 13 : La couleur des eaux : une pollution ? 175
Photo 3 : Salinité visible des sols 205
Photos 4 a et b : Drain de rejet des effluents du PIP dans le lit à sec du río Mendoza en aval du barrage de Cipolletti 246
Planche photos 14 : La végétation mendocina 293
Planche photos 15 : le problème des déchets urbains 311
Planche photos 16 : La timide prise en compte de l'environnement par les municipalités et le gouvernement provincial..... 319
Planche photos 17 : 2007, une campagne électorale axée sur l'environnement 321

Résumé de thèse :

Activités anthropiques et qualité de l'eau dans l'oasis de Mendoza (Argentine) : diagnostic, enjeux et durabilité.

L'oasis de Mendoza est née de la dérivation des eaux du río Mendoza, rivière andine, à des fins anthropiques. Les indiens Huarpes, puis Incas, ont créé dans le désert du Cuyo un espace irrigué, développé par la suite par des générations de colons et d'immigrants.

Cette oasis de 1156 km², au départ construite par et pour les agriculteurs, a vu ses usagers se multiplier et les prélèvements sur sa ressource en eau augmenter, parallèlement à la croissance de l'agglomération du Gran Mendoza, qui approche en ce début de XXIème siècle, le million d'habitants. Or, dans un contexte de réchauffement climatique et donc de recul des glaciers andins, la ressource à long terme paraît condamnée. Mais si l'impact quantitatif est avéré, qu'en est-il de l'impact qualitatif ?

Cette thèse s'attache à dresser un état des lieux de la qualité de la ressource en eau superficielle et souterraine de l'oasis, en prenant en compte la responsabilité des multiples acteurs. Ainsi, si la salinisation des sols est favorisée par une irrigation mal maîtrisée, les impacts de l'agglomération (effluents domestiques et ordures ménagères) doivent également être pris en compte, tout comme le rôle des nombreuses industries de mise en conserve des fruits et légumes, de vinification ou de transformation des hydrocarbures.

Par ailleurs, l'auteur cherche à proposer des solutions en adéquation avec les enjeux d'une oasis qui cherche à se moderniser, dans un contexte national argentin où les crises économiques sont récurrentes. C'est en ces termes que se pose la question de la durabilité de ce milieu artificiel.

Mot-clés :

Qualité de l'eau, impact anthropiques, agriculture irriguée, effluents domestiques, effluents industriels, analyses hydro-qualitatives, oasis de Mendoza, Argentine.

Thesis summary:

Anthropic activities and water quality in the oasis of Mendoza (Argentina): diagnostic, stakes and sustainability

The oasis of Mendoza is the product of the diversion for anthropic purpose of the río Mendoza, an Andean river. The Huarpes Indians, then Incas, created an irrigated area in the desert of Cuyo, further developed by generations of colons and immigrants. This oasis (1156 km ²), built at the beginning by and for the farmers, get today multiple users, while the taking on its waters keeps increasing, in parallel to the growth of the Gran Mendoza city, which approaches the million inhabitants, at the beginning of our 21st century. However, in a context of climatic changes, and thus the retreat of the Andean glaciers, the long-term water resource appears condemned. If the impact in quantitative terms is proven, what could be seen about the impact in qualitative terms?

This thesis attempts to draw up a balance sheet of the qualitative state of the surface and groundwater resources of the oasis, by taking into account the multiple actors' responsibility. So, if the grounds salinization is increased by a worst controlled irrigation, the impacts of the city (domestic effluents and domestic waste) should be also taken into account, just like the role of many industries: fruit and vegetables' conditioners, wine making or hydrocarbons processing.

Furthermore, the author proposes solutions in adequacies with the stakes of an oasis looking for being modernized, in an Argentinean national context where the economic crises keeps coming over. In fact, it is the question of the sustainability of this artificial area which should be posed

Keywords:

Water quality, anthropic activities, irrigated agriculture, domestic effluents, industrial effluents, hydro-qualitative analyses, Mendoza's oasis, Argentina.

Resumen de tesis:

Actividades antrópicas y calidad del agua en el oasis de Mendoza (Argentina): diagnóstico, desafíos y sustentabilidad

El oasis de Mendoza nació de la derivación de las aguas del río Mendoza, río andino, con fines antrópicos. Los indios Huarpes, luego Incas, crearon en el desierto del Cuyo un espacio irrigado, desarrollado más tarde por generaciones de colonos e inmigrantes. En este oasis de 1156 km², construido al principio por y para los agricultores, se han ido multiplicando sus usuarios y aumentando la extracción del recurso hídrico, al mismo tiempo que fue creciendo la aglomeración del Gran Mendoza que alcanza ahora, a principios del siglo XXI, un millón de habitantes. Ahora bien, en un contexto de calentamiento climático y, por consiguiente, de retroceso de los glaciares andinos, el recurso a largo plazo parece condenado. Pero, si el impacto cuantitativo está probado, ¿qué ocurre con el impacto cualitativo? Esta tesis se dedica a elaborar un panorama de la calidad del recurso hídrico superficial y subterráneo del oasis, teniendo en cuenta la responsabilidad de los múltiples protagonistas. Así pues, si la salinización de los suelos es favorecida por un riego mal manejado, los impactos de la aglomeración (efluentes domésticos y residuos urbanos) deben tenerse en cuenta, al igual que el papel de las numerosas industrias de conservas de frutas y hortalizas, de vinificación o transformación de los hidrocarburos. Por otra parte, el autor pretende proponer soluciones adecuadas a los desafíos de un oasis que intenta modernizarse, en un contexto nacional argentino en el que las crisis económicas son recurrentes. De hecho, se plantea el problema de la sustentabilidad de este medio artificial.

Palabras claves:

Calidad del agua, impactos antrópicos, agricultura regadía, efluentes domésticos, efluentes industriales, análisis hídro-cualitativas, oasis de Mendoza, Argentina.