



HAL
open science

L'eau et le risque

Patrick Fournier, Christèle Ballut

► **To cite this version:**

Patrick Fournier, Christèle Ballut. L'eau et le risque: Troisième séminaire du programme "Au fil de l'eau", MSH de Clermont-Ferrand, axe "Environnement et sociétés". 2007. halshs-00434286

HAL Id: halshs-00434286

<https://shs.hal.science/halshs-00434286>

Preprint submitted on 21 Nov 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.

**PRÉ-PUBLICATIONS EN LIGNE
WORK IN PROGRESS**

**Christèle BALLUT &
Patrick FOURNIER (dir.)**

**TROISIÈME SÉMINAIRE
DU PROGRAMME
AU FIL DE L'EAU**

30 NOVEMBRE 2007

PRÉSENTATION

Patrick FOURNIER¹

La troisième journée du programme « Au fil de l'eau » de la MSH de Clermont-Ferrand entendait focaliser l'attention de manière spécifique sur une des thématiques définies à l'origine du projet : celle du risque lié à l'eau. Diverses contributions présentées en 2006 et 2007, notamment sur l'eau au Moyen Âge par Jean-Pierre Leguay ou sur le fonctionnement hydrologique des cours d'eau par Jean-Luc Peiry, avaient déjà abordé la question. L'étude du risque a déjà été bien balisée, notamment par les géographes, les sociologues et plus récemment les historiens et les archéologues. Il entre également dans les préoccupations des économistes, des juristes et des politologues. C'est donc par excellence une question qui se prête à l'interdisciplinarité. Toutefois celle-ci n'est pas facile à mettre en œuvre parce que les questionnements ne sont pas identiques et que les méthodes présentent des différences notoires. Là où les disciplines liées à l'économie politique s'interrogent principalement sur le présent et le futur, cherchant des solutions pour concilier le développement économique avec les risques encourus par les sociétés, les disciplines géographiques et environnementales fournissent des données objectives fondées fréquemment sur la reconstitution des évolutions dans le temps long, intégrant donc la dimension historique et les apports de l'archéologie. Au sein même de la géographie, les recherches sur le temps long coexistent avec des recherches sur le présent. Articuler ces approches complémentaires reste difficile malgré plusieurs programmes du CNRS passés ou à venir², car dans les faits, le temps long des aménageurs ne dépasse guère quelques décennies, voire un siècle ou deux au mieux, c'est-à-dire principalement à partir du moment où peuvent se donner à lire les relations d'une expertise à vocation scientifique appuyée sur des données sérielles. Mais l'enjeu même des recherches environnementales (qu'elles soient rattachées à l'archéologie, à l'histoire, à la paléoécologie, à la géographie ou à la géomorphologie) est d'intégrer les données du passé à la réflexion sur l'actuel et sur l'avenir à travers la prospective.

Dans cette optique, l'étude des phénomènes hydrologiques apparaît comme un excellent moyen d'étudier la question du risque sur la longue durée pour deux raisons au moins.

1) La mémoire collective a été fortement marquée par tous les phénomènes nés de catastrophes liées à l'eau, ce que démontre la place centrale de l'eau dans les mythes les plus divers. Certes, l'approche structuraliste d'un Mircea Eliade³ ne peut fournir aucun élément à une étude contextualisée des risques et néglige dans son principe même l'historicité de la vulnérabilité. Mais elle

1. Maître de conférences en histoire moderne, Clermont-Ferrand II, Centre d'Histoire « Espaces et Cultures »

2. Notons le programme « Eau du territoire et territoire de l'eau : les enjeux liés à la restitution de la dynamique fluviale et des services naturels rendus à la société » dirigé par Johannes Steiger (GEOLAB, UMR 6042 – CNRS) qui porte sur l'étude de l'Allier et de la Garonne sur trois ans (2008-2011) en réponse à l'appel à proposition de recherche du Ministère de l'Environnement et du Développement Durable « Science et gouvernance. Programme Eaux et Territoires ».

3. ELIADE M., *Traité d'histoire des religions*, Payot, Paris, 1949, 405 p.

fournit un répertoire des craintes liées à la puissance de l'eau et montre à quel point les sociétés les plus diverses ont transformé cette peur en une force cosmique nécessaire à l'accomplissement des destinées humaines à travers les catastrophes les plus violentes. La confrontation avec les éléments structure les représentations culturelles, elles-mêmes puissants facteurs d'actions sur le milieu. Cette pensée mythique peut masquer la vulnérabilité réelle, surtout lorsque la science la recouvre progressivement et accroît consciemment ou inconsciemment la confiance des sociétés dans leur capacité à se protéger. L'oubli des phénomènes anciens, perte de mémoire ou volonté de préserver des intérêts divers, pousse à sous-estimer la vulnérabilité des sociétés : les effets des ouragans ou des tsunamis en sont un des exemples récents les plus manifestes.

La mémoire n'est cependant plus suffisante pour construire une politique de l'eau. Aussi l'historien n'a-t-il pas pour vocation de fournir des données brutes qui seraient exploitées par d'autres disciplines. Il est même le plus mal placé pour cela car les faits relatés dans les sources imprimées ou manuscrites sont forcément déjà transformés par l'interprétation de celui qui les rapporte. L'idée de faire une histoire de l'environnement qui exclurait l'homme, proposée dans sa composante climatique par Emmanuel Le Roy Ladurie à la fin des années 1960⁴, est désormais largement abandonnée. Au contraire, les disciplines environnementales ont pleinement intégré l'action de l'homme parmi les facteurs de transformation du milieu au point que le glissement récent est même assez spectaculaire : alors que la question du déterminisme géographique a fait débat parmi les historiens au moins jusqu'à l'apogée de l'histoire économique dans les années 1960, les interprétations dominantes font désormais de l'homme le principal sinon le seul responsable des grandes évolutions en cours, et cela bien au-delà des disciplines qui se réclament explicitement des sciences humaines. Malgré son audience internationale auprès d'un large public pas toujours bien formé pour en comprendre les enjeux, le déterminisme environnemental d'un Jared Diamond⁵, même nuancé⁶, apparaît donc comme atypique. Aussi le rôle de l'historien et du sociologue est-il de mettre l'accent sur la construction sociale et culturelle des risques comme l'ont montré notamment plusieurs colloques organisés à la MSH de Grenoble⁷. L'étude des inondations, un des risques hydrologiques les plus apparents et les plus fréquents, fournit de nombreux exemples permettant de réintroduire la complexité inhérente aux relations hommes-milieu⁸. Elle oblige à s'interroger sur l'évolution de la vulnérabilité des sociétés en fonction des aménagements hydrauliques qu'elles ont produits mais aussi sur la manière dont l'inondation peut être intégrée dans les processus d'aménagement de l'espace, des bonifications agricoles anciennes à la nécessité ressentie de préserver des zones humides aujourd'hui⁹.

2) La seconde raison poussant à questionner spécifiquement les risques liés à l'eau tient au rôle primordial de l'eau dans l'ensemble des processus physiques et chimiques qui agissent directement ou indirectement sur notre environnement. Les représentations, quelle que soit leur ancienneté, insistent sur l'ambivalence de l'eau, force de vie mais aussi cause de corruption et de destruction. Dans une perspective archéologique, l'eau peut ainsi être un conservatoire qui a permis la préservation de structures en bois ou de pollens, et même de cadavres d'être humains ou d'animaux dans les tourbières, par l'isolation du contact avec l'air ; elle peut être au contraire un facteur de dégradation, par exemple pour les monuments soumis aux intempéries sur une longue période. De

4. LE ROY LADURIE E., *Histoire du climat depuis l'an mil*, Flammarion, Paris, 1967, 379 p.

5. DIAMOND J., *De l'inégalité parmi les sociétés. Essai sur l'homme et l'environnement dans l'histoire*, Gallimard, Paris, 2000, 699 p.

6. DIAMOND J., *Effondrement. Comment les sociétés décident de leur disparition ou de leur survie*, Gallimard, Paris, 2006, 648 p.

8. ANTOINE J.-M., *La catastrophe oubliée. Les avatars de l'inondation, du risque et de l'aménagement dans la vallée de l'Ariège (Pyrénées-Orientales, fin XVIIe – XXe siècles)*, thèse de doctorat de géographie, université de Toulouse II - Le Mirail, 1992, 445 p. ; DESAILLY B., *Cruces et inondations en Roussillon. Le risque et l'aménagement. Fin du XVIIe siècle - milieu du XXe siècle*, thèse de doctorat de géographie, université Paris X – Nanterre, 1990, 352 p. ; PICHARD G., *Espaces et nature en Provence. L'environnement rural (1540-1789)*, thèse de doctorat d'histoire, université d'Aix-en-Provence, 1999, 1864 p.

9. BURNOUF J., LEVEAU Ph. (dir.), 2004 – Fleuves et marais, une histoire au croisement de la nature et de la culture, Paris, CTHS, 493 p.

10. L'historiographie américaine a été pionnière dans ce domaine. Cf. par exemple MELOSI M. V., *Effluent America. Cities, Industry, Energy and the Environment*, University of Pittsburgh Press, Pittsburgh, 2001, 325 p.

Les travaux sur l'évolution du métabolisme urbain sont encore rares en France. Cf. BARLES S., 2005 *Le métabolisme urbain : l'azote, XIXe – XXe siècle dans Programme PIREN-Seine*. Rapport d'activité 2004, consultable en ligne : <http://www.sisyph.jussieu.fr/internet/piren>.

manière plus générale, opposer bienfaits et méfaits de l'eau ou usages et dangers n'est pas une démarche totalement satisfaisante car l'appréciation des effets du milieu et de l'occupation de l'espace dépend du rapport entre avantages recherchés et risques encourus. Le risque apparaît dès lors comme une contrainte acceptée, voire construite et doit être apprécié aussi dans sa dimension positive : prendre des risques fait partie de l'aventure humaine. L'eau est en outre partie prenante dans la plupart des phénomènes dits naturels et mettant en jeu d'autres éléments : tremblements de terre, ouragans, éruptions volcaniques interfèrent avec les phénomènes hydrologiques et climatiques.

La meilleure connaissance des processus physiques et chimiques et les révolutions médicales du XIXe siècle ont transformé le regard porté sur les risques liés à la dégradation de l'environnement¹⁰. Ils ont amené une prise de conscience des dangers de la pollution et ont déplacé le regard de l'air et du sol vers l'eau comme cause de danger pour la santé publique¹¹. Cette mutation n'a pas été radicale : l'air et le sol ont continué à faire l'objet d'analyses spécifiques mais la préservation de la qualité de l'eau a été placée au centre de multiples actions d'aménagement urbain et rural, ce qui n'était pas le cas avant l'entrée dans l'ère industrielle¹². La qualité de l'eau est devenue un marqueur de l'état général de l'environnement puisqu'elle est le réceptacle de multiples pollutions¹³. Les mutations du sentiment de la nature mais aussi des pratiques sociales (le rôle de la pêche par exemple) accompagnent l'émergence d'une vision globale de l'environnement.

Il ne faudra cependant pas perdre de vue que les enjeux d'un questionnement sur les rapports entre l'eau et le risque dépendent non seulement du point de vue des acteurs sociaux mais aussi de la position des chercheurs par rapport aux structures publiques qui réfléchissent sur la gouvernance des territoires. Géographes et archéologues sont en mesure d'apporter une expertise fondée sur l'utilisation et le croisement de données multiples permettant de penser la dynamique des territoires et de mesurer les évolutions de la vulnérabilité, intégrant notamment les pratiques sociales¹⁴. Les recherches environnementales sur le temps long éclairent le fonctionnement des milieux et leurs rythmes d'évolution sous l'influence des oscillations climatiques mais aussi des impacts humains sur les territoires, ce qui contribue fortement à la gestion actuelle des systèmes hydrologiques et à la connaissance comme à la production des mutations paysagères. En repérant les ruptures dans les évolutions culturelles avec des changements majeurs des formes de la représentation, les historiens et les sociologues portent davantage l'accent sur l'importance des configurations sociales pour comprendre les formes d'évaluation du risque et les réactions face au danger : les distorsions entre le risque encouru et le risque perçu résultent du rapport entre mémoire, organisation socio-politique, besoins économiques et état des connaissances scientifiques et technologiques. La longue durée permet de mieux cerner comment se construisent et se transforment les critères de l'expertise. C'est donc à une évaluation des savoirs et des organisations à partir desquels les acteurs contemporains de la gestion de l'eau pensent les territoires qu'invitent les programmes interdisciplinaires sur l'eau.

11. BARLES S., *La ville délétère. Médecins et ingénieurs dans l'espace urbain, XVIIIe - XIXe siècle*, Seyssel, Champ Vallon, 377 p. ; BOULAIN J., *Histoire des pédologues et de la science des sols*, INRA, Paris, 1989, XIV-285 p. ; MASSARD-GUILBAUD G., *Une histoire sociale de la pollution industrielle dans les villes françaises (1789-1914)*, mémoire d'habilitation à diriger des recherches, université Lumière – Lyon 2, 2003, 495 p.

12. GOUBERT J.-P., *La conquête de l'eau. L'avènement de la santé à l'âge industriel*, Robert-Laffont, Paris, 1986, 302 p.

13. PAAVOLA J., 2002 - « Water Quality as Property : Industrial Water Pollution and Common Law in the Nineteenth Century United States », *Environment and History*, vol. 8, n° 3, p. 295-318.

14. Voir notamment le séminaire de préfiguration du Programme Interdisciplinaire de Recherche Ville et Environnement (PIRVE) : http://sciencescitoyennes.org/IMG/pdf/SemPIRVE22_23oct07Pgme.pdf.

THÈME I. RISQUES HYDROLOGIQUES ET ÉVOLUTIONS PAYSAGÈRES

Raphaël PARIS, Frank LAVIGNE Julie MORIN

Les tsunamis en Indonésie : interroger le passé pour aborder les risques futurs (6-13)

Christèle BALLUT, Grégoire GABY, Béatrice PRAT

Spatialisation des données paléoenvironnementales et modélisation de l'évolution paysagère du bassin versant de Montchâtre à l'Holocène récent (Massif central, France). (14-22)

THÈME II. POLLUTIONS, DEGRADATIONS : LES EFFETS DE LA QUALITÉ ET L'EAU EN QUESTION

Bruno PHALIP, Marie-Françoise ANDRÉ

L'eau, un risque pour le monument ? (23-39)

Patrick FOURNIER

Les pollutions de l'eau : l'expertise du risque du XVIe au XIXe siècle (40-45)

Stéphane FRIOUX

Combattre les maladies hydriques. La quête de l'eau pure en ville sous la IIIe République (techniques, expertises et politiques éditoriales). (46-53)

Jean-François MALANGE

Risque perçu et risque vécu. Les pêcheurs à la ligne et la pollution des cours d'eau en France aux XIXe et XXe siècles. (54-59)

Les tsunamis en Indonésie : interroger le passé pour aborder les risques futurs

Raphaël PARIS¹, Franck LAVIGNE², Julie MORIN³

Résumé

Du fait de leur proximité des zones sources de tsunamis, près de 75 % des littoraux indonésiens sont exposés aux tsunamis, soit 12 000 km de côtes. Les principaux tsunamis répertoriés en Indonésie depuis le XIX^e siècle ont provoqué la mort de plus de 220 000 personnes, dont 180 000 lors du tsunami du 26 décembre 2004, soit près de la moitié des victimes de tsunamis dans le monde. 40 % des tsunamis ayant touché l'Indonésie ont causé des pertes humaines, contre 15 % seulement au Japon. La forte exposition de l'Indonésie au risque de tsunami provient d'un contexte tectonique extrêmement actif, lié à la proximité de nombreuses failles et volcans proches des côtes, et d'une forte vulnérabilité des agglomérations côtières. Nous présentons dans cet article une nouvelle carte de l'aléa « tsunami » en Indonésie. Ce document servira de base pour développer des actions de prévention et de nouvelles investigations (ex. recherches de dépôts de tsunamis antérieurs) sur les zones les plus menacées.

Mots clés. Tsunami, carte des risques, Indonésie.

Abstract

Almost 75 % of Indonesian coasts (12.000 km) face tsunami hazards, because of the proximity of tsunami source areas. The main tsunamis recorded in Indonesia since the XIXth century caused the death of more than 220.000 people, with 180.000 of them during the December 26, 2004 tsunami. It corresponds to half of the world death toll. 40 % of the tsunamis affecting Indonesia are deadly compared to 15 % in Japan. Indonesia is highly exposed to tsunamis because of an extremely active tectonic setting, with numerous submarine faults and coastal volcanoes, together with highly vulnerable cities along the coasts. In this paper, we present a new tsunami hazard map of Indonesia. This document will be useful for developing risk prevention and further investigations in most affected and most threatened areas (e.g. intensity and recurrence of past tsunamis after their deposits).

Keywords. Tsunami, hazard map, Indonesia.

1. Géolab UMR 6042 CNRS, MSH Clermont-Ferrand.

2. Géosciences Réunion UMR 7154 IPGP-CNRS et Association Planet Risk.

3. Université Paris 1 et LGP UMR 8591 CNRS, Meudon.

Le tsunami du 26 décembre 2004 était d'une magnitude exceptionnelle à plusieurs points de vues (Titov et al., 2005 ; Lavigne et Paris, 2008): (1) celle de la rupture sismique (Mw 9.3), (2) de nombreuses répliques et foyers sismiques secondaires eux-mêmes tsunamigéniques et s'égrenant sur plus de 1500 km entre l'île de Nias (Sumatra) et les Andamans (Lay et al., 2005), (3) une ampleur régionale et transocéanique (plus d'une dizaine de pays touchés, dont certains situés à plusieurs milliers de kilomètres de l'épicentre), (4) des dégâts considérables, avec près de 300 000 victimes. C'est donc l'une des trois catastrophes naturelles les plus meurtrières de tous les temps. L'Indonésie fut le pays le plus affecté, avec 180 000 victimes à Sumatra et dégâts chiffrés à 2 milliards de dollars sur plus de 300 km de côte. Au-delà du retentissement médiatique, cet événement a confirmé un paradoxe crucial en matière de connaissance et de prévention du risque de tsunami : les apports scientifiques sont de plus en plus nombreux et la connaissance physique du phénomène progresse sans cesse, alors que les politiques de prévention sont la plupart du temps dérisoires (sauf par exemple au Japon) et très inégales suivant les pays.

Dans un premier temps, nous aborderons les causes d'une forte exposition et vulnérabilité à l'aléa tsunami en Indonésie, avant d'examiner les événements antérieurs. Dans un second temps, nous présenterons une nouvelle cartographie des risques de tsunamis en Indonésie et ses répercussions en terme de stratégie de réduction des risques.

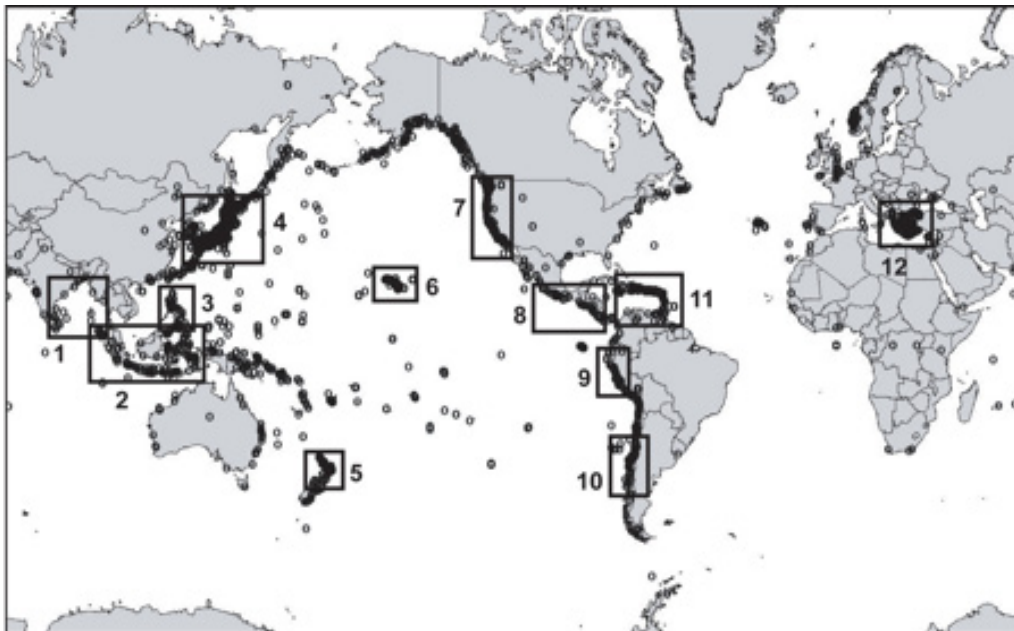


Figure 1 - Carte des tsunamis répertoriés depuis 2000 ans et des principales régions vulnérables (1 : Golfe du Bengale ; 2 : Indonésie ; 3 : Philippines ; 4 : Japon ; 5 : nord Nouvelle-Zélande ; 6 : Hawaï ; 7 : côtes du Washington et de la Californie ; 8 : Amérique centrale ; 9 : Pérou ; 10 : Chili central ; 11 : Antilles ; 12 : Bassin oriental de la Méditerranée).

I. L'Indonésie : 12000 km de littoraux exposés aux tsunamis

Près de 75 % des littoraux indonésiens sont exposés aux tsunamis, soit 12 000 km de côte. Avant le dramatique tsunami du 26 décembre 2004 dans l'océan Indien, les tsunamis avaient déjà entraîné la mort de plus de 130 000 personnes en Indonésie, dont 19 000 au cours du XX^e siècle (Tableau 1). Durant les quatre derniers siècles, les côtes indonésiennes auraient subi quelques 250 tsunamis (141 de ces événements étant plus particulièrement attestés et documentés), soit une moyenne d'environ 60 tsunamis par siècle (63 au XX^e siècle, 52 au XIX^e siècle et déjà 8 pour le XXI^e siècle). Au moins 40 % de ces tsunamis ont été meurtriers.

L'archipel indonésien s'étire d'ouest en est sur plus de 5000 km, entre les latitudes 6°N et 10°S, à la charnière entre trois grandes plaques tectoniques. Globalement, les plaques australiennes au sud et pacifique à l'est s'enfoncent sous la plaque eurasiatique (sur laquelle reposent presque toutes les îles). Ce schéma, très général, se complique lorsqu'on considère les nombreux accidents tectoniques secondaires, également sources de séismes tsunamigéniques, et qui scindent l'archipel en blocs (on parle aussi de microplaques). Les relations entre la géométrie des déformations le long des failles actives et la magnitude des tsunamis ne sont pas encore maîtrisées par la communauté des géophysiciens. La magnitude du tsunami d'origine sismique dépend essentiellement de la magnitude du séisme et du volume d'eau perturbé. Un séisme de magnitude supérieure à 8 sur l'échelle ouverte de Richter mais faisant surtout rejouer des segments de faille en composante horizontale (cisaillements) ne produira pas forcément un tsunami majeur (exemples : séisme de magnitude 8.7 à Sumatra le 28 mars 2005). A l'inverse, des séismes modestes peuvent déclencher des tsunamis d'une magnitude importante, surtout lorsque la secousse provoque des glissements de terrain (ex. Papouasie-Nouvelle Guinée en 1998). En Indonésie, le laps de temps moyen entre un séisme et l'arrivée du tsunami sur les côtes est de 40 minutes. Les zones sismiques sources de tsunamis sont en effet proches des côtes, ce qui complique la mise en place de politiques de réduction des risques.

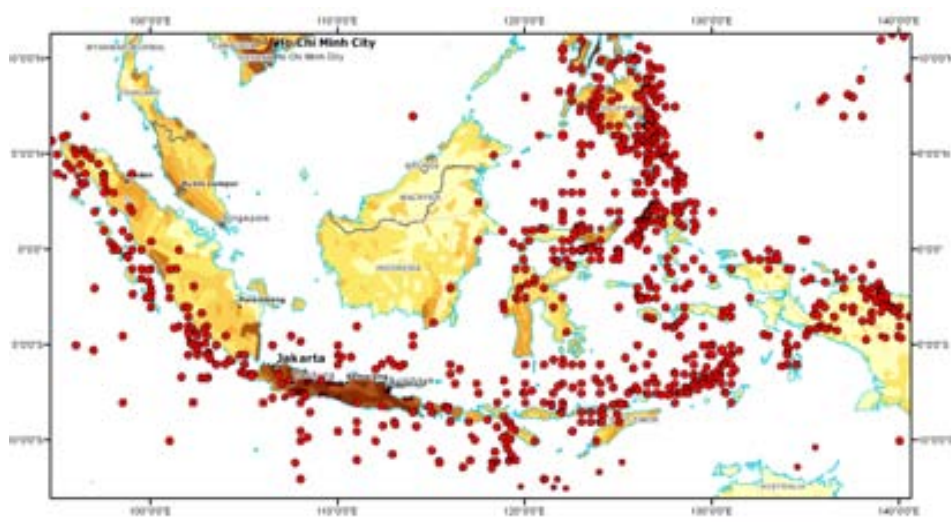


Figure 2 – Carte des séismes sources de tsunamis en Indonésie du XVI^e au XX^e siècle, avec en arrière-plan les densités de population (source : bases de données ESRI et *National Geophysical Data Center* intégrées sous SIG).

Année	Localisation	Magnitude	Run-up (m)	Victimes
1907	Ouest Sumatra	7.4		400
1917	Nord Bali	6.5		15000
1918	Nord Sulawesi	8.2	12	102
1927	Ouest Sulawesi	6.0	15	50
1928	Ouest Sulawesi		10	128
1965	Buru, Moluques	7,5	4	71
1967	Sud Sulawesi	5,8		58
1968	Ouest Sulawesi	7,5	10	200
1969	Sud-ouest Sulawesi	6,9		64

Année	Localisation	Magnitude	Run-up (m)	Victimes
1977	Sumba	8.3	15	189
1979	Nord Florès		10	539
1992	Est Flores	7,5	26	1960
1994	Jawa Timu	6,8	14	238
1996	Biak, Irian Jaya	8.0	7	110
2004	Nord-ouest Sumatra	9.3	> 30	180000
2006	Sud Java	7.7	15	723

Tableau 1. Principaux tsunamis répertoriés en Indonésie au XX^e siècle.

De plus, les nombreux volcans proches des côtes représentent également des sources potentielles de tsunamis, également très difficiles à prévoir. Ces édifices volcaniques sont par définition instables et peuvent générer des tsunamis, sans être forcément actifs. En juillet 1979, un glissement sur les flancs du volcan Lliwerung à Lembata fit plus de 500 victimes. Outre les déstabilisations, les principaux mécanismes éruptifs à l'origine de tsunamis volcaniques sont les coulées pyroclastiques, les effondrements de caldera et les explosions sous-marines. L'éruption du Krakatau, dans le détroit de la Sonde, avait généré près de 19 tsunamis en quelques heures, causant la mort de 36000 personnes à Sumatra et Java.

L'Indonésie est donc un pays extrêmement exposé à l'aléa tsunami. Le tsunami de Florès en 1992 avait pourtant entraîné une véritable prise de conscience des autorités indonésiennes. Le tsunami qui a touché le sud de Java en 1994 a révélé des lacunes dans le domaine de la gestion et de la prévention du risque : télécommunications défectueuses, voies de communication en mauvais état, manque de matériel destiné aux réfugiés, distribution des vivres inégalement répartie, manque de prévention envers les populations et manque d'expérience des autorités. Des campagnes de déplacement des populations les plus exposées ont été menées à Java dans les années 90. Les autorités se sont heurtées à un refus ou un retour rapide des populations, malgré le risque. Dans un premier temps, l'accent a été mis sur la surveillance sismique. Le réseau de sismographes TREMORS, créé en 1996 et géré par le BMG (agence indonésienne de météorologie et de géophysique), est opérationnel 24h/24. Les principaux objectifs, renforcés depuis le tsunami de décembre 2004, consistent à améliorer le réseau sismique pour localiser les épicentres plus précisément et plus rapidement, perfectionner la modélisation numérique des tsunamis, dresser des cartes des risques et des plans d'évacuation, multiplier les campagnes de sensibilisation auprès des autorités, des populations et des médias. Mais par où commencer et comment coordonner les différents acteurs ?

2. Une nouvelle carte de l'aléa tsunami en Indonésie

Cartographier l'aléa et le risque de tsunami en Indonésie pose avant tout un problème d'échelle. Il faut retenir deux niveaux d'analyse : (1) une carte de l'aléa tsunami en Indonésie, montrant les zones les plus vulnérables, et (2) des cartes détaillées des risques sur des sites particulièrement vulnérables, accompagnées de scénarios d'inondations et de plans d'évacuation.

Notre nouvelle carte de l'aléa tsunami en Indonésie (fig. 3) est le fruit du croisement des données géophysiques caractérisant l'aléa (localisation et magnitude des séismes, récurrence et magnitude des tsunamis répertoriés depuis 400 ans) et des facteurs locaux de vulnérabilité (morphologie côtière, densités de population, activités socio-économiques, industries à risque, patrimoine historique et environnemental). Les données utilisées sont multiples : bases de données de la *Smithsonian Institution* (séismes), du *National Geophysical Data Center* (tsunamis), du BMG (*Meteorological and Geophysical Agency of Indonesia*), imagerie satellitaire (Spot 5, Landsat, Ikonos), base de données du serveur SIG de ESRI (densités de populations, activités socio-économiques), modèle numérique de terrain SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). Les travaux publiés par Hamzah et al. (2000) et Rynn (2002) ont fourni des informations complémentaires sur certains événements douteux, permettant ainsi de recouper plusieurs sources.

Les côtes ont été classées suivant quatre niveaux d'exposition à l'aléa tsunami :

En rouge : plus de 4 tsunamis / siècle, parfois de forte magnitude (vagues > 10 m à la côte).

En orange : 2 à 4 tsunamis / siècle, de magnitude moyenne (5-10 m), localement forte.

En jaune : moins de 2 tsunamis / siècle, de magnitude faible (< 5 m) à moyenne.

En vert : côtes rarement exposées aux effets lointains de tsunamis de forte magnitude.

Parmi les nombreuses zones menacées, nous avons retenu pour l'instant 8 sites très vulnérables (Tableau 2). Ont été considérées en priorité les grandes agglomérations situées à des altitudes basses et classées en zone de risque rouge ou orange, présentant parfois des circonstances aggravantes telles qu'une péninsule, une baie pouvant concentrer l'onde de tsunami, des activités portuaires etc. La ville de Cilacap, bien que classé en zone jaune, sera certainement notre première priorité, du fait de la conjonction entre des altitudes très basses, une très forte concentration de la population à moins de 10 voire 5 mètres d'altitude (1 500 000 personnes) et la présence d'un port pétrolier. La côte nord de l'Irian Jaya, classée en zone rouge, n'est pas très peuplée et n'a donc pas été placée dans les zones prioritaires pour l'instant. Les travaux récents de modélisation des déformations tectoniques le long de la subduction ouest de Sumatra démontrent une probable migration des principaux foyers sismiques vers le sud de l'île, où figurent deux agglomérations très vulnérables, Bengkulu et Padang, soit plus d'un million d'habitants.

Ile	Côte	Ville	Population	Altitude	Aléa	Particularités
Sumatra	nord	Banda Aceh	200 000	< 5 m	orange	80 000 victimes en 2004
Sumatra	ouest	Padang	825 000	< 10 m	rouge	aéroport < 5 m
Sumatra	ouest	Bengkulu	300 000	5-15 m	rouge	péninsule surélevée
Java	sud	Cilacap	1 500 000	< 10 m	jaune	port pétrolier
Maumere	nord	Baie Maumere	> 50 000	< 25 m	orange	baie très peuplée
Sulawesi	ouest	Palu	280 000	< 30 m	orange	baie très étroite
Halmahera	ouest	Ternate	100 000	< 10 m	orange	plateforme côtière
Ambon	sud	Amboina	350 000	< 10 m	orange	port et aéroport < 3 m

Tableau 2 – Sites prévus pour une cartographie détaillée des risques de tsunami et pour la mise en place d'actions de prévention (organisées par l'association *Planet Risk*).

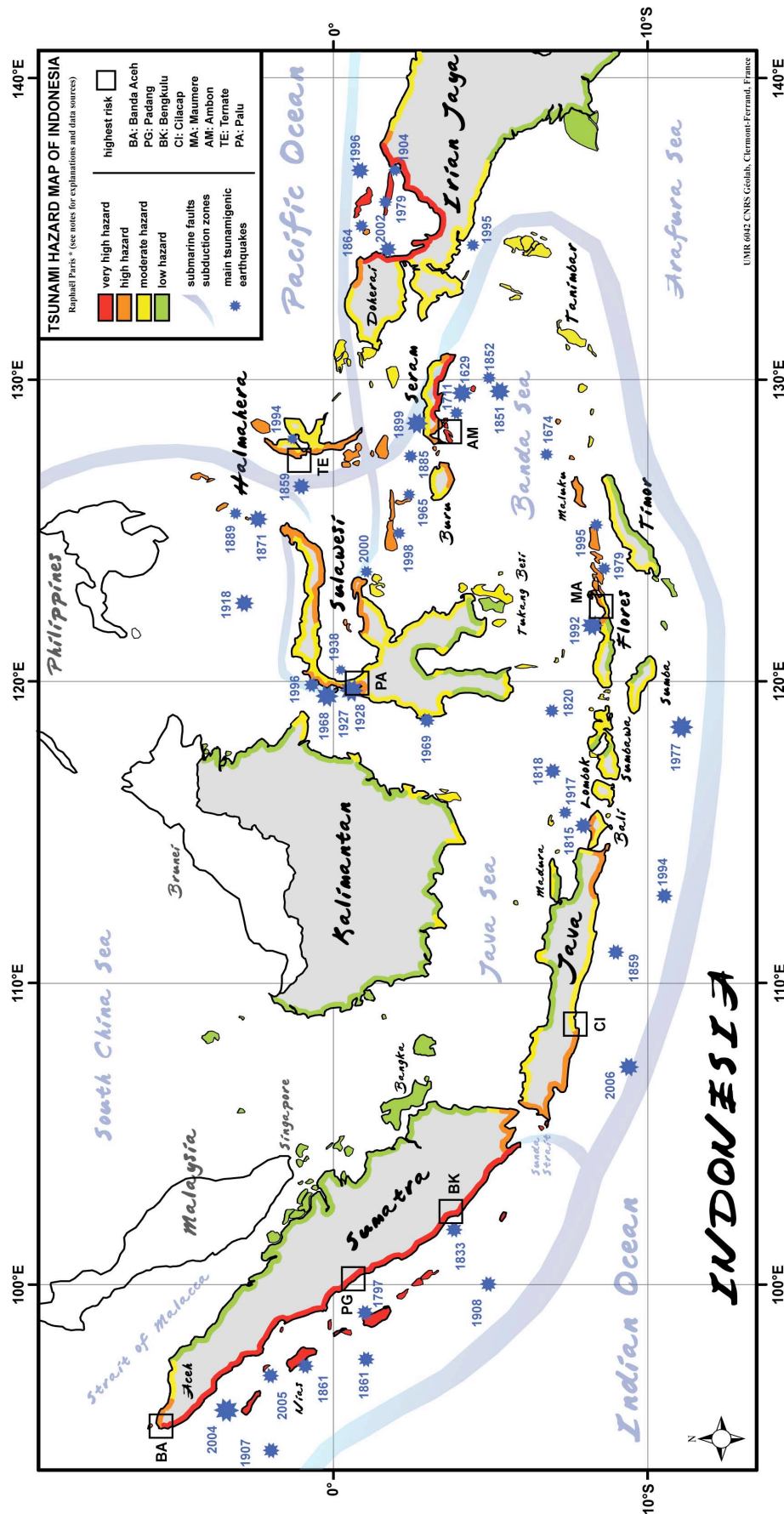


Figure 3 - Carte de l'aléa tsunami en Indonésie.

3. Des actions de prévention adaptées au contexte Indonésien

Les actions de prévention menées par Planet Risk à Java depuis l'été 2006 visent à tester et mettre en place des moyens de prévention adaptés aux tsunamis et à l'Indonésie. Ces actions s'inspirent des enseignements tirés par le programme Tsunarisque (Lavigne et Paris, 2008 ; base de données disponible sur internet : <http://www.tsunarisque.cnrs.fr/>) et reposent sur la réalisation d'un film de prévention en *Bahasa Indonesia*, de posters et de brochures diffusés dans le cadre d'une exposition itinérante et d'un centre permanent de sensibilisation aux tsunamis (situé à Parangtritis, sur la côte sud de Java). Les documents conçus par Planet Risk abordent notamment les signes précurseurs d'un tsunami (séisme, retrait de la mer, baisse du niveau d'eau dans les puits, attitude inhabituelle des animaux, bruits sourds venant de la mer), les dégâts potentiels et les zones à risques, et les réflexes à inculquer (ex. fuir vers les hauteurs).

La réussite d'une première campagne de sensibilisation pendant l'été 2006 nous encourage à poursuivre et pérenniser nos investigations, tout en élargissant progressivement notre champ d'action aux 8 sites les plus vulnérables mentionnés ci-dessus. Ces actions seront couplées à des travaux sur les traces géologiques (dépôts) laissées par les tsunamis passés. En effet, l'identification et l'interprétation des dépôts de tsunamis fournissent des informations sur les mécanismes de transport et de dépôt au cours d'un tsunami (ex. dépôts du tsunami de 2004 à Sumatra : Paris et al., 2007) et permettent d'estimer des intervalles de récurrence des séismes tsunamigéniques.

Parmi les autres enseignements du tsunami de 2004, nous avons retenu que les réponses des populations face au séismes et au tsunamis sont très inégalement efficaces d'un groupe ethnique à un autre. Les héritages historiques et culturels sont fondamentaux et incluent notamment l'expérience de tsunamis antérieurs comme dans le cas de l'île de Simeulue (tsunami de 1907 à Sumatra). Les facteurs culturels renvoient également au poids de la religion et d'éventuels conflits armés (Province d'Aceh et de Timor). Tous ces paramètres seront à prendre en compte dans l'édition et la distribution de documents destinés à la population ou aux autorités. Parallèlement aux mesures de prévision et de prévention, accroître la capacité de réponse des habitants d'Aceh face à l'éventuelle récurrence des tsunamis passe donc aussi par une amélioration des conditions de vie quotidienne au travers d'un meilleur accès aux ressources, aux moyens de protection et à la représentation politique.

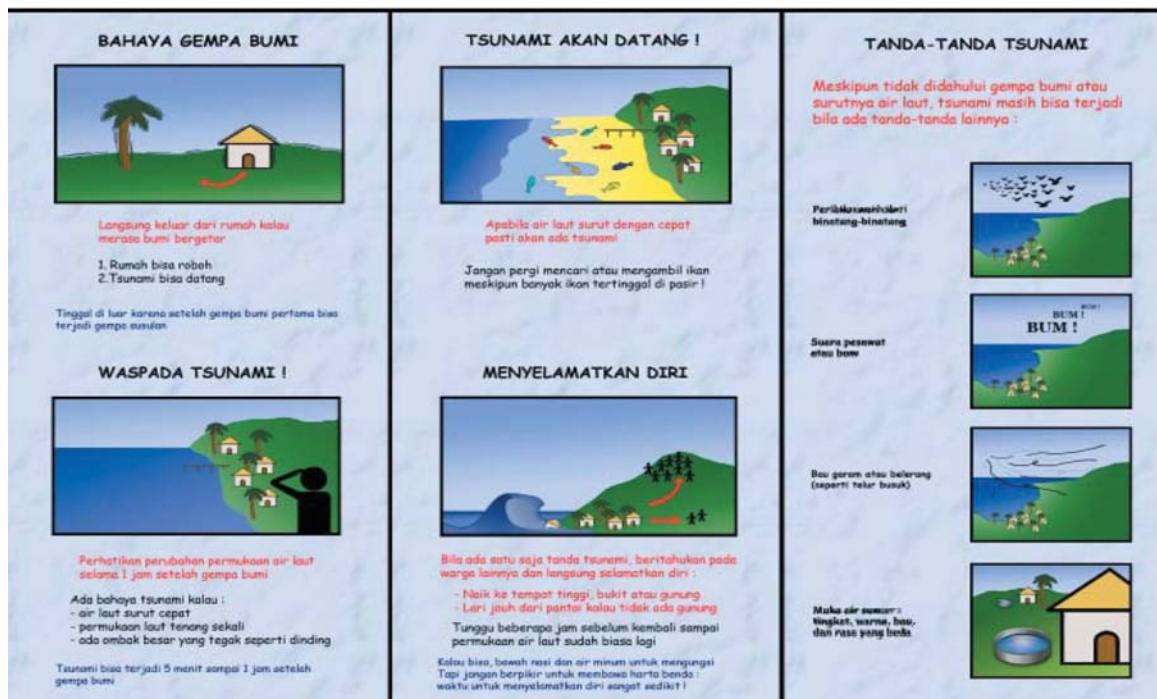


Figure 4 – Exemple de brochure distribuée par Planet Risk à Java pendant l'été 2006.

Bibliographie

HAMZAH L., PUSPITO N., IMAMURA F., 2000 – “Tsunami Catalog and Zones in Indonesia”, *Journal of Natural Disaster Science* 22, 1, p. 25-43.

LAVIGNE F. & PARIS R. (eds), 2008 - *Rapport scientifique du programme Tsunarisque (2005-2006)*, Presses Universitaires de la Sorbonne (sous presse).

LAY T., KANAMORI H., AMMON, C.J., NETTLES M., WARD S.N., ASTER R.C., BECK S.L., BILEK S.L., BRUDZINSKI M.R., BUTLER R., DESHON H.R., EKSTRÖM G., SAKATE K., SIPKIN S., 2005 – « The great Sumatra-Andaman earthquake of 26 December 2004 », *Science*, 308, p. 1127–1133.
PARIS R., LAVIGNE F., WASSMER P., SARTOHADI J., 2007 – “Coastal sedimentation associated with the December 26, 2004 in Lhok Nga, west Banda Aceh (Sumatra, Indonesia)”, *Marine Geology* 238, p. 93-106.

TITOV V., RABINOVICH A.B., MOFJELD H.O., THOMSON R.E., GONZÁLEZ F. I., 2005 – “The Global Reach of the 26 December 2004 Sumatra Tsunami”, *Science* 309, p. 2045-2048.

Spatialisation des données paléoenvironnementales et modélisation de l'évolution paysagère du bassin versant de Montchâtre à l'Holocène récent (Massif central, France)

Christèle BALLUT¹, Grégoire GABY², Béatrice PRAT³

Résumé

Ce travail est le résultat de la mise en œuvre d'une méthode exploratoire destinée à reconstruire les paysages du passé. Cette méthode repose sur les liens qui existent entre cadre géomorphologique, processus sédimentaires et végétation. Elle réalise une spatialisation des données géomorphologiques, indicatrices d'un état de surface, pour proposer une reconstitution des types de couverts végétaux en utilisant les données de terrain et la géomatique.

Mots clefs. Paléoenvironnement, paléopaysage, spatialisation, modélisation, Massif central français

Abstract

This work is the result of an exploratory method to reconstruct landscapes of the past. This method is based on the links between geomorphological context, sedimentary processes and vegetation. It realizes a spatialization of the geomorphological data (indication of a state of surface) to propose a reconstruction of the type of vegetal cover using field data and a geomatic approach.

Key-words. Palaeoenvironment, palaeolandscape, spatialization, modelling, french Massif central

I. Problématique

Les recherches paléoenvironnementales s'attachent aujourd'hui à modéliser les dynamiques passées pour comprendre le fonctionnement des milieux. Les démarches généralement interdisciplinaires sont construites autour d'un référentiel commun qui est l'espace géographique. Cependant, la spatialisation des données du passé pose des problèmes méthodologiques. Leur acquisition est souvent ponctuelle (carottage, site archéologique). Leur représentativité spatiale est difficile à connaître et de surcroît souvent différente d'une discipline à l'autre. Elle peut être cherchée à l'échelle d'unités physiques, d'aires d'enregistrement de la pluie pollinique, d'unités administratives ou de régions historiques. Se pose également le problème des outils analytiques et du paramétrage des modèles, car les paysages s'organisent à la fois sur des critères physiques, biologiques et

1. Géolab UMR 6042-CNRS.

2. CSIC.

3. UMR 8555-CNRS.

humains aux interactions complexes et dont l'influence est variable sur l'évolution environnementale d'un système à un autre (Treuil *et al.*, 2001 ; Ballut *et al.*, 2005 ; Ch'ng et Stone, 2006).

Nos propositions méthodologiques ont été élaborées dans le cadre d'une approche paléo-environnementale des archives sédimentaires associant géomorphologie et paléocéologie. Dans ce cadre, les données géomorphologiques sont souvent plus aisées à spatialiser que les données botaniques, polliniques en particulier. Les données sur le cadre physique (topographie, géologie) varient peu à l'échelle de l'Holocène et celles sur les processus passés peuvent faire l'objet d'une collecte spatiale. Les archives pédosédimentaires sont présentes partout, même si leur qualité est variable et si le problème de leur datation est fréquent. En revanche, les données polliniques sont conservées préférentiellement dans les milieux humides. De plus, le spectre pollinique est fonction de multiples paramètres associés au type de pollen et au contexte de dépôt qui rendent sa représentativité spatiale difficile à évaluer (Broström, 2002 ; Mazier *et al.*, 2006). Or, les processus sédimentaires précédemment évoqués résultent du cadre géomorphologique et de facteurs externes (climat et sociétés) dont l'action se matérialise par l'état du couvert végétal. Dans ce système à trois entrées, le cadre géomorphologique et les processus sédimentaires, en partie documentés par des données déjà spatialisées, indiquent l'état de surface des secteurs étudiés et le type de couvert végétal probable (Ballut *et al.*, 2008a).

Pour formaliser ce modèle théorique, un cadre méthodologique et technique exploratoire a été mis au point. Il a été testé dans le bassin versant de Montchâtre particulièrement propice à la mise en œuvre d'une entreprise de modélisation : taille réduite (2 ha), configuration topographique en amphithéâtre, homogénéité géologique (terrains cristallins), qualité des archives sédimentaires du maar situé à l'aval.

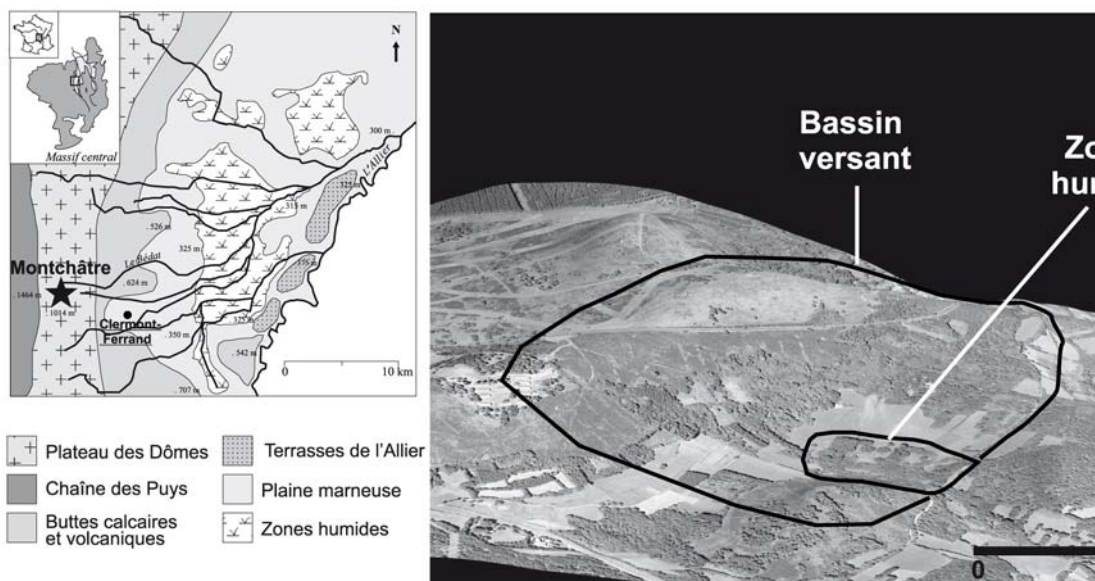


Figure 1 : Le bassin versant et la zone humide de Montchâtre (Massif central) (C. Ballut, CNRS).

Le modèle a défini des relations causales dans un système fonctionnel simplifié. Il s'appuie sur l'identification de types de processus environnementaux sans aborder le détail et la complexité des interférences entre les données géomorphologiques et botaniques. Il caractérise l'intensité des processus et non celle de leurs facteurs explicatifs (climat et occupation des sols). Toutes les données traitées ont été intégrées, croisées et analysées sous SIG (ArcView - Spatial Analyst). Une fois le modèle mis au point, le SIG a été couplé à un logiciel de photoréalisme 3D (Visual Nature Studio 2) pour simuler les paysages passés.

2. Mise en œuvre de la méthode

2.1. Définition des entités spatiales de base

La première étape a consisté à spatialiser les données sur le cadre géomorphologique en découpant le bassin versant en unités physiques homogènes sur la base de critères stables à l'échelle de l'Holocène récent : pente, altitude, exposition, géologie. Les unités ainsi définies offrent *a priori* des qualités homogènes à la fois pour la pédogenèse, la morphogenèse et la mise en valeur agricole et sont considérées comme les unités de base au niveau desquelles sera recueillie l'information. Néanmoins, chaque critère a fait l'objet d'une réflexion propre adaptée aux spécificités des lieux. Les seuils qui délimitent les classes de pente ont été choisis en fonction de l'étendue des degrés de pente et du type de processus géomorphologiques ou hydrologiques affectant les terrains. Le gradient altitudinal, relativement faible (130 m), a toutefois permis la définition d'une limite fixée à 960 m en deçà de laquelle les terrains sont abrités des vents dominants d'ouest. L'exposition a été simplifiée à quatre directions (nord, sud, est, ouest), auxquelles s'ajoutent les terrains plats. Le découpage géologique a délimité deux ensembles : le maar et les terrains cristallins environnants. Une taille minimale de 5000 m² a été retenue pour la définition des unités. Ce chiffre ne positionne pas les unités à l'échelle de la parcelle, à laquelle il nous est difficile de descendre, et nous rapproche de celle du terroir, pouvant trouver une cohérence à l'échelle de l'unité d'exploitation.

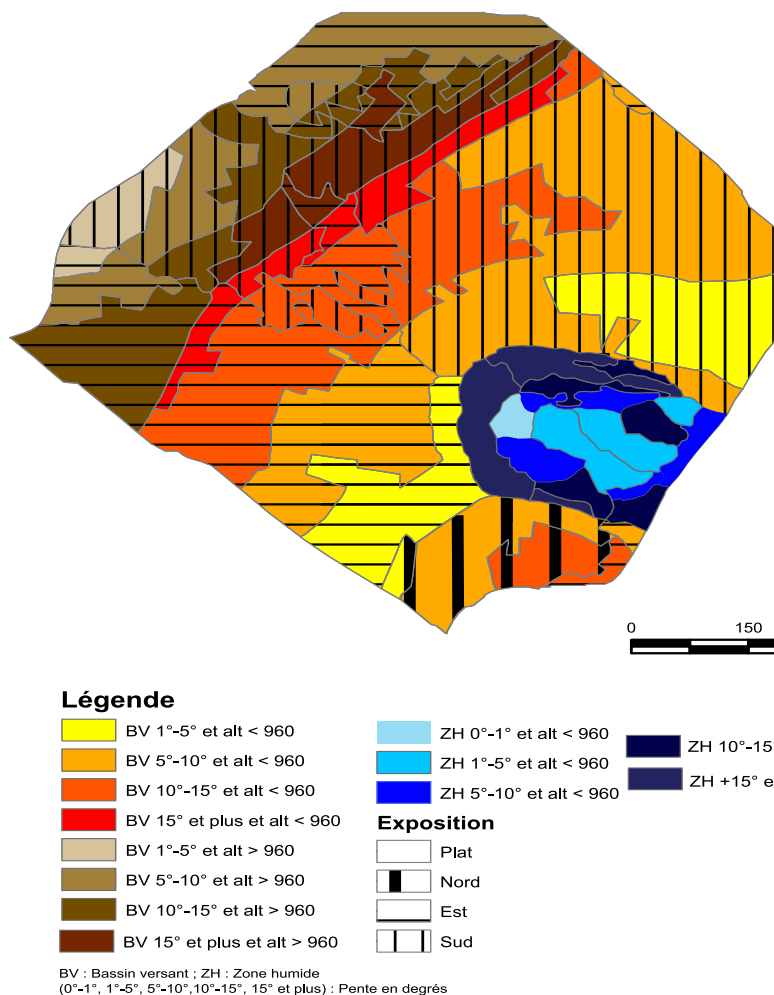


Figure 2 : Carte des unités spatiales (G. Gaby, CNRS).

2.2. Collecte des données sédimentaires et botaniques

Les données de terrain sur les processus pédosédimentaires et la végétation passés et actuels sont des données dynamiques qui permettent de mesurer les changements intervenus au cours de la période documentée.

Les données sur le passé ont été collectées dans les archives sédimentaires des unités physiques définies grâce à des analyses physicochimiques (granulométrie, C, N, P, K, Ca, Mg, N-NO₃, N-NH₄) et à l'observation des paléformes d'érosion ou d'accumulation. Les paléoprocessus géomorphologiques ont souvent pu être identifiés, mais peu d'informations chronologiques ont été obtenues dans les séries sédimentaires se trouvant hors de la zone humide. Seuls les sédiments du maar ont pu faire l'objet d'analyses paléocologiques (pollens et autres micro-fossiles, bryophytes) et de datations radiocarboniques (2 datations ¹⁴C conventionnelles et 4 AMS) complémentaires. Les résultats éclairent les dynamiques paysagères du bassin versant et de la zone humide depuis plus de 2000 ans (fig. 3) (Ballut *et al.*, 2008b)

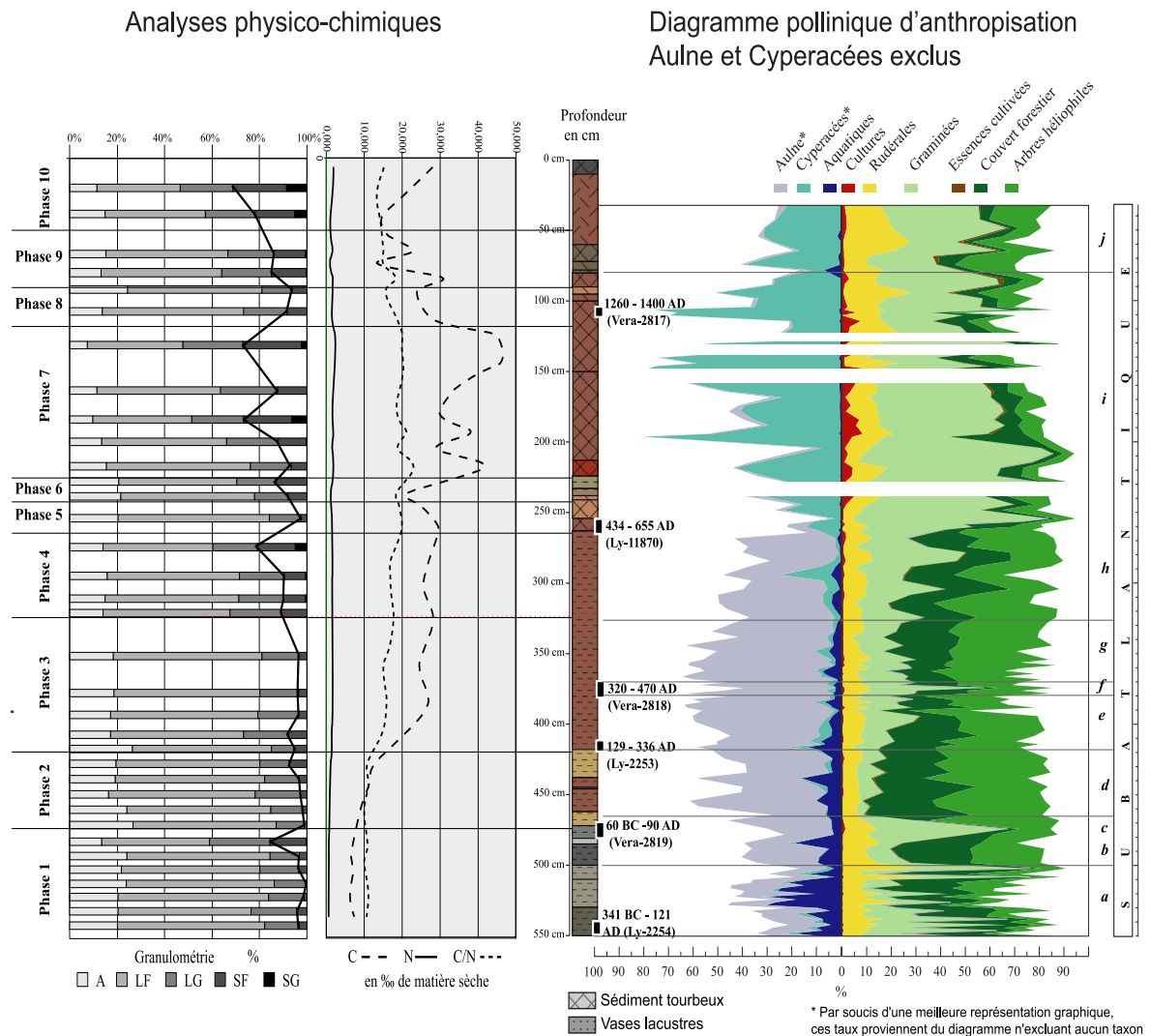


Figure 3 : Principaux résultats des analyses réalisées sur les archives sédimentaires de la zone humide de Montchâtre (carotte MCH3, 550 cm) (C. Ballut, B. Prat, CNRS).

Dans le bassin versant, à la fin de l'âge du fer, des accélérations irrégulières de la morphogenèse sont associées à des ouvertures du couvert forestier. Les pâtures et dans une moindre mesure les champs de céréales composent déjà une part importante du paysage. Il en est de même au Haut Empire, en revanche caractérisé par une plus grande stabilité paysagère. Après les IV-V^e siècles et jusqu'au milieu du XX^e siècle, l'impact des activités humaines sur les transferts de matières est croissant (ravinement) et corrélé avec une quasi disparition des surfaces boisées et une nette progression des céréales. Dans la zone humide, les sédiments témoignent de fonctionnements hydriques très différents. Le lac occupant le maar s'est progressivement colmaté jusqu'au Moyen Âge où un étang a vraisemblablement été créé. Cet étang s'est colmaté à son tour en lien avec l'accélération des dynamiques sédimentaires, puis a été drainé pour gagner des terres pâturables dès la fin de l'époque médiévale. Les prés humides et tourbeux ont ensuite caractérisé la zone humide jusqu'au retrait agricole du XX^e siècle.

Les dynamiques actuelles ont été abordées grâce à l'étude des processus géomorphologiques actuels observés sur une année par type d'unité et de couvert végétal. Le travail a consisté en une identification des processus et de leurs conditions de déclenchement, sans quantification de l'érosion. Actuellement, le splash, le creep et ruissellement diffus dominant très largement la morphogenèse (à l'exception du ravinement des chemins). Les bois et broussailles recouvrent les parties les plus en pente et les terrains plus plans sont occupés par des surfaces en herbe. La zone humide est elle aussi largement boisée. La nappe d'eau reste sub-affleurante.

L'ensemble des observations a permis de définir une typologie simplifiée des processus passés et présents élaborée en fonction des signatures sédimentaires des différents processus, du diagramme pollinique et du couvert végétal actuel. Ont été retenus 5 gradients de l'érosion dans le bassin versant, 3 états hydriques dans la zone humide et 9 types d'associations végétales (fig. 4).

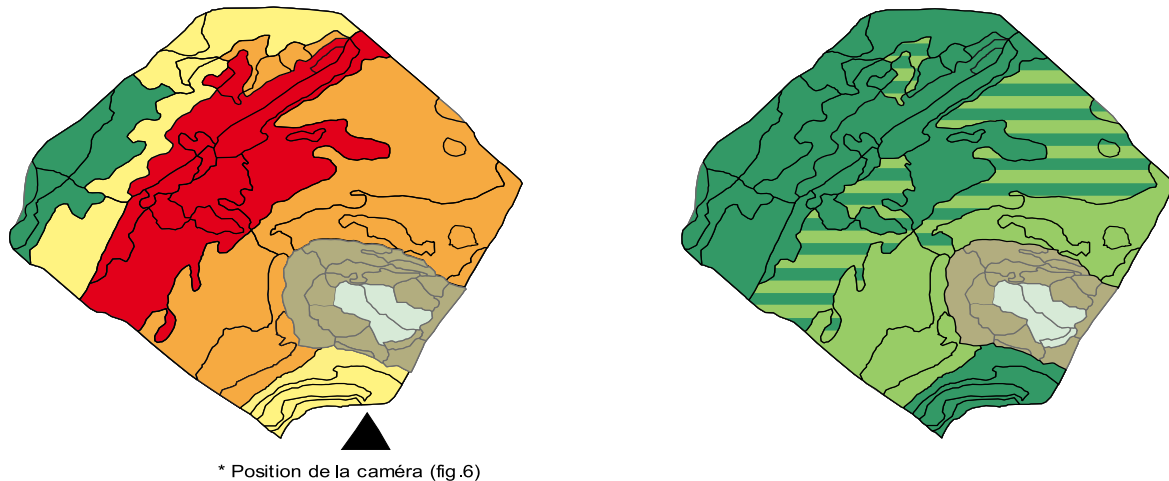
BASSIN VERSANT		ZONE HUMIDE	
Gradients de l'érosion (processus dominants)	Associations végétales	Etats hydriques	Associations végétales
<ul style="list-style-type: none"> - Erosion faible à nulle (splash, reptation) - Erosion faible à modérée (ruissellement diffus) - Erosion modérée (ruissellement diffus et peu concentré) - Erosion modérée à forte (ruissellement concentré) - Erosion forte (ravinement) 	<ul style="list-style-type: none"> - Arbres forestiers - Arbres héliophiles - Landes - Graminées - Céréales - Sol nu 	<ul style="list-style-type: none"> - Nappe d'eau - Nappe d'eau peu profonde / marais - Sol humide 	<ul style="list-style-type: none"> - Eau - Carex / prairies humides - Saules / Aulnes

Figure 4 : Typologie des processus environnementaux (C. Ballut, B. Prat, CNRS).

2.3. Spatialisation des dynamiques sédimentaires

Dans le bassin versant, si les processus sédimentaires passés et présents sont généralement identifiés, l'absence de données chronologiques et les lacunes dans la sédimentation ne permettent pas d'envisager une spatialisation diachronique. Au contraire, les données de la zone humide sont calées chronologiquement et relativement continues, mais ne sont pas spatialisées (sauf pour les données liées à l'état hydrique). La spatialisation des dynamiques sédimentaires associe nécessairement les deux sources d'informations.

D'une part, les observations réalisées dans le bassin versant ont permis une cartographie des processus géomorphologiques actuels. De nombreuses données géomorphologiques spatialisées relatives au maximum de l'érosion connue dans le bassin versant ont également permis de dresser une carte très documentée des processus de la fin du Moyen Âge et de l'époque moderne. Ces deux cartes, respectivement considérées comme le minimum et le maximum de la morphogenèse dans le bassin versant depuis 2000 ans, ont permis un étalonnage du modèle (fig. 5).



Gradients de l'érosion (processus géomorphologiques dominants)

- Erosion faible à nulle (splash, reptation, léger ruissellement diffus)
- Erosion faible à modérée (ruissellement diffus)
- Erosion modérée (ruissellement diffus et peu concentré)
- Erosion modérée à forte (ruissellement concentré)
- Erosion forte (ravinement)

Humidité

- Nappe d'eau
- Nappe d'eau peu profonde / marais
- Sol humide

Figure 5 : Dynamiques géomorphologiques et hydrologiques modernes et actuelles (C. Ballut, CNRS).

D'autre part, l'étude de la carotte extraite du maar a fourni une courbe d'intensité des processus érosifs dégagée des variations granulométriques des apports sableux dans la zone humide (fig. 3). Sur substrat cristallin et compte tenu de la possible minéralisation de la matière organique, cet indicateur a été retenu comme le plus pertinent. Dans l'ensemble, cette courbe offre de plus une bonne corrélation avec l'ouverture du couvert végétal décelée dans le diagramme pollinique (malgré un biais introduit par des aménagements de bordure à deux courtes reprises au début du Moyen Âge et vers les XIII-XIV^e siècles (phases 5-6, puis 8).

De la fin de l'âge du fer à aujourd'hui, la reconstitution d'une dizaine de phases s'est ainsi appuyée sur l'éventail de situations intermédiaires possibles entre les deux états documentés. Les surfaces affectées par les différents types de processus varient en fonction de la courbe d'intensité des processus dégagée des analyses granulométriques de la zone humide. Elles sont choisies par rapport à l'aptitude des unités dans le système agro-pastoral, à leurs archives sédimentaires et au référentiel actuel grâce à l'utilisation des statistiques et de la géomatique.

2.4. Simulations paysagères

La cartographie des processus géomorphologiques renseigne l'état de surface des unités et offre la possibilité de proposer un type de couvert végétal unité par unité, précisé grâce aux indications fournies par l'observation systématique des conditions de déclenchement des processus actuels et à celles fournies sur ces mêmes conditions par la documentation sur l'époque moderne (archives

sédimentaires et couvert végétal renseigné sur le cadastre napoléonien de 1831). Par exemple, le ruissellement concentré apparaît sur des surfaces mal couvertes par la végétation (surfaces cultivées ou éventuellement surpâturées). Son intensité varie avec la pente et la proportion de surfaces mal couvertes à l'intérieur de chaque unité. Le ruissellement diffus domine sur les surfaces en herbe et sa compétence s'accroît aussi avec la pente. Les couverts forestiers sont les plus couvrants et sont peu propices au ruissellement

Ces résultats ont été transformés en images numériques. Les fichiers Arc View ont été importés sous VNS2 où ils ont été « habillés » grâce à une banque de données de plantes assemblées pour créer les textures végétales souhaitées. Les pourcentages et les densités de végétaux pour chaque écotype à l'intérieur de chaque zone ont été proposés grâce aux données obtenues sur la végétation actuelle (fig. 6).

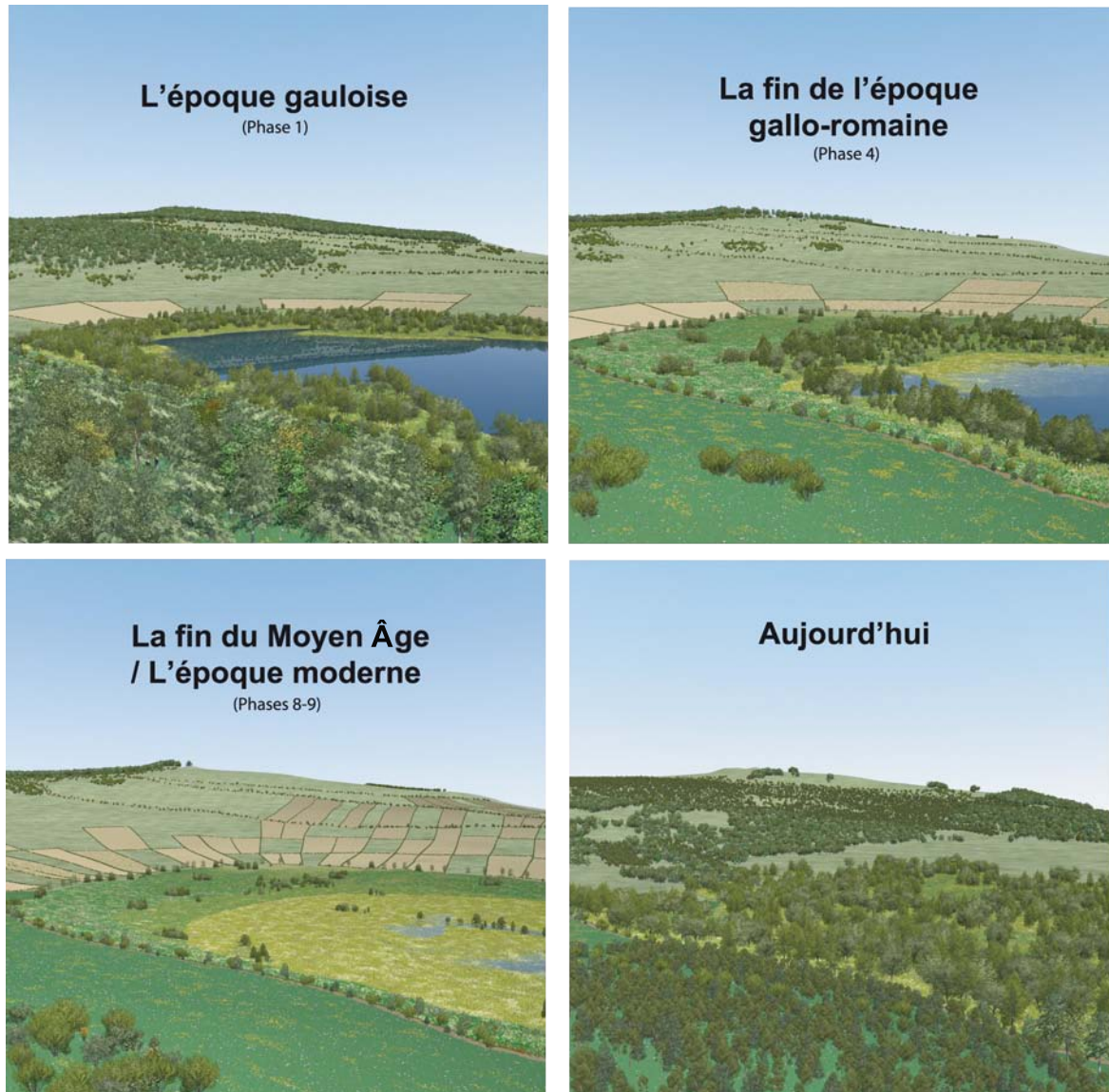


Figure 6 : Simulations paysagères (C. Ballut, G. Gaby et B. Prat, CNRS).

À ce stade, pour livrer des images réalistes des paysages passés, tous les contours de zones ont été redessinés sous SIG en respectant rigoureusement les extensions de surface. Cette étape a posé le problème de la restitution des morphologies paysagères. Ont été pris en compte les voies de communication naturelles et existantes et les données archéologiques et historiques.

Pour les détails des parcellaires gaulois, romains et médiévaux, les recherches bibliographiques (Charbonnier, 1980 ; Chouquer, 2000) et la discussion avec archéologues et historiens ont fourni peu de détails pour cet espace de montagne. Des informations sur la taille des parcelles ont été collectées, mais peu sur leur agencement au sein du terroir. Pour les périodes moderne et contemporaine, le cadastre napoléonien a fourni des données sur la morphologie des paysages. Mais, compte tenu du peu d'informations disponibles pour l'ensemble de la période, le système parcellaire n'a été recréé que pour les parcelles cultivées. A noter qu'aucun site archéologique gaulois ou romain n'est connu dans le bassin versant. Depuis le Moyen Âge, les sites d'habitat des exploitants des terres de Montchâtre se trouvent hors de ses limites.

3. Conclusion

Le choix et la qualité des données qui contribuent à l'édification des modèles et leur traitement sont prépondérants pour assurer la pertinence des restitutions paysagères. Cependant, les choix méthodologiques obligent à une simplification des résultats. La marge d'erreur introduite est inhérente à l'entreprise de modélisation, mais elle doit être minimisée et discutée. Parmi les problèmes posés, les profonds changements paysagers intervenus au XX^e siècle (retrait agricole, remembrement) n'évitent pas le risque d'actualisme, ce qui confère une valeur indicative au référentiel actuel. De même, la taille minimum des unités spatiales peut être contestée sur la durée avec l'évolution des structures paysagères. Une autre faiblesse de la méthode est qu'elle repose sur une entrée principale des systèmes environnementaux : la géomorphologie. En particulier, le découpage en unités physiques écarte *a priori* des facteurs socio-économiques, voire politiques, pouvant expliquer l'organisation des territoires. Les données disponibles sur les modes et structures d'exploitation des sols étant peu nombreuses, les facteurs socio-économiques connus (voies de circulation, anciens parcellaires par exemple) n'ont été intégrés que dans un second temps comme facteurs de correction ou de précision du modèle. Ainsi, cette contribution bénéficierait à ce stade d'un croisement avec d'autres démarches modélisatrices fondées sur des données archéologiques/historiques et paléoécologiques.

Remerciements

Nos remerciements s'adressent à Pierre Charbonnier (historien médiéviste, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand), Emmanuel Grégois (historien médiéviste, LAMOP, Paris I), Christine Mennesier-Jouannet (archéologue, Protohistoire, INRAP Auvergne) et Pierre Vallat (archéologue, Antiquité romaine, INRAP Auvergne) pour leurs conseils avisés sur la morphologie des paysages anciens du Plateau des Dômes. Nous remercions également Manon Cabanis (carpologie, anthracologie, étude des bryophytes, CRPPM, INRAP) et José Antonio López-Sáez (étude des micro-fossiles non polliniques, CSIC, Espagne) pour leur collaboration à l'étude paléoenvironnementale des archives sédimentaires de la zone humide de Montchâtre.

Bibliographie

BALLUT C., GABY G., PRAT B., 2008a. Restitution et modélisation de l'évolution paysagère du bassin versant de Montchâtre à l'Holocène récent (Massif central, France), D. Galop (dir.), Actes du colloque du RTP Paysages et environnement : de la reconstitution du passé aux modèles prospectifs, Presses universitaires de Franche-comté, Annales littéraires, série « Environnement, sociétés et archéologie », Besançon, 227-236.

BALLUT C., PRAT B., LOPEZ SAEZ J.-A., GABY G., CABANIS M., 2008b. Evolution environnementale d'une zone humide et de son bassin versant depuis la fin de l'âge du Fer : le maar de Montchâtre (Massif central, France). Quaternaire, 19, (1), p.87-97.

BALLUT C., VAUTIER F., GABY G., 2005 - Contribution de la géographie et de la géomorphologie à la spatialisation des informations paléoenvironnementales : Limagne humide et bassin versant de Montchâtre (Massif Central français). In : J.-F. Berger *et al.* (eds), *Temps et espaces de l'homme en société, Analyses et modèles spatiaux en Archéologie, Actes des XXV^e Rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes*, 21-23 octobre 2004, Juan-les-Pins, 517-526.

BROSTRÖM A., 2002. *Estimating source area of pollen and pollen productivity in the cultural landscapes of southern Sweden - developing a palynological tool for quantifying past plant cover*. Lundqua Thesis 46, Quaternary Geology, Department of Geology, Lund, 36 p.

CHARBONNIER P., 1980. *Une autre France. La seigneurie rurale en Basse Auvergne du XIV^e au XV^e siècles*. Publications de l'Institut d'Etudes du Massif Central, fascicule XX, 2 tomes, 1275 p.

Ch'ng E., Stone R.J., 2006. 3D archaeological reconstruction and visualisation : an artificial life model for determining vegetation dispersal patterns in ancient landscapes, *International Conference on Computer Graphics, Imaging and Visualisation*, 112-118.

CHOUQUER G., 2000. *L'étude des paysages. Essais sur leurs formes et leur histoire*, Paris, Éd. Errance, 208 p.

GAUCHEREL C., BAUDRY J., AUCLAIR D., HOUILLER F., 2004. *État de l'art de la modélisation du paysage*, INRA, Rennes, 31 p.

LIU X., ANDERSSON C., 2004. Assessing the impact of temporal dynamics on land-use change modelling, *Environment and Urban Systems*, 107-124.

MAZIER F., GALOP D., BRUN C., BUTTLER A., 2006. Modern pollen assemblages from grazed vegetation in the western Pyrenees, France : a numerical tool for more precise reconstruction of past cultural landscapes. *The Holocene*, 16, 1, 91-103.

MICHELIN Y., VERGNE V., DENÈFLE M., COHEN J., 1996. Méthodologie pour une reconstitution paysagère ; la chaîne des Puys de la fin de l'empire romain à nos jours. In : M. Colardelle, *L'homme et la Nature au Moyen Âge*, Errance (éd.), Actes du Colloque d'archéologie médiévale, Grenoble 1993, 57-62.

SCHMIDT-LAINÉ C., 2002. Environnement : modélisation et modèle pour comprendre, agir ou décider dans un contexte interdisciplinaire. *Nature Science Sociétés*, vol. 10 (suppl. 1), 5-25.

TREUIL J.-P., MULLON C., PERRIER E., PIRON M., 2001. Simulations multi-agents de dynamiques spatialisées. In : L. Sanders (dir.) - *Modèles en analyse spatiale*, Lavoisier, 219-252.

L'eau, un risque pour le monument ?

Bruno PHALIP¹, Marie-Françoise ANDRÉ²

Résumé

Une approche interdisciplinaire associant archéologie du bâti et géographie physique cherche à mieux comprendre les modalités de l'érosion des monuments par l'eau. La partie archéologique insiste particulièrement sur la localisation et le cheminement de l'eau et fournit quelques exemples médiévaux auvergnats. La partie géographique prend en considération les caractères physiques et chimiques de l'eau à l'œuvre dans le processus de dégradation. L'enjeu est d'améliorer les conditions de préservation et de restauration du patrimoine bâti.

Mots clés. Monument, érosion, fonctionnalité du bâti, restauration.

Abstract

An interdisciplinary approach linking archaeology of the building and physical geography tries to understand the modalities of the erosion of monuments by water. The archaeological party stresses particularly the location and the progression of water and offers some medieval examples of the Auvergne. The geographical party takes into consideration the physical and chemical characters of water in work in the process of deterioration. Stake consists in ameliorating the conditions of preservation and restoration of built heritage.

Keywords. Monument, erosion, functionality of the building, restoration

1. Professeur d'Histoire de l'Art et d'Archéologie, Clermont-Ferrand II, Centre d'Histoire « Espaces et Cultures ».

2. Professeur de Géographie physique, Clermont-Ferrand II, GEOLAB – Laboratoire de géographie physique et environnementale.

I. La question archéologique

Au-delà de l'affection portée à Marie-Françoise, l'association des compétences d'une géographe et d'un archéologue du bâti mérite d'être interrogée. Chacun présente donc ici ses domaines de spécialité intégrés dans la problématique commune de l'altération des matériaux de construction de sanctuaires médiévaux, pour lesquels sont discutées les nécessités de la conservation et celles de la restauration. En premier lieu, l'historien de l'architecture médiévale ou l'archéologue du bâti considère la question sous l'angle d'une préoccupation constante. La « mise hors d'eau » constituant une nécessité permanente pour les architectes, les maîtres d'œuvre et les restaurateurs, cinq points sont identifiés de façon à définir un « danger » et rarement un « allié ». « L'eau du dessous » étant envisagée, l'enquête est poursuivie par les risques encourus de l'action spécifique de « l'eau de l'intérieur », de celles « des surfaces », de « l'eau des voûtes » et enfin, de « l'eau du dessus ».

I. 1. « L'eau du dessous »

En premier point, « l'eau du dessous » peut être souhaitée et faire l'objet d'un culte. À la période médiévale en Occident, des puits votifs sont aménagés, comme dans la plupart des cryptes destinées au culte des reliques pour des édifices de pèlerinage : Notre-Dame-du-Port à Clermont-Ferrand, Saint-Julien de Brioude et des dizaines de sanctuaires dans le diocèse de Clermont (Mozat, Plauzat, Saint-Saturnin...). À ces puits, il faut ajouter les sources aménagées mettant en scène l'écoulement d'eaux vives sous l'édifice (Nohanent 63), voire au sein même de la nef (Notre-Dame d'Orcival 63) : nymphée et chapelle dans le premier cas ; source, bassins et canalisation dans la nef dans le second cas. Plus modestement, la *virtus* du saint et de ses reliques génère des inhumations sous les gouttières des églises, ou encore des systèmes de drainage d'eaux sanctifiées à proximité des reliques (Saint-Pierre de Souvigny 03). Néanmoins, l'eau fait l'objet de réflexions et d'aménagements constants. Pour répondre à la réalité des nappes phréatiques et des sols gorgés d'eau, les fondations sur pilotis s'imposent. Autre solution complémentaire, les fondations sont suspectées de déformations possibles et de basculement amoindrissant la cohérence des maçonneries d'assise pendant le temps de séchage des mortiers hydrauliques. Ainsi, les constructeurs de la cathédrale de Tournai (Belgique), ne pouvant atteindre les bancs calcaires stables, s'attachent à maintenir les fondations du chœur par le biais de cerclages charpentés à la jonction entre les assises supérieures de fondation et celles inférieures des premiers litages hors-sol. À la manière des fondations d'un pont, un « berceau » est prévu de façon à établir un batardeau cerclant l'ensemble et assurant la cohésion des fondations dans un corset provisoire. Dans le milieu montagnard, les difficultés sont autres. Si les roches sont stables, les eaux d'infiltration constituent un danger et contribuent à faire glisser les maçonneries. Des arcs de décharge sont alors mis en place afin de lutter contre l'éventuelle dissolution des mortiers par ces eaux.

I. 2. « L'eau de l'intérieur »

En second point, « l'eau de l'intérieur » constitue un risque repéré par les premiers restaurateurs. Parmi eux, Viollet le Duc, à la fin du XIX^e siècle, propose une lecture des structures maçonnées internes. Il remarque combien les murs souffrent d'un phénomène de décollement des parements vis-à-vis du blocage et constate une différence de réactivité entre le blocage qui peine à sécher face à l'écran étanche de l'épiderme du mur. En conséquence, les murs irrégulièrement secs présentent des désordres. Les maçonneries doivent alors être « agrafées » pour étré sillonner parements et blocage, sans que cela soit suffisant pour régler la totalité du problème. Celles-ci doivent être assainies, épongées et asséchées. En somme, si la base (remontées d'eau par capillarité) et le sommet des murs se mouillent (infiltrations diverses), ils sont susceptibles de se gonfler, de perdre de leur verticalité et cohésion interne. L'épiderme restant théoriquement plus stable (temps de séchage réduit ou maîtrisé), le blocage tend à s'affaisser en l'absence de solutions. À terme, les mortiers se désagrègent, perdent de leurs qualités par dissolution et arénisation. Face à cela, deux possibilités existent en dehors du chaînage et de l'agrafage du blocage aux parements. Aérer et sécher les maçonneries en utilisant les trous de boulins borgnes et traversants constituent, pour

l'essentiel, des solutions romanes. Si les joints minces des parements sèchent par leur contact avec l'air ambiant, les mortiers du blocage sont mis en contact régulier avec l'air par le biais de ces trous aidant à sa circulation. Par ailleurs, au niveau des reins des voûtes, des rangées de trous sont souvent prévues, sans être associées à l'utilité immédiate de la pose d'un échafaudage. Ce dernier moyen est adapté aux pays méridionaux dont les habitudes de couverture sont spécifiques : extradors de voûtes directement couverts par des lauzes et tuiles creuses. L'absence de combles implique alors un séchage incomplet ou problématique de ces maçonneries hautes affectées par les précipitations : reins régulièrement mouillés et mal séchés, mortiers dégradés (Fig 1).



Figure 1 – Mazeyrat-Aurouze en Haute-Loire, chevet du prieuré roman. Cl. B. Phalip

Deuxième possibilité expérimentée par les maîtres d'œuvre dès la première moitié du XI^e siècle : vider le mur de sa substance et supprimer le blocage. (Fig 2). Cette solution, romane au départ, devient gothique en utilisant les coursières, les triforiums et différents types de passages internes. D'une part, le temps de séchage du blocage est réglé, puisque les mortiers épais et humides disparaissent ; d'autre part, l'ensemble est bien aéré. Le mur est sec et stable parce qu'il est creux.



Figure 2 – Noyon, cathédrale (Oise), triforium, fin du XII^e siècle.
Cl. Charles Seymour, *La cathédrale Notre-Dame de Noyon au XII^e siècle*, Paris, 1975, n°75b.

1.3. « L'eau des surfaces »

En troisième point, « l'eau des surfaces » suppose des réflexions relevant de l'étanchéité et de l'écoulement des eaux de pluie sur les surfaces parementées. Dès le XI^e siècle, des solutions sont proposées, visant à éloigner l'eau des parements et à l'égoutter. Néanmoins, la multiplication des corniches et des « solins » de pierre et de mortier est caractéristique du milieu du XIII^e siècle en Europe occidentale. Elle est évidente dans ses parallèles avec le développement des toitures à forte pente. Phénomène de mode dans les territoires français capétiens, puis se répandant partout en Europe, ces corniches forment autant de gouttières ou « larmiers ». Des couvertures de bardeaux et ardoises, des crépis, enduits et badigeons isolants viennent enfin largement couvrir les façades de manière à offrir une protection aux matériaux de construction fragiles (pisé, brique de terre dans le bâti commun), aux joints et aux structures de bois. Ainsi, l'eau ne peut concourir à la dégradation des structures et des matériaux. L'air circule et sèche toute infiltration possible.

1.4. « L'eau des voûtes »

En quatrième point, « l'eau des voûtes » implique des aménagements spécifiques afin de garder la cohésion des structures maçonnées pendant le temps de séchage des mortiers. Les couvertures étant souvent directement positionnées en extrados, sans charpente, ni combles pour en sécher les reins, le volume construit est source de déformations possibles dans ces zones soumises à toutes sortes de mouvements de maçonneries. Pour assurer la cohésion, des poutres sont noyées longitudinalement dans les reins de voûtes romanes pour les caler et les corseter en évitant les déformations. En complément, d'autres poutres étré sillonnent transversalement l'ensemble de la construction à tous les niveaux, tant ces volumes maçonnés sont considérés comme souples et déformables (Fig 3). Qui plus est, mal entretenus tout au long des XIII^e et XIV^e siècles, ces édifices nécessitent des restaurations aux XV^e et XVI^e siècles, avec l'adjonction d'autres tirants de bois suppléant aux carences. Afin d'éviter le déversement des murs gouttereaux et l'effondrement des voûtes affaiblies par les infiltrations successives, ces poutres, formant étré sillons, sont connues dans le Massif central et dans le Massif Alpin. L'essentiel des pays méridionaux est donc concerné par cette pratique, attestée dans la péninsule italique et sur la côté orientale de l'Adriatique durant le Moyen Âge.



Figure 3 – Saint-Philibert de Tournus ; Caisse Nationale des Monuments Historiques et Sites, base Mérimée.

1. 5. « L'eau du dessus »

En cinquième point, les « eaux du dessus » sont combattues. Pendant la mise en place des charpentes et couvertures, la voûte est fragile. Son extradados doit être protégé par des mortiers lissés et des couvertures légères, dont les combles actuels gardent la trace de solins et de systèmes d'évacuation des eaux de pluie (Massif Central, pays de Loire, Poitou) : canalisation, gargouilles. Cependant, entre le XI^e et le XVI^e siècle, les charpentes et couvertures sont adaptées. Au nord de la ligne Poitiers/Clermont/Lyon, un mouvement ascendant des charpentes est perceptible avec des conséquences évidentes en terme de couverture postérieurement aux années 1250. Les matériaux, plus légers et disposés selon des pentes aiguës, évacuent rapidement les volumes d'eau plus importants (?), à mettre en correspondance avec les précipitations accrues du petit âge glaciaire. C'est, en effet, à partir du milieu du XIII^e siècle que sont mis en place des systèmes complexes d'évacuation d'eau : coyaux créant un « bris » au dessus des sablières, « égout retroussé » des couvertures projetant l'eau loin des murs, chéneaux de pierre et gargouilles. Selon des informations convergentes collectées dans les pays mosans et plus largement en Belgique, Picardie, Normandie, pays de Loire et Massif central, un mouvement complémentaire se dessine. Dans les pays septentrionaux, le XI^e siècle est celui des pentes basses (autour de 20°, *tegulae/imbrices* ?). Cependant, dès le 12^e siècle, l'accentuation approche les 40° (tuile plate et ardoise). Le maximum est atteint au XIII^e siècle (60°), tout en connaissant des pentes à 70°. Dans les pays « centraux » (Bourbonnais, nord de l'Auvergne, nord du Limousin et Marche, Poitou), aux XI^e et XII^e siècles, l'inclinaison s'établit entre 20° et 35°. Les matériaux de couverture sont posés (tuiles creuses) ou collés au mortier (tuiles creuses, dalles). Aux XIII^e et XIV^e siècles, les moyennes se situent entre 40° et 50° (tuile plate et ardoise). Enfin, aux XV^e et XVI^e siècles, les 60° sont dépassés pour atteindre 72°. Avec des nuances (plus grande rapidité d'adoption dans les pays septentrionaux ; étalement dans l'adoption pour les pays centraux), les toitures (couvertures et charpentes) sont modifiées dans le sens d'une accentuation des pentes et d'une complexification des systèmes de contreventements. Dès lors, contrairement à l'architecture romane qui ne prévoit rien, l'architecture gothique met en place un système savant de hautes charpentes et couvertures à pentes fortes, de chéneaux et de gargouilles. Cette adoption de systèmes performants d'évacuation et d'étanchéité, ne se dément pas ensuite. Toutefois, les pentes de toiture se stabilisant passées le XVI^e siècle, trahissent des améliorations apportées à l'assemblage des matériaux de couverture (pureau moindre, recouvrement augmenté).

1. 6. Application à quelques édifices médiévaux auvergnats

À replacer l'analyse au niveau des seules maçonneries, il convient de remarquer combien les édifices médiévaux concentrent l'attention des restaurateurs. Ces derniers stabilisent les constructions (fondations, contrebutement, équilibre) sans omettre d'améliorer les systèmes d'étanchéité inadaptés ou mal en point. Cependant, le remplacement des pierres altérées et les restaurations révèlent aussi des logiques d'usure. Ainsi, l'étude des matériaux et des mortiers montre combien la géographie des pierres remplacées est tributaire de celle de la qualité des bancs disponibles exploités. À Notre-Dame-du-Port (Clermont-Ferrand), un état des lieux de l'église, datée du XII^e siècle, révèle des remaniements impossibles à imputer à l'action érosive de l'eau. Le portail gothique, ainsi que les parements centraux des travées 1, 3 et 4 (reprise du XIX^e siècle afin de rétablir un état « roman ») sont liés aux utilisations successives du sanctuaire : établissement d'un cloître au sud, de chapelles privées et d'enfeus (fig. 4). En revanche, une étude attentive montre des pierres remplacées (parement, colonnettes, claveaux, corniches et moulures) liées à l'altération des matériaux d'origine. Leur spatialisation indique une attention soutenue de la part des restaurateurs au XIX^e siècle, dans les parties hautes. Cet effort, prolongé au XXI^e siècle, montre ainsi une relative fragilité des arcs et des tribunes de cet édifice. Les pierres d'arkose, taillées en délit (claveaux) ou dans le lit (carreaux), sont touchées par l'arénisation, se délitent et perdent de leurs qualités physiques. Par ailleurs, dans ces deux périodes de restauration, les couvertures sont refaites et des égouts sont prévus au niveau des fondations. Sept à huit siècles après sa construction, l'église a donc été totalement nettoyée et remise en état. Toutefois, l'usure des matériaux de parement n'est jamais uniforme et d'autres facteurs interviennent. Les blocs non remplacés gardent des marques de taille et des signes lapidaires. Pour ces arkoses de parement, seule une infime partie du ciment agrégeant les sables

constitutifs s'est dissout, sans affecter vraiment la surface de référence. De même, la pollution urbaine ne paraît pas avoir d'incidence en accompagnant l'action d'autres facteurs, plutôt qu'en étant le déclencheur. Cela nous amène, avec Marie-Françoise André, à travailler en prenant en compte d'autres causes possibles.

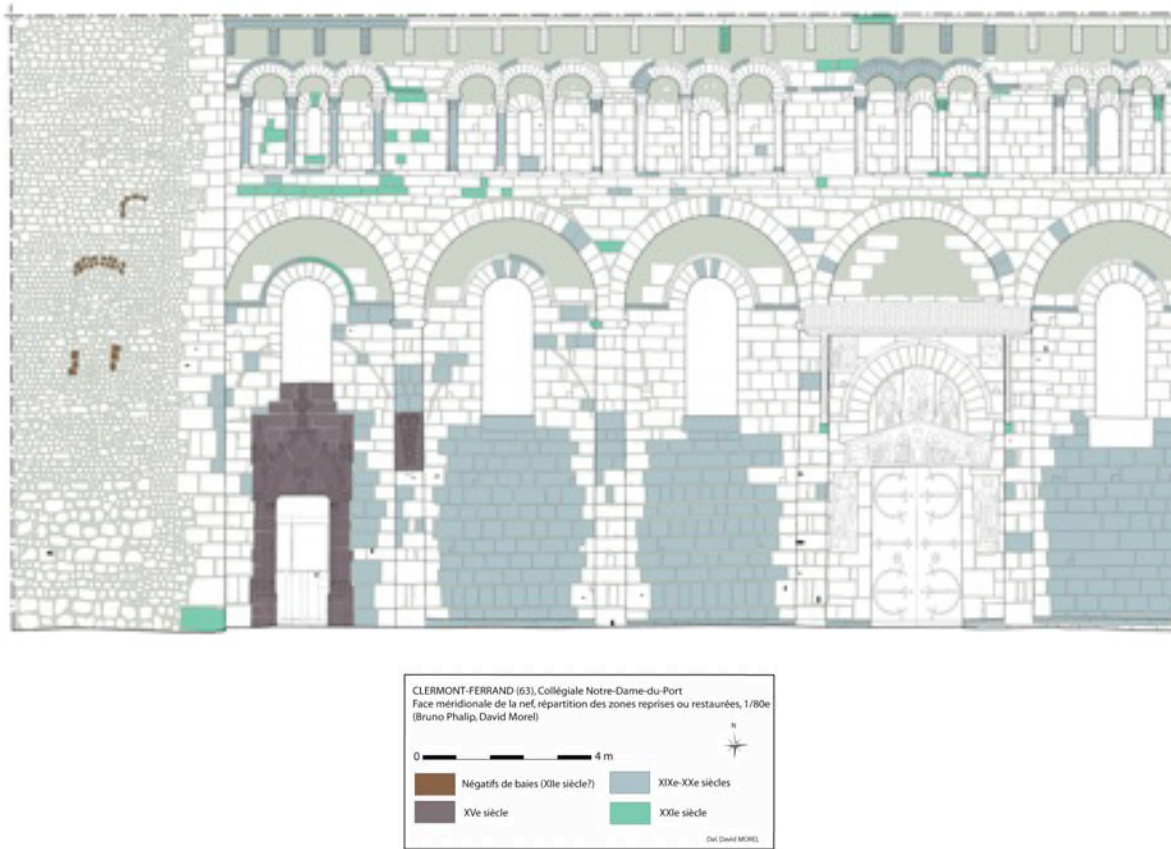


Figure 4 – David Morel et Bruno Phalip (2005-2006), élévation sud du mur de la nef de l'église Notre-Dame-du-Port à Clermont-Ferrand (63) ; pierres d'origine et blocs restaurés.

Quittant Notre-Dame-du-Port, la comparaison avec Saint-Austremoine à Issoire (63) s'avère utile. (fig. 5). L'exemple de Clermont-Ferrand ne montre effectivement pas avec clarté un remplacement additionné des pierres. Les blocs romans remplacés au XIX^e siècle ont rarement fait l'objet d'un nouveau remplacement au XXI^e siècle, par cumul des désordres. De plus, les mortiers du XIX^e siècle ne sont pas « étanches ». Tous les mortiers de chaux du XII^e siècle remplacés (sur 10/20 cm de prof. au niveau des joints), sont hydrauliques sans apport de ciment. En revanche, les trous de boulin ont été souvent bouchés, ce qui gêne la « ventilation » des murs. Cet état des lieux signale, en définitive, un édifice sain et des restaurations minimalistes, sauf à considérer les parties disparues (tour de croisée, chapelles, tour de façade...). En confrontant ce premier cas à celui de l'église d'Issoire, les résultats sont proches. Si le chevet fait l'objet d'une restauration dans la dernière décennie du XX^e siècle, sa nef n'est pas touchée. Nous disposons donc de maçonneries romanes restaurées au XIX^e siècle, sans aucune intervention depuis. En observant les parties affectées par l'érosion, le bas-côté sud et ses tribunes montrent une altération nette des parements. Cependant, cette altération discontinue concerne, en premier lieu, des calcaires grossiers, suivis des arkoses grises avant de toucher les arkoses blondes. Ces dernières sont les seuls matériaux au grain serré et fin dont les ciments offrent une meilleure résistance. En dépit de cela, les restaurations du XIX^e siècle ne concernent pas ces parties plus fragiles et les joints sont refaits au mortier de chaux. Toutes les parties fragilisées par l'eau (gouttières, corniches), sont affectées (arénisation, fractures, délitement) sans nécessiter un remplacement au XIX^e siècle, ce qui montre un état lithologique sain. Si l'on doit

travailler à Notre-Dame d'Orcival, les constats sont assez proches. Finalement, les édifices nous parviennent dans un relatif bon état, sauf pour quelques parties disparues. En revanche, les sites les plus affectés semblent être ceux restaurés à l'extrême fin du XIX^e siècle et dans la première moitié du XX^e siècle, période connue pour son usage de ciments (« noirs », « blancs » ou « bâtards ») inadaptés aux maçonneries anciennes : étanchéité néfaste au séchage. Saint-Nectaire (63) est un de ces édifices, tout comme bon nombre de petites églises restaurées en Auvergne. Dans ce cas, l'eau associée à l'usage de joints non suffisamment poreux nuit à la conservation des monuments et contribue à la désagrégation des matériaux de construction.

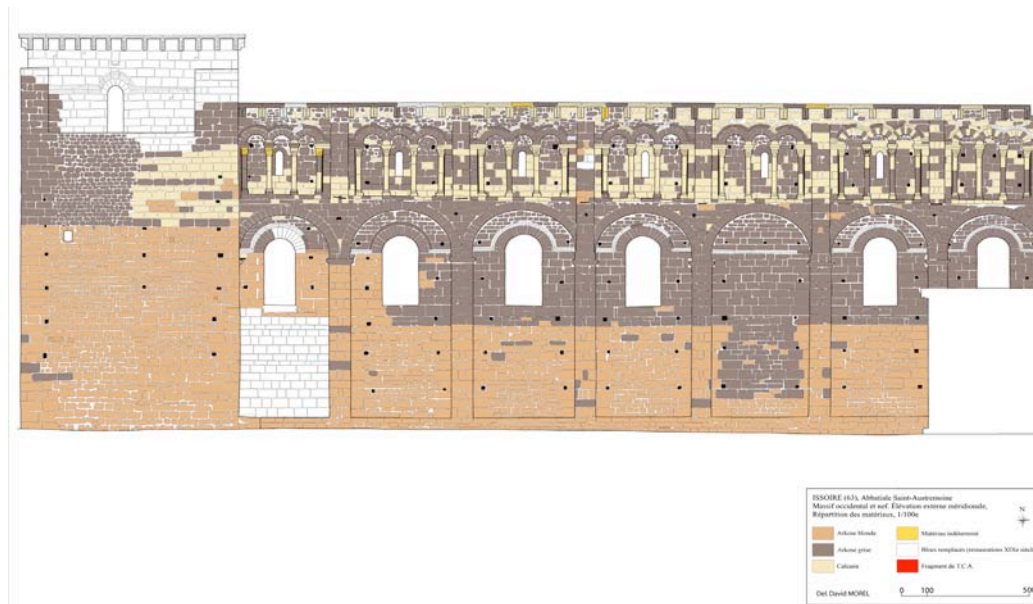


Figure 5 – David Morel (2007), relevé et interprétation de la face sud de la nef de l'église Saint-Austremoine d'Issoire (63), matériaux et qualités des grès enregistrés sur la totalité des élévations.

2. Le regard du géographe

Qu'il travaille sur des pierres monumentales ou des affleurements naturels, le géographe considère l'eau, *a priori*, comme le principal vecteur de la détérioration de la pierre. L'eau dégrade en effet l'épiderme rocheux des pôles à l'équateur, selon des modalités variant précisément selon le contexte environnemental et notamment climatique. Il n'est que de citer le pourrissement du granite sous les tropiques humides et l'éclatement par le gel des calcaires en milieu froid. Mais par-delà la diversité des modalités d'action de l'eau, entrent également en ligne de compte, dans le niveau de détérioration de la pierre, la quantité et la qualité de l'eau qui se trouve en contact avec l'épiderme rocheux. La quantité renvoie une fois encore à la tonalité climatique - plus ou moins humide -, mais également aux cheminements de l'eau dans le monument, et c'est notamment dans ce domaine que la connaissance de l'archéologue du bâti apportera un éclairage particulièrement précieux. Quant à la qualité de l'eau, elle est commandée par des facteurs naturels (ex : eaux salées des embruns littoraux) et des facteurs anthropiques (ex : eaux sulfatées des régions polluées). Mais on ne saurait traiter du rôle de l'eau dans la détérioration de la pierre sans prendre en compte la capacité d'une surface rocheuse – qu'elle soit naturelle ou monumentale – à absorber les eaux de pluie et de ruissellement. L'examen de la porosité et de la perméabilité des matériaux de construction est donc nécessairement au cœur d'une démarche visant à évaluer le niveau du risque lié à l'eau. Enfin, un élément de la donne trop souvent négligé concerne le rôle joué par les biofilms – lichéniques, algaires, fongiques et bactériens – colonisant la pierre : constituent-ils pour l'épiderme rocheux une barrière protectrice contre les eaux atmosphériques ou jouent-ils au contraire le rôle d'éponge, entretenant ainsi l'imbibition de la pierre ?

2.1. L'eau, vecteur et agent n°1 de la détérioration de la pierre

L'eau peut agir par voie chimique, en exerçant une action de dissolution ou de décomposition de la pierre, ou par voie physique, en exerçant – notamment à la faveur de ses changements d'état – des pressions répétées résultant en une fragmentation mécanique des matériaux rocheux.

- Dissolution et hydrolyse : processus-clés de l'attaque chimique de la pierre

Les eaux météoriques, chargées de divers éléments leur conférant une plus ou moins grande agressivité, sont le vecteur de très nombreuses réactions chimiques qui déstabilisent certains minéraux et provoquent, à terme, la décomposition de la roche, accompagnée ou non de sa recombinaison partielle. On a coutume de distinguer la dissolution, qui aboutit à une perte de matière et donc à un abaissement de surface par mise en solution de l'essentiel de la roche, et l'altération, qui transforme les minéraux et conduit à l'ameublissement d'une roche initialement cohérente.

La dissolution constitue une réaction chimique simple, qui affecte surtout les matériaux calcaires. L'eau chargée en dioxyde de carbone opérant sur du carbonate de calcium donne, au terme de la réaction, du bicarbonate de calcium dissous dans l'eau. Ce phénomène de dissolution se traduit par des traînées blanchâtres, matérialisant un « nettoyage » et un lissage uniforme de la surface rocheuse par l'eau, ou lui confère un aspect taraudé, dentelé, comme ciselé, troué de cupules et de cannelures. Mais le carbonate de calcium peut précipiter à nouveau, soit pur, soit combiné à des composés soufrés, donnant naissance à des dépôts de calcin ou des croûtes sulfatées, très répandus à la surface des monuments (Philippon *et al.* 1992). Enfin, la remontée de certains fluides par capillarité est à l'origine – au moins pour partie – de la formation à la surface de la pierre de patines souvent ocrées, liées à un léger enrichissement en oxydes de fer. Ce sont des réactions chimiques plus complexes qui régissent la décomposition des matériaux de construction cristallins comme le granite, mais l'action de l'eau est ici encore déterminante. Le principal mécanisme d'altération est l'hydrolyse, qui consiste en un ensemble complexe de réactions dans le cadre d'échanges ioniques entre les ions H^+ de l'eau et les cations libérés par les minéraux de la roche (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ ,...). Une fois combinés avec les ions OH^- , ceux-ci vont être entraînés en solution. Le départ de ces éléments intervient dans le cadre d'une dissociation chimique qui se solde par la destruction des édifices cristallins par les ions H^+ de l'eau. L'hydrolyse constitue le principal processus responsable de l'arénisation des pierres granitiques, qui entraîne un effacement progressif des motifs sculptés (fig. 1, en haut).

- Hydroclastie et gélifraction : processus-clés de la fragmentation mécanique de la pierre

Les changements d'état de l'eau, qui peut se présenter successivement sous ses formes liquide, solide et gazeuse, sont à l'origine de phénomènes de fragmentation susceptibles d'affecter gravement l'épiderme des monuments. L'hydroclastie est un phénomène très courant, quoique sous-estimé, qui consiste en une fragmentation des roches due aux alternances d'humectation et de dessiccation. Ces variations de teneur en eau de la pierre induisent, dans les matériaux feuilletés et/ou riches en argiles, des phénomènes caractéristiques de délitage et de desquamation. Comme le rappelle Birot (1981), c'est à l'hydroclastie qu'est imputée la responsabilité de la desquamation des grès d'Angkor (Delvert 1963). Sur ce site bien connu, les phénomènes de gonflement suivis de délitage sont en effet très répandus, comme l'illustre l'état de dégradation de certaines moulures de la pyramide centrale du temple-montagne de Ta Keo (fig. 1, en bas). Bien représentée dans les milieux froids (notamment en montagne), la gélifraction résulte de l'expansion des cristaux de glace, lors de l'engel de l'eau renfermée par les fissures ou les pores, expansion qui se traduit par une augmentation de volume de 9 %. Au dégel, la roche se disloque en fragments, appelés gélifrac, ses éléments constitutifs n'étant plus soudés par leur ciment de glace. Si les chercheurs ont longtemps mis l'accent sur la commande thermique du processus (intensité et fréquence du gel), ils insistent aujourd'hui sur le rôle central joué par l'alimentation en eau de la pierre. Cette variable s'avère déterminante, car la température peut descendre très bas, si la roche reste sèche, elle demeure intacte.

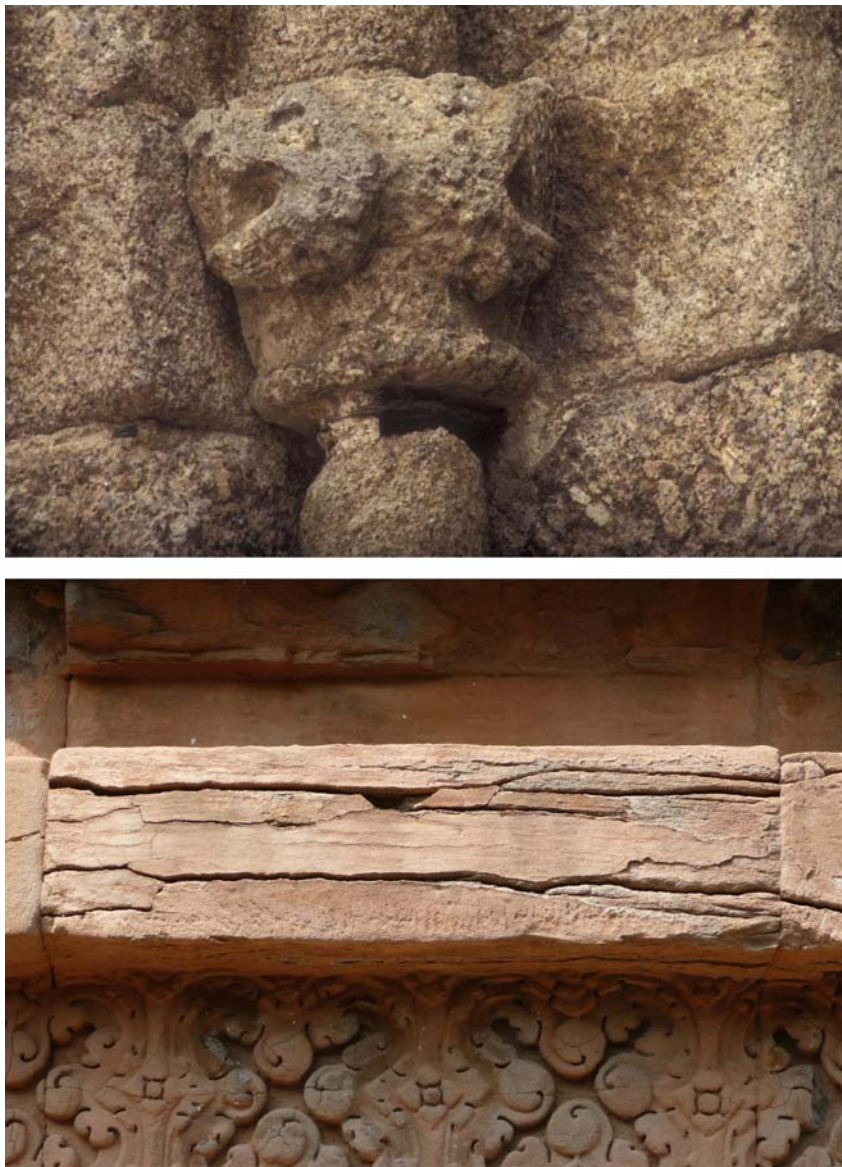


Figure 1. Effets de l'action chimique et mécanique de l'eau sur les monuments. En haut, effacement des motifs sculptés d'un chapiteau sous l'effet de l'arénisation du granite (église de Blond, Haute-Vienne). En bas, gonflement et délitage d'un bandeau gréseux sous l'effet des alternances d'humectation et de dessiccation (temple de Ta Keo, Cambodge). © M.-F. André..

2.2. L'influence de la quantité et de la qualité de l'eau sur le niveau de dégradation de la pierre

Si l'eau est en tous lieux le vecteur n°1 de la détérioration de la pierre, son niveau d'efficacité dépend très largement de la qualité et de la quantité d'eau entrant en contact avec l'épiderme rocheux. Ces paramètres sont très largement tributaires de conditions environnementales – climatiques et anthropiques – qui jouent à différentes échelles, notamment celle de la région d'implantation du monument et celle de l'édifice lui-même au sein duquel la distribution de l'eau n'est pas uniforme.

- Quantité d'eau

Commandée par l'abondance des précipitations, la tranche d'eau écoulee compte parmi les principaux facteurs contrôlant l'efficacité de la dissolution, sur les monuments comme sur les affleurements naturels. Une excellente démonstration en est apportée par le transect réalisé à travers les USA par Meierding (1981), qui a étudié plusieurs milliers de pierres tombales en marbre du Vermont exposées depuis plus d'un siècle aux agressions atmosphériques. L'état de dégradation de ces pierres tombales va croissant des campagnes de l'Ouest américain semi-aride à celles de l'Est copieusement arrosé : le gradient ouest-est de dissolution (de 1 à 16 mm/1000 ans) se calque en effet sur le gradient pluviométrique (de 200 à 1000 mm/an).

Mais par delà la tonalité climatique macrorégionale, le contrôle pluviométrique s'exerce à des échelles plus grandes, celles du topo climat et du microclimat. Le rôle du premier se manifeste notamment par l'influence de l'exposition sur l'inégale imbibition des surfaces rocheuses. Derruau (1988, p. 60) cite l'exemple de l'arc de triomphe d'Orange dont la face nord, « exposée au mistral, vent sec, est presque intacte, alors que la façade au sud, qui reçoit le vent marin humide et la pluie, est toute rongée ». De même, sur le bâti médiéval calcaire, les pluies fouettantes ou ruisselantes affectant les façades ouest se manifestent par des zones blanches correspondant à des aires de perte de matière par dissolution, qui tranchent sur les croûtes noires souvent liées à la pollution se formant dans les zones humides situées à l'abri des ruissellements (Philippon *et al.* 1992). A l'inverse, situés à l'est, donc sous le vent, les chevets sont généralement mieux préservés. Enfin, c'est toute une géographie de l'eau qui se dessine à une échelle quasi-stationnelle, où figurent en bonne place les zones de suintement mais également de remontées capillaires, ces dernières étant à l'origine d'une attaque préférentielle de la partie basale des édifices et des piliers (fig. 2) qui, en Europe de l'ouest, peut être exacerbée par le salage des routes.



Figure 2. Les effets combinés des remontées capillaires et des propriétés des matériaux de construction. A gauche, base d'une colonnette rongée par la décomposition chimique d'un grès poreux (église de Mailhat, Puy-de-Dôme). À droite, base de piliers en grès micacés rongée par l'altération (Angkor Vat, Cambodge) ; les remontées capillaires sont ici guidées par l'orientation des micas qui se trouvent à la verticale suite à la pose en délit des pierres. © M.-F. André.

- Qualité de l'eau

Une teneur élevée en sels des eaux de pluie et de ruissellement leur confère une agressivité particulière vis-à-vis de la pierre monumentale. Dès le XIX^e siècle, l'architecte Viollet-le-Duc considérait les sels comme le principal moteur de la désagrégation des pierres. Il écrivait en effet : « les principes destructeurs les plus énergiques sont les sels qui se développent, par effet de l'humidité, dans l'intérieur même des pierres » (*in* Philippon *et al.* 1992).

Les modifications contemporaines de la composition chimique de l'atmosphère dues aux activités humaines sont particulièrement sensibles dans les milieux urbanisés et industrialisés où l'on a vu croître, notamment au cours des Trente Glorieuses, la teneur de l'air en dioxyde de soufre. L'influence des composés soufrés sur la détérioration de la pierre s'est fait rapidement sentir, par exemple sur les grès carbonatés de la cathédrale de Strasbourg (Millot *et al.* 1967). En se combinant à la calcite renfermée par les matériaux de construction et/ou les joints de mortier, le soufre atmosphérique donne en effet naissance à un sel, le gypse (sulfate de calcium), dont la cristallisation est à même de faire « exploser » la roche. Aux États-Unis, Meierding (1993) a clairement établi la relation unissant la géographie des pics d'émissions de dioxyde de soufre et celle des pointes de vitesse de détérioration des pierres tombales en marbre du Vermont. Dans les secteurs les plus urbanisés de l'Est américain comme Philadelphie, la croissance accélérée de cristaux de gypse entre les grains de calcite aboutit à un décuplement des vitesses de détérioration par rapport aux vitesses enregistrées dans les milieux ruraux avoisinants soumis aux mêmes conditions climatiques. S'il est le plus fréquemment incriminé, le gypse n'est pas le seul sel responsable de la détérioration de la pierre monumentale. Le simple sel marin (chlorure de sodium) apporté par les embruns est responsable de phénomènes d'alvéolisation que l'on retrouve sur la plupart des monuments érigés en position littorale ou sublittorale, notamment dans les calcaires de la côte atlantique (hôtels de front de mer britanniques, fortifications de Vauban, pierres tombales de l'île de Ré (Viles & Goudie 1992 ; Augeyre 2008). Le cas de la Tour Saint-Nicolas, à La Rochelle, en offre une excellente illustration (fig. 3). Sur l'église de Penmarc'h (Finistère), les travaux de Bernabé *et al.* (1995) ont montré que la détérioration des pierres de parement était due à la fois à l'action mécanique des cristallisations salines et à l'action corrosive de solutions salines aux multiples origines (pluie chargée d'embruns, sable de plage utilisé dans le mortier, et granite en provenance de l'estran).



Figure 3. Alvéolisation des calcaires exposés aux eaux salées des embruns littoraux (Tour Saint-Nicolas, La Rochelle). © M.-F. André.

2.3. L'influence de la porosité et de la perméabilité du matériau de construction

Quel que soit son niveau d'agressivité potentielle, l'eau qui arrive à la surface de la pierre monumentale n'a d'effet sur sa dégradation que si elle peut y pénétrer, à la faveur de fissures ou de pores ouverts à sa surface ou si elle peut en dissoudre certains composants.

Le nombre, la taille et la géographie des pores et des fissures à l'intérieur d'une assise rocheuse vont conditionner la pénétration de l'eau, agent principal de sa décomposition chimique et de sa fragmentation mécanique. Certaines roches éruptives et métamorphiques (granite, gneiss, quartzite), finement cristallisées et souvent massives, sont à la fois très peu poreuses (< 2 %) et très peu perméables ; à l'inverse, certaines roches sédimentaires (grès et calcaires tendres) sont poreuses (15-20 %) et perméables. Leur comportement vis-à-vis du gel s'en trouve fondamentalement différent : lors d'expérimentations au Centre de géomorphologie de Caen, les premières ont résisté à 2000 cycles de gel/dégel sans « broncher », les secondes « s'écroulant » au terme d'une centaine de cycles (Lautridou et Ozouf, 1982). La variable porosité/perméabilité va être également déterminante en matière d'altération chimique. C'est ainsi qu'à Angkor, l'ornementation de temples millénaires a été conservée ou effacée selon que les grès sont peu ou fortement poreux et perméables (Delvert 1963) : s'opposent ainsi les grès roses de Banteay Srei et les grès gris de Ta Keo (fig. 4). Quant aux dommages liés aux sels, ils vont être d'autant plus poussés que la roche est plus poreuse : lors des phases d'humectation (pluies ou ruissellement), il y a imbibition de la roche et migration des sels en profondeur ; lors des phases d'assèchement (vent ou chaleur), l'eau remonte par capillarité vers la surface où les sels précipitent sous la forme d'efflorescences. Au bout d'un certain nombre de cycles humectation-dessiccation, les cristaux de gypse auront suffisamment poussé pour provoquer une désagrégation de la roche. Dans le Massif central, une campagne exploratoire sur 133 édifices médiévaux (André *et al.* 2008) place au sommet de l'échelle de résistance les roches les moins poreuses (basalte, granite, marbre, calcaire oolithique) et à la base celles qui ouvrent le plus la voie à la pénétration de l'eau (calcaires marneux et en plaquettes, grès à ciment carbonaté ou argileux). Mais il arrive qu'un même faciès pétrographique ait inégalement résisté au temps selon les sites. Il faut alors prendre en compte d'autres paramètres, comme la profondeur d'extraction des pierres de parement. Si le niveau d'extraction a été très superficiel, les pierres, dès leur pose, étaient altérées ou fissurées par le gel (suite à leur histoire géologique tertiaire et quaternaire). Si le niveau d'extraction était plus profond, il y a de fortes chances que les pierres aient été plus saines, moins poreuses, car non exposées aux intempéries au cours des temps géologiques.

Les cheminements de l'eau dans le bâti sont facilités par les relations géométriques unissant l'orientation des discontinuités géologiques (joints de stratification, schistosité, etc.) et celle des structures elles-mêmes. Si la base des piliers des galeries d'Angkor Vat est particulièrement attaquée (fig. 2 à droite, *cf. supra*), c'est que les pierres posées en délit renferment des micas dont l'alignement guide les remontées capillaires (André 2006). Se combinent ici les propriétés des roches (porosité, perméabilité, orientation des minéraux), leur mise en œuvre (pose en délit), la quantité d'eau (maximale pendant la mousson) et la qualité de l'eau (rendue corrosive par les déjections de chauves-souris).



Figure 4. L'influence de la perméabilité des grès sur la conservation des éléments sculptés (temples d'Angkor, Cambodge). En haut, excellente conservation des motifs sculptés dans les grès roses peu perméables de Banteay Srei (fin du X^{ème} siècle). En bas, état avancé de dégradation des bandeaux sculptés dans les grès gris très poreux de Ta Keo (début du XI^{ème} siècle). © M.-F.André.

2.4. Cheminements de l'eau et géographie des biofilms colonisateurs

Comme l'a bien montré Bruno Phalip dans la première partie de cette contribution, les cheminements de l'eau dans le bâti sont commandés par le système complexe de pentes que constitue le monument et par le niveau d'étanchéité des joints unissant les pierres de parement. Pente des toitures, présence de corniches formant surplomb, de larmiers ou de gargouilles concentrant l'évacuation des eaux, vont être à l'origine d'une géographie de l'eau qui va jouer un rôle central dans la détérioration ou la conservation de la pierre. Ce rôle peut être direct, lorsque l'eau pénètre dans la pierre offerte aux agressions atmosphériques. Mais il est souvent indirect, dès lors que s'interpose entre les eaux atmosphériques et l'épiderme rocheux un écran végétal. La géographie de cette pellicule organique – faite de lichens, d'algues, de microchampignons et de bactéries – est elle-même très largement commandée par les cheminements de l'eau. C'est ainsi qu'au Cambodge, les lichens verdâtres et pulvérulents appartenant au genre *Lepraria* signalent les secteurs les plus constamment humides des temples d'Angkor (fig. 5), alors que les cyanobactéries noires abondent sur les voûtes surchauffées des galeries.

Il serait particulièrement intéressant de se servir de ces communautés végétales diversement colorées – dont on retrouve l'équivalent sur le patrimoine architectural auvergnat – pour comprendre les liens entre géographie de l'eau et géographie de la détérioration de la pierre. Car une fois la pellicule organique en place, celle-ci peut jouer un rôle de barrière vis-à-vis des agressions atmosphériques, soit en formant une sorte de vernis imperméable protecteur, soit en absorbant l'eau et en la maintenant en surface, l'empêchant ainsi de pénétrer dans la roche. De fait, c'est tout un champ de recherche multidisciplinaire qui demande à être investi, associant archéologues, géographes et biologiste



Figure 5. Cheminements de l'eau et colonisation végétale des monuments : le cas des temples d'Angkor. À gauche, une zone de suintements est soulignée par une traînée de lichens verdâtres encadrée d'auréoles noires d'origine cyanobactérienne (temple de Ta Keo). À droite, on retrouve ces lichens pulvérulents associés à des lichens crustacés blancs sur la statue d'une divinité (temple de Banteay Kdei). © M.-F. André.

Conclusion

Les tribulations de « Aiguille de Cléopâtre », obélisque arraché à la fin du XIX^e siècle au désert égyptien pour être implanté au cœur de New York où ses hiéroglyphes se sont rapidement effacés (fig. 6), montrent à quel point l'histoire et la géographie d'un monument pèsent sur son destin. Mais par delà ce cas d'école, il apparaît aujourd'hui urgent de dépasser les clivages disciplinaires, dès lors que l'on veut évaluer le niveau de risque encouru par un monument au contact de l'eau, qu'elle soit « du dessous », « de l'intérieur », « des surfaces », « des voûtes » ou « du dessus ». Le monument est par essence un objet complexe, qui ne peut être analysé qu'à différentes échelles spatio-temporelles. Et les compétences du géographe touchant à la caractérisation des conditions environnementales et à la spatialisation des phénomènes d'érosion sont vaines sans le décryptage de l'histoire du bâti par l'archéologue et sa connaissance intime des fonctionnalités de chacun de ses éléments. Sans nul doute, l'évaluation de l'impact des pratiques de restauration – et notamment de rejointoiement – sur la dégradation du patrimoine médiéval d'Auvergne au cours des deux derniers siècles constitue un objectif de recherche interdisciplinaire particulièrement exaltant.



Figure 6. Du désert égyptien au smog new-yorkais : la perte de lisibilité des hiéroglyphes de « l'Aiguille de Cléopâtre ». À gauche, préservation des inscriptions hiéroglyphiques sur l'obélisque alors situé sous climat aride. À droite, effacement des hiéroglyphes suite à l'implantation de cet obélisque dans la mégalopole nord-américaine à la fin du XIX^e siècle. © S. Rappoport.

Références

- ANDRÉ M.-F. 2006 - "Sandstone weathering rates at the Angkor temples (Cambodia)", In: Fort R., Alvarez de Buergo M., Gomez-Heras M. & Vasquez-Calvo C. (eds), *Heritage, weathering and conservation*, London, Taylor & Francis, p. 499-517.
- ANDRÉ M.-F., PHALIP B., BONNEAU J., ROBERT M. 2008 - « La durabilité de la pierre monumentale des églises médiévales du Massif central : éléments de diagnostic et perspectives de recherche », *Géographies - Bulletin de l'Association de Géographes Français*, 1, p. 95-118.
- AUGEYRE M. 2008 - « La dégradation du patrimoine funéraire calcaire sur le littoral Atlantique français : l'exemple de l'île de Ré », *Géographies - Bulletin de l'Association de Géographes Français*, 1, p. 63-70.
- BIROT P., 1981 - *Les processus d'érosion à la surface des continents*. Paris, Masson, 607 p.
- DELVERT J. 1963 - « Recherches sur l'érosion des grès des monuments d'Angkor », *Bulletin de l'Ecole Française d'Extrême-Orient*, LI (2), p. 453-534.
- DERRUAU M., 1988 - *Précis de géomorphologie*. Paris, Masson, 533 p.
- ÉPAUD F., 2007 - *De la charpente romane à la charpente gothique en Normandie*, CRAHM, Caen.
- HOFFSUMMER P. et PLOUVIER M. 1995 - « Sous les toits, les charpentes », *Laon, Cahiers du Patrimoine*, N°40, p. 106.
- HOFFSUMMER P. et MAYER J. 2002 - *Les charpentes du XI^e au XIX^e siècle*, Monum, Ed. du Patrimoine, Paris.
- HUNOT J.-Y. et GUÉRIN J., 2007 - « Couvertures de tuiles creuses du XII^e siècle et charpentes médiévales en Anjou », *Bulletin Monumental*, p. 235-248.
- LAUTRIDOU J.-P. & OZOUF J.-C. 1982 - "Experimental frost shattering: 15 years of research at the Centre de Géomorphologie du CNRS", *Progress in Physical Geography*, 6, p. 215-232.
- MEIERDING T.C. 1981 - "Marble tombstone weathering rates: a transect of the United States", *Physical geography*, 2 (1), p. 1-18.
- MEIERDING T.C. 1993 - "Marble tombstone weathering and air pollution in North America", *Annals of the Association of American Geographers*, 83 (4), p. 568-588.
- MILLOT G., COGNÉ J., JEANNETTE D., BESNUS Y., MONNET B., GURI F., SCHIMPF A., 1967 - « La maladie des grès de la cathédrale de Strasbourg », *Bull. Serv. Carte géol. Als. Lorr.*, 20 (3), p. 131-157.
- PHALIP B. 2000 - « Comment construisait-on au Moyen Âge ? Les nouvelles approches de l'architecture médiévale, le cas des charpentes », *Dossiers d'Archéologie*, N°251, p. 62-67.
- PHALIP B. 2001 - *Des terres médiévales en friche. Pour une étude des techniques de construction et des productions artistiques montagnardes. L'exemple de l'ancien diocèse de Clermont. Face aux élites, une approche des «simples» et de leurs oeuvres*. Habilitation à Diriger des Recherches, Clermont-Ferrand II, 12 vols.
- PHALIP B. 2003 - « Les charpentes médiévales en Auvergne et Limousin (XII^e-XV^e siècle), structures, couverts forestiers et climats », *Pages d'Archéologie Médiévale*, N°5/6, p.37-51.

PHALIP B. 2004 - *Charpentiers et couvreurs en Auvergne et sur ses marges au Moyen Âge*, DARA, Documents d'archéologie en Rhône-Alpes et Auvergne, Lyon.

PHALIP B. 2006 – « Investir les technologies ou l'histoire de l'art confrontée aux réalités techniques. Le cas de Notre-Dame-du-Port à Clermont-Ferrand ». *SIÈCLES, Cahiers d'Histoire des Espaces et des Cultures*, Université Blaise Pascal, Clermont-Fd II, N°22, «Une histoire des techniques, nouvel état de la question», direction du numéro, introduction et article.

PHILIPPON J., JEANNETTE D., LEFÈVRE R.-A. (coord.), 1992 - *La conservation de la pierre monumentale en France*. Paris, Presses du CNRS, 269 p.

VILES H.A. & GOUDIE A.S., 1992 - "Weathering of limestone columns from the Weymouth seafront, England", In: Rodrigues J.D. *et al.* (eds), *7th International congress on deterioration and conservation of stone*, p. 297-304.

VIOLLET LE DUC E.-E. 1854 - *Dictionnaire raisonné de l'architecture en France du XI^e au XVI^e s.*, Paris, 1854-1868, t. 1, p. 28 ; t. 4, p. 12, 15 et 51.

Les pollutions de l'eau : l'expertise du risque du XVI^e au XIX^e siècle

Patrick FOURNIER¹

Résumé

Depuis une dizaine d'années, les travaux sur les relations entre médecins, ingénieurs et administrateurs dans l'espace publics se sont multipliés. Ils permettent de comprendre la construction sociale de l'expertise. L'objectif de ce texte est de fournir quelques pistes pour évaluer les évolutions de la perception des risques liés à l'eau par ces trois groupes principaux d'experts et pour déterminer les interactions entre savoir et demande sociale dans ces évolutions.

Mots clés. Pollution, expertise, médecine, technique, assainissement, réglementation

Abstract

Since ten years, works dealing with the relation between doctors, engineers and Civil Service administrators have increased. They enable understanding the social structure of expertise. This text intends to provide some leads to assess the evolution of these three main expert groups' perception of the risks related to water ; and determines within this evolution, the correlation between knowledge and social request.

Key Words. Pollution, valuation, medicine, technique, cleaning up, regulation

La qualité de l'eau est un enjeu ancien mais la façon de l'évaluer a fortement évolué entre la Renaissance et l'entrée dans l'âge industriel (Guillaume, 1990). L'hypothèse posée est celle de la non-linéarité des attitudes. L'expertise est traversée de multiples contradictions. Les regards croisés des médecins, des ingénieurs, des administrateurs et du corps social créent les conditions d'interventions multiples qui n'aboutissent que superficiellement à un « progrès » puisque la ville du XIX^e siècle concentre des formes nombreuses et aggravées de pollutions et reste très mortifère (Baret-Bourgoin, 2005 ; Massard-Guilbaud, 2003 ; Parmentier, 2002). C'est donc la nature des risques liés à l'eau qui doit être interrogée. L'écart est souvent énorme entre les dangers perçus et les dangers réels encourus : aux XVIII^e et XIX^e siècles, les préoccupations sur la qualité des eaux n'occupent pas une place en rapport avec leurs conséquences sur la santé humaine, encore moins sur l'environnement global. Cet aveuglement relatif conduit à s'interroger sur les capacités de la société, y compris celle d'aujourd'hui, à hiérarchiser les risques sanitaires et environnementaux et à lutter efficacement contre eux.

1. Maître de conférences en histoire moderne, Clermont-Ferrand II, Centre d'Histoire « Espaces et Cultures ».

I. Les maladies transmises par l'eau : l'expertise des médecins

Jusqu'au milieu du XIX^e siècle, la connaissance des maladies est fondée sur des observations répétées et non sur l'expérimentation. Malgré la faible efficacité apparente de la médecine, les médecins sont souvent appelés à jouer un rôle d'expert car ils restent les meilleurs connaisseurs des signes des maladies et sont capables de dégager des causes générales susceptibles de générer des actions efficaces si elles sont relayées par les pouvoirs publics et si elles parviennent à convaincre les populations concernées (Brockliss, Jones, 1997). La chimie médicale se fonde longtemps sur une approche alchimique qui mène de Paracelse à Boerhaave et cherche à obtenir des substances débarrassées de toute impureté capables de guérir les organismes.

Un débat agite le monde médical du début du XVII^e siècle, insistant sur le dosage des substances pharmaceutiques ingérées, mais paradoxalement, cela ne débouche pas sur l'idée d'un danger intrinsèque de l'eau. Les médecins des Lumières dénoncent plus fréquemment l'ingestion de substances dangereuses, notamment celles dissoutes dans l'eau. Ils mènent des enquêtes qui se fondent davantage sur des conceptions climatiques que strictement aéristes. Or les théories du climat tiennent compte de l'humidité de l'air. Le rôle des topographies médicales et des descriptions d'épidémies est de lier entre elles les différentes composantes du milieu et de distinguer les différentes causes de l'état de santé des populations (Peter, 1989). Les médecins recommandent en général de puiser l'eau dans les parties centrales des rivières, là où le courant est le plus fort et où la limpidité est la plus grande, mais les porteurs d'eau, dans les villes où on les rencontre fréquemment (principalement à Paris) respectent rarement ces conseils. La création de la Société royale de Médecine en 1776 officialise cette fonction d'expertise qui existait cependant auparavant, notamment à travers les médecins des épidémies (Hannaway, 1976). La médecine se fonde aussi sur les progrès de la chimie pour tenter d'expliquer des phénomènes comme le méphitisme. En l'an X, le docteur Pamard, auteur d'une topographie médicale sur Avignon, rend responsables de certaines épidémies les miasmes exhalés par l'eau croupissante mêlée à celle des égouts « qui, mieux connus aujourd'hui par les chimistes, portent le nom de gaz hydrogène carboné ».

Au XIX^e siècle, le médecin devient le spécialiste des organes et des tissus qui les composent : c'est la naissance de la clinique (Foucault, 2000 ; Ackerknecht, 1967). Mais les courants hygiénistes renforcent les travaux effectués dans le cadre des premières enquêtes épidémiologiques. Les revues d'hygiène tentent d'évaluer le rôle de la qualité des eaux (Bourdelaïs, 2001 ; Murard, Zylberman 1996). Le pouvoir des médecins est donc plus diffus sans disparaître pour autant. Certes, les médecins ne jouent pas de rôle direct dans la restructuration des villes, mais il en allait de même aux siècles précédents. La médecine agit surtout sur les individus tout en fournissant des normes de salubrité et d'insalubrité qui évoluent en fonction des connaissances et des représentations. La médicalisation de la société progresse en lien avec les efforts pour rendre plus efficaces les mesures de santé publique. L'hygiénisme prend surtout en considération les conditions de vie globale liées au milieu social.

2. La qualité des eaux : l'expertise des ingénieurs

La thèse d'une marginalisation du discours médical au profit de la toute puissance des ingénieurs dans la ville du XIX^e siècle mérite d'être nuancée (Barles, 1999). Elle fonctionne assez bien pour l'entrée dans l'ère industrielle mais elle ne doit pas masquer les liens étroits entre médecine et chimie. En outre, le triomphe des ingénieurs ne date pas du XIX^e siècle. Leur rôle s'est affirmé précocement dans l'aménagement des espaces urbains et dans la définition de normes. Si les ingénieurs militaires des XVI^e et XVII^e siècles ont focalisé l'attention, il faut tenir compte de l'existence d'ingénieurs civils et d'architectes auxquels s'impose le double idéal de rendre plus fluides les communications (donc de limiter la stagnation des eaux) et d'assécher les zones insalubres (Blanchard, Picon 1988).

Les ingénieurs languedociens (Mareschal, de Clapiès, Pitot...) qui travaillent pour les États provinciaux au milieu du XVIII^e siècle sont des experts dont les compétences sont reconnues au-delà de leur province (Fournier, 2004). Ils sont capables non seulement d'équiper la ville mais de se prononcer sur la qualité des eaux. Si la séparation entre eaux propres et eaux sales par un double réseau d'adduction et d'égouts n'est qu'imaginée au milieu du XVIII^e siècle, la solution la plus

commune pour protéger l'eau des infiltrations est le pavage qui reste cependant très partiel, ne concernant que quelques rues prestigieuses dans la plupart des villes. La plupart des égouts sont destinés à l'évacuation des eaux pluviales, de même que les rivières et canaux urbains trop irrégulièrement curés pour des raisons financières. Ces évacuations à ciel ouvert peuvent contaminer les conduites, d'où l'effort pour rendre celles-ci étanches grâce à des matériaux adaptés tels que mortiers et métaux (Guillerme, 1998).

Pour toutes ces pratiques héritées de la période médiévale mais appliquées très inégalement, l'expertise de l'architecte ou de l'ingénieur est souvent nécessaire, permettant notamment de dresser des devis (Vérin, 1993). Les villes font assez systématiquement appel à ce type d'expertise à partir des années 1720 : si on trouve des exemples antérieurs, la généralisation de la recherche d'une assistance technique par des spécialistes capables de gérer globalement un projet date du premier tiers du XVIII^e siècle. Villes, États provinciaux et intendances utilisent les services des ingénieurs qui contribuent à mettre au point un véritable droit des travaux publics et définissent les normes de la ville idéale (Condette-Marcant, 2001). La qualité de l'eau entre dans leurs préoccupations, en partie parce que cela leur permet de légitimer leur intervention, en partie aussi à la demande des pouvoirs publics. Les efforts d'assèchement des marais littoraux, d'alimentation des villes en eau et d'évacuation des immondices nécessitent l'intervention d'experts pris parmi les ingénieurs qui évaluent la faisabilité technique des projets.

Au XIX^e siècle, les ingénieurs sont chargés de la conception de projets plus ambitieux qui rompent avec une approche statique du territoire visant à séparer les activités nuisibles des autres. Ils mettent en œuvre des projets dynamiques de gestion des flux qui mènent à la recherche d'un recyclage plus efficace des immondices. Les études récentes sur le métabolisme urbain en tiennent compte (Barles, 2005 ; Lawson, 2002, Krausmann, 2005). L'assèchement des espaces urbains entraîne l'enterrement systématique des réseaux en cours de constitution. L'assainissement change de nature car les boues et les fumiers fabriqués en ville qui étaient indispensables aux activités agricoles périphériques (notamment au maraîchage périurbain) sont de plus en plus considérés comme indésirables. La qualité de l'eau, mieux cernée par des mesures qui restent discutables et discutées dans leur procédure, est améliorée sensiblement mais cela n'empêche pas la persistance de forts taux de fièvre typhoïde et les poussées épidémiques de la fin du siècle (Goubert, 1986). L'assèchement des villes et de leur environnement immédiat contribue aussi à la marginalisation du paludisme. Pourtant, la vulnérabilité persiste.

3. Le rôle des administrations

La lutte contre les maladies épidémiques obéit à des règles à peu près uniformes qui dépendent de l'identification des causes de ces maladies. En temps de peste, c'est la qualité de l'air qui concentre l'attention (Hildesheimer, 1990 ; Audoin-Rouzeau F., 2007). Les règlements prévoient un nettoyage plus efficace de la ville. Le modèle du cordon sanitaire ne peut s'appliquer aux maladies dues à l'eau. Des interdictions réalistes prennent le relais des vieilles représentations comme celles concernant l'empoisonnement des puits : l'ordonnance de 1669 sur les eaux et forêts condamne l'usage de poisons pour pêcher et le rouissage dans les cours d'eau. Des arrêts du conseil pris entre 1702 et 1738 confirment l'interdiction du rouissage dans les eaux courantes, de même que certaines coutumes locales. Il ne faut pas en conclure trop vite que ces mesures visaient une amélioration de la santé publique dans les espaces ruraux. Les objectifs étaient surtout économiques afin de préserver la qualité et la quantité de poisson. La crainte du rouissage s'est atténuée au XVIII^e siècle, permettant au législateur, poussé par des intérêts économiques, de favoriser cette activité, même si les municipalités peuvent l'interdire « dans l'intérêt de la salubrité publique » selon les termes de la loi du 6 octobre 1791. Les décisions prises par les pouvoirs locaux de la fin du XVIII^e siècle montrent qu'ils sont beaucoup plus sensibles au coût des dépenses d'adduction et d'assainissement qu'aux dangers que peut représenter une eau malsaine, malgré la pression croissante des autorités et des populations urbaines (Fournier, 2001).

Le pouvoir monarchique ne s'occupe pas de la qualité de l'eau en dehors de Paris et Versailles, villes de résidence royale (Hilaire-Pérez, 2002 ; Soullard, 1998). Les trésoriers de France chargés de la voirie interviennent pour régler des conflits juridiques de compétence mais ne coordonnent pas de politique globale. La qualité de l'eau est une préoccupation des pouvoirs locaux en rapport

avec une demande sociale plus ou moins forte selon les lieux. Les traités de police qui prennent appui sur la réglementation existante (Delamare et Le Cler-du-Brillet, 1719-1738 ; Fréminville, 1758) n'envisagent pas de politique monarchique globale mais entendent promouvoir des exemples locaux de bonne gestion réelle ou supposée (notamment l'exemple parisien). Une autre façon d'améliorer la qualité de l'eau consiste à la filtrer, ce qui est expérimenté par exemple à Toulouse et Paris dans les années 1760 à 1780 mais aboutit à des échecs montrant non l'inefficacité technique du procédé mais son manque de rentabilité.

Les règlements locaux sont aussi unanimes à défendre de laver du linge et de faire boire les animaux dans les bassins des fontaines : la crainte de la souillure de l'eau est ici évidente mais ambivalente car elle aboutit à d'autres formes de pollution. Toutefois, un tournant se produit dans les années 1720 dans certaines provinces ou certaines villes avec la construction de lavoirs publics, notamment en Franche-Comté, en Lorraine et en Provence. La généralisation de cet équipement date du XIX^e siècle : les communautés du Nivernais ne s'équipent que dans les années 1820 (Thuillier, 1977).

Quant aux immondices, ils sont déversés par les entrepreneurs du nettoyage dans les rivières, parfois même en amont de la ville. Se fondant sur le droit romain, le juriste Daviel rappelle que « le riverain d'un cours d'eau ne peut en corrompre les eaux en y jetant des immondices et des matières infectes », mais il précise que ce principe ne doit pas gêner le développement industriel car « pour peu que le volume du cours d'eau soit abondant, les résidus industriels y sont bientôt divisés, neutralisés, de manière qu'ils ne peuvent nuire ». Il cite des arrêts du parlement d'Aix-en-Provence de 1782 et 1785 qui vont déjà dans le sens de l'intérêt de l'industrie en permettant à des fabriques de crème de tartre et d'eau-de-vie de rejeter des eaux usées dans un ruisseau, bien que les résidus déversés ne puissent être entièrement neutralisés. La pollution est ainsi relativisée : le bâtonnier de Rouen considère que l'altération des eaux est un mal nécessaire et ancien, ce qu'entérine la loi de 1810 sur les établissements classés (Daviel, 1837).

Le déplacement des activités polluantes est la solution la plus ancienne et la plus universelle. Elle n'a cependant d'universel que l'apparence. Dans de nombreuses villes, la multiplication des moulins à usage industriel entre 1780 et 1850 entraîne une surcharge des cours d'eau, donc un ralentissement de l'écoulement, qui aggrave la visibilité de la pollution en rendant très difficile l'évacuation des rejets industriels mais aussi domestiques. Les efforts des préfets et des ingénieurs des départements visent alors à concilier progrès industriel et maintien d'une salubrité au moins apparente, en fixant notamment le nombre de moulins et les hauteurs des écluses à respecter ainsi que les modalités de curage des rivières et des canaux (Woronoff, 1994).

La mauvaise gestion des rejets des bouchers reste la menace la mieux identifiée tout au long de la période moderne. En 1664 à Paris, lors d'un débat sur les conséquences de l'activité des bouchers, se manifeste une profonde répulsion pour le « sang puisé dans l'eau par les porteurs d'eau ». Le problème posé par la présence des boucheries dans les murs des villes n'est souvent résolu qu'au XIX^e siècle avec l'édification de tueries éloignées des centres et mieux entretenues. Toutefois, il faut éviter dans ce domaine un anachronisme qui consisterait à oublier que la qualité de la viande ne pouvait être appréciée que sur du bétail entrant vivant et abattu dans la ville (Ferrières, 2002). L'évacuation dans les rivières appartient au registre des recommandations : la crainte de la pollution du sol était supérieure car celui-ci ne pouvait être nettoyé facilement.

Jusqu'à la fin du XIX^e siècle, le caractère très meurtrier de fréquentes contaminations de l'eau est encore peu perçu par les populations. L'expertise de ce risque reste fragmentaire et lie des actions et des pouvoirs à des échelles variées sans continuité temporelle, spatiale ni institutionnelle avant la Révolution. Les procédures de *commodo et incommodo* constituent un instrument très imparfait pour lutter contre les pollutions. L'expertise se développe ensuite grâce aux positions institutionnelles de certains grands chercheurs, notamment des chimistes comme Chaptal et Fourcroy. Du XVI^e au XVIII^e siècle, les efforts croissants entrepris pour mieux connaître les maladies sociales et mener une action de santé publique n'ont pas abouti à la constitution d'un *corpus* théorique ni d'une pratique efficace pour améliorer la qualité de l'eau. Les véritables acquis résident dans le changement d'échelle qui affecte l'alimentation en eau de nombreuses villes grandes et moyennes. Pendant la plus grande partie du XIX^e siècle, la quantité prime toujours sur la qualité. Ce primat de la quantité constitue l'aboutissement de la prise en charge de cette question par les techniciens, sans que soient exclues les préoccupations sanitaires. La crainte de la pénurie explique les

formes prises par l'intervention des pouvoirs publics qui incite à privilégier l'approvisionnement et l'évacuation pour des raisons qui débordent largement les préoccupations sanitaires. Pour satisfaire ces exigences nouvelles, les pouvoirs publics inventent au XIX^e siècle des lieux et des savoirs qui permettent le développement de l'expertise comme forme de coordination entre médecins, ingénieurs et administrateurs. Ainsi se mettent en place les conditions de l'émergence d'une conscience plus précise des spécificités des formes de la pollution, parmi lesquelles celle de l'eau.

Bibliographie

- ACKERKNECHT E. H., 1967 - *Medicine at the Paris hospital 1794-1848*, Johns Hopkins Press, 242 p.
- BARET-BOURGOIN E., 2005 - *La ville industrielle et ses poisons : les mutations de sensibilités aux nuisances et pollutions industrielles à Grenoble (1810-1914)*, Grenoble, PUG, 427 p.
- AUDOIN-ROUZEAU F., 2007 - *Les chemins de la peste. Le rat, la puce et l'homme*, Tallandier, 2007, 623 p. (1^{ère} éd. PUR 2003).
- BARLES S., 1999 - *La ville délétère. Médecins et ingénieurs dans l'espace urbain. XVIII^e – XIX^e siècle*, Seyssel, Champ Vallon, 378 p.
- BARLES S., 2005 - « A metabolic approach to the city : nineteenth and twentieth century » in SCHOTT D. (éd.), *Resources of the City. Contributions to an environmental history of modern Europe*, Aldeshot, Ashgate.
- BLANCHARD A., 1979 - *Les ingénieurs du roy. Etude du corps des fortifications*, Montpellier, Publications de l'université Paul Valéry, 635 p.
- BOURDELAIS P. (dir.), 2001 - *Les hygiénistes, enjeux, modèles et pratiques*, Paris, Belin, 540 p.
- BROCKLISS L., JONES C., 1997 - *The medical world of early modern France*, Oxford UP, XXII-960 p.
- CONDETTE-MARCANT A.-S., 2001 - *Bâtir une généralité. Le droit des travaux publics dans la généralité d'Amiens au XVIII^e siècle*, Paris, CTHS, XXVI-661 p.
- DAVIEL A., 1837 - *Traité de la législation et de la pratique des cours d'eau*, Paris, Charles Hingray, 2 vol., 460-XXVIII-XXIV p., 596-VII p.
- DELAMARE N., LE CLER DU BRILLET, 1719-1738 - *Traité de la police*, Paris, M. Brunet et J. F. Hérisnant, 4 vol., 680-42 p., 848-19-72 p., 1088-10 p., 794-XXX p.
- FERRIÈRES M., 2002 - *Histoire des peurs alimentaires du Moyen Âge à l'aube du XX^e siècle*, Paris, Seuil, 478 p.
- FOUCAULT M., 2000 - *Naissance de la clinique*, Paris, PUF, 216 p. (1^{ère} éd. 1963).
- FOURNIER P., 2001 - « Assainissement et salubrité publique en Europe méridionale (fin du Moyen Âge, époque moderne) », *Siècles. Cahiers du CHEC*, n° 14, 158 p.
- FOURNIER P., 2004 - « Un nouveau regard sur l'espace : le rôle de l'expertise (milieu du XVIII^e siècle - début du XIX^e siècle) », in FRAY J.-L., PÉROL C. (dir.), *L'historien en quête d'espaces*, Clermont-Ferrand, Presses Universitaires Blaise Pascal, p. 251-271.
- FRÉMINVILLE E. (DE LA POIX DE), 1758 - *Dictionnaire ou traité de la police générale des villes, bourgs, paroisses et seigneuries de la campagne*, Paris, Gisse, 588 p.

GOUBERT J.-P., 1986 - *La conquête de l'eau. L'avènement de la santé à l'âge industriel*, Paris, Robert Laffont, 302 p.

GUILLERME A., 1990 - *Les temps de l'eau. La cité, l'eau et les techniques. Nord de la France. Fin III^e-début XIX^e siècle*, Seyssel, Champ Vallon, 263 p.

GUILLERME A., 1998 - *Bâtir la ville : révolutions industrielles dans les matériaux de construction. France – Grande-Bretagne, 1760-1840*, Seyssel, Champ Vallon, 315 p.

GUILLERME A., JIGAUDON G., LEFORT A.-C., 2005 - *Dangereux, insalubres et incommodes : paysages industriels en banlieue parisienne, XIX^e-XX^e siècles*, Seyssel, Champ Vallon, 343 p.

HANNAWAY C., 1976 - *Medecine, Public Welfare and the State in eighteenth century France : the Société Royale de Médecine of Paris, 1776-1793*, Baltimore, 629 p.

HILAIRE-PÉREZ *et alii* (éd.), 2002 - *Archives, objets et images des constructions de l'eau du Moyen Âge à l'ère industrielle*, Lyon, ENS éditions, 392 p.

HILDESHEIMER F., 1990 - *La terreur et la pitié. L'Ancien Régime à l'épreuve de la peste*, Aix-en-Provence, Publisud, 190 p.

KRAUSMANN F., 2005 - « Sonnenfinsternis ? Das Energiesystem von Wien im 19. und 20. Jahrhundert », in BRUNNER K., SCHNEIDER P. (éd.), *Umwelt Stadt. Geschichte des Natur- und Lebensraumes Wien*, Wien, Böhlau Verlag, p. 140-150.

LAWSON N., 2002 - « Industry, environment and health through 200 years in Manchester », *Ecological Economics*, 41, p. 235-255.

MASSARD-GUILBAUD G., 2003 - *Une histoire sociale de la pollution industrielle dans les villes françaises (1789-1914)*, Mémoire pour l'Habilitation à Diriger des Recherches, Université Lyon III, 495 p.

MURARD L., ZYLBERMAN P., 1996 - *L'hygiène dans la République. La santé publique en France ou l'utopie contrariée, 1870-1918*, Paris, Fayard, 805 p.

PAMARD J.-B., an X - *Topographie physique et médicale d'Avignon et de son territoire*, Avignon, J.-J. Niel, 80 p.

PARMENTIER I., 2002 - *Une menace fantôme ? La pollution et les nuisances dans un paysage en voie d'industrialisation : le Pays de charbon entre 1730 et 1830*, Thèse de doctorat, Université de Louvain, 2 vol., 383 p.

PETER J.-P., 1989 - « Aux sources de la médicalisation, le regard et le mot : le travail des topographies médicales », *Populations et cultures. Etudes réunies en l'honneur de François Lebrun*, Université Rennes 2, p. 103-111.

PICON A., 1988 - *Architectes et ingénieurs au Siècle des Lumières*, Marseille, Parenthèses, 317 p.

SOULLARD E., 1998. « Les eaux de Versailles sous Louis XIV », *Hypothèses 1997*, Paris, Publications de la Sorbonne, p. 105-114.

THUILLIER G., 1977 - *Pour une histoire du quotidien au XIX^e siècle en Nivernais*, Paris, EHESS, 490 p.

VÉRIN H., 1993 - *La gloire des ingénieurs. L'intelligence technique du XVI^e au XVIII^e siècle*, Paris, Albin Michel, 455 p.

WORONOFF D., 1994 - *Histoire de l'industrie en France du XVI^e siècle à nos jours*, Paris, Seuil, 664 p.

Combattre les maladies hydriques. La quête de l'eau pure en ville sous la III^e République (techniques, expertises et politiques édilitaires)

Stéphane FRIOUX¹

Résumé

A partir des années 1880, les découvertes de la bactériologie changent le regard sur l'eau potable. Celle-ci devient un risque sanitaire clairement identifié, par les germes qu'elle est susceptible de contenir du fait des infiltrations dans le sol de matières souillées ou de la pollution organique des rivières. Les épidémies de fièvre typhoïde qui frappent les villes et souvent les soldats sont des indicateurs de l'assainissement urbain inachevé qui caractérise la France. Face à ces maladies qualifiées d'« évitables », la mise en place de principes de précaution s'opère progressivement : obligation d'une expertise poussée au niveau national avant l'autorisation d'un projet édilitaire, fermeture des puits et surveillance des sources ou des captages. Ingénieurs, chimistes, industriels, s'engouffrent dans l'appel créé par cette prise de conscience du risque hydrique pour développer un marché de la purification et de la stérilisation des eaux urbaines.

Mots clés. Eau potable, fièvre typhoïde, villes, expertise, purification.

Abstract

During the 1880's, the progress of bacteriology changed the scientific knowledge about drinking water. Water became a sanitary risk because of the germs it is likely to contain, following seepage of organic matters in the soil and pollution of streams. Typhoid fever epidemics that stroke cities and often the army were indicative of the bad state of French urban sanitation. Against these "avoidable" diseases, some principles were progressively transformed into rules : the obligation of a centralised expertise before any municipal water-supply project receives authorisation, the closing of wells, the supervision of springs. Sanitary engineers and commercial companies aimed at developing a new services market favoured by the recognition of the hydric risk, in order to sell industrial processes of water purification.

Key words. Drinkable water, typhoid fever, cities, expertise, purification.

Tout au long du XIX^e siècle – et même dans certaines villes jusqu'au milieu du XX^e siècle – les édiles français ont engagé une course de vitesse pour adapter les ressources en eau à la croissance numérique des citadins et à l'extension spatiale des agglomérations. Jusqu'aux années 1880, les premiers réseaux d'adduction d'eau à l'échelle de la ville sont mis en place. L'objectif est simplement de distribuer de l'eau claire, fraîche, limpide, dans des fontaines (la distribution à domicile ne concerne que les classes aisées), et d'arroser les rues pour combattre poussière et malpropreté des pavés. C'est alors que les découvertes bactériologiques changent la perception scientifique de l'environnement et les critères d'évaluation du sain et du malsain. Ce qui est

1. Doctorant en histoire contemporaine, UMR LARHRA / Université Lyon 2.

Résumé

A partir des années 1880, les découvertes de la bactériologie changent le regard sur l'eau potable. Celle-ci devient un risque sanitaire clairement identifié, par les germes qu'elle est susceptible de contenir du fait des infiltrations dans le sol de matières souillées ou de la pollution organique des rivières. Les épidémies de fièvre typhoïde qui frappent les villes et souvent les soldats sont des indicateurs de l'assainissement urbain inachevé qui caractérise la France. Face à ces maladies qualifiées d'« évitables », la mise en place de principes de précaution s'opère progressivement : obligation d'une expertise poussée au niveau national avant l'autorisation d'un projet édilitaire, fermeture des puits et surveillance des sources ou des captages. Ingénieurs, chimistes, industriels, s'engouffrent dans l'appel créé par cette prise de conscience du risque hydrique pour développer un marché de la purification et de la stérilisation des eaux urbaines.

Mots clés. Eau potable, fièvre typhoïde, villes, expertise, purification.

Abstract

During the 1880's, the progress of bacteriology changed the scientific knowledge about drinking water. Water became a sanitary risk because of the germs it is likely to contain, following seepage of organic matters in the soil and pollution of streams. Typhoid fever epidemics that stroke cities and often the army were indicative of the bad state of French urban sanitation. Against these "avoidable" diseases, some principles were progressively transformed into rules : the obligation of a centralised expertise before any municipal water-supply project receives authorisation, the closing of wells, the supervision of springs. Sanitary engineers and commercial companies aimed at developing a new services market favoured by the recognition of the hydric risk, in order to sell industrial processes of water purification.

Key words. Drinkable water, typhoid fever, cities, expertise, purification.

Tout au long du XIX^e siècle – et même dans certaines villes jusqu'au milieu du XX^e siècle – les édiles français ont engagé une course de vitesse pour adapter les ressources en eau à la croissance numérique des citadins et à l'extension spatiale des agglomérations. Jusqu'aux années 1880, les premiers réseaux d'adduction d'eau à l'échelle de la ville sont mis en place. L'objectif est simplement de distribuer de l'eau claire, fraîche, limpide, dans des fontaines (la distribution à domicile ne concerne que les classes aisées), et d'arroser les rues pour combattre poussière et malpropreté des pavés. C'est alors que les découvertes bactériologiques changent la perception scientifique de l'environnement et les critères d'évaluation du sain et du malsain. Ce qui est infiniment petit, inodore et incolore, comme les « microbes » ou les « bacilles » peut très bien s'avérer redoutablement dangereux. Comment ces découvertes scientifiques ont-elles modifié l'expertise sur la qualité de l'eau, regardée à la fin du XIX^e siècle comme un élément « capital » dans l'existence humaine et en même temps « le véhicule le plus fréquent des maladies infectieuses »² ? Après un état des lieux des fléaux hydriques à la Belle Epoque, nous dégagerons les divers types de réponses qu'on a tenté d'apporter alors, pour maîtriser et réduire le risque sanitaire hydrique.

I. La consommation d'eau souillée, un des principaux facteurs de maladie dans la ville pathogène de la fin du XIX^e siècle

Tout d'abord, rappelons que c'est alors tout un ensemble de facteurs d'insalubrité – dont l'eau n'est qu'un élément – qui attire l'inquiétude des hygiénistes : Paul Strauss, sénateur, conseiller municipal de Paris, et futur ministre de l'hygiène, écrit ainsi en 1898 que « c'est presque un lieu commun de dire que la construction d'égouts, l'adduction d'eau potable, la démolition de ruelles et d'impasses, l'améliorations des logements influent puissamment sur la morbidité et la mortalité des villes »³. L'eau n'est donc qu'un facteur parmi d'autres, à l'heure où le danger cholérique s'écarte

1. Doctorant en histoire contemporaine, UMR LARHRA / Université Lyon 2.

2. D' THOINOT H-L., 1891 - *Cours d'hygiène*, Paris, Librairie Ch. Delagrave, respectivement pp. 1 et VI.

3. Revue municipale, 5 février 1898, p. 225.

progressivement de l'Europe⁴, mais on reconnaît qu'elle « peut être le véhicule d'une foule de maladies [...] : fièvre typhoïde, choléra, diarrhée infantile, diarrhée, dysenterie amibienne, spirochétose ictéro-hémorragique » et que « la qualité de l'eau influe sur la morbidité et la mortalité générale d'une ville, probablement par des germes que nous ne connaissons pas encore. La morbidité et la mortalité, dans une ville, même en dehors des maladies nettement hydriques, s'améliorent notablement à mesure que la quantité et la qualité de l'eau s'améliorent »⁵.

Le logement, dans le cas de la tuberculose, et l'eau, à propos de la typhoïde, sont donc les principaux facteurs de risques soumis régulièrement au regard médical et à des enquêtes poussées quand les statistiques s'affolent. Les hygiénistes qualifient ainsi la fréquence des infections typhoïdiques de « pierre de touche du souci hygiénique des États et des municipalités »⁶ ; ils considèrent la typhoïde comme le plus bel exemple des « maladies évitables ». En France, des statistiques comparatives sont régulièrement utilisées pour déplorer la situation sanitaire du pays : à la veille de la première guerre mondiale, le taux de mortalité par fièvre typhoïde y est encore de 0,10 pour 1000 habitants, loin derrière la Suisse (0,03), l'Allemagne (0,04) et l'Angleterre (0,06) ; certes, l'hexagone se place devant les pays latins, Espagne (0,27) et Italie (0,28), mais la typhoïde lui « coûte encore 4000 vies par an, soit la population entière d'une petite ville »⁷.

Dans l'hexagone, toutes les villes sont touchées, à un moment ou à un autre, jusqu'aux années 1930. Même la capitale connaît son épidémie, à la veille de célébrer l'avènement du nouveau siècle en 1899-1900 : même si on note que « la fièvre typhoïde a diminué à Paris, puisque le chiffre des décès, qui était de 3352 en 1883, est tombé à 250 en 1898 »⁸, l'épidémie qui a éclaté en 1899 aurait causé 803 décès⁹. Dans les communes de la banlieue de Lyon situées sur la rive gauche du Rhône, une épidémie en novembre 1928 provoque plus de 2600 cas pour 87 000 habitants¹⁰. Toutefois, certaines agglomérations sont plus que d'autres l'objet d'une attention : il s'agit des villes de garnison. Écoutons ce que nous dit le Dr Vaillard à propos de l'épidémie de Cherbourg, ville où de 1872 à 1898, la typhoïde a tué au moins 1146 militaires (soit l'effectif d'un régiment !) : « le soldat est un réactif fidèle de l'insalubrité des villes où il séjour. Son âge est celui de la réceptivité maximale pour la fièvre typhoïde ; de par ses origines, sa provenance rurale, il n'a pu acquérir cette immunité ou cette résistance que confèrent à la population autochtone les atteintes antérieures, reconnues ou méconnues ; il arrive à la caserne avec sa prédisposition entière et constitue un terrain neuf sur lequel germera avec prédilection le levain typhogène inhérent au milieu urbain »¹¹. Les statistiques militaires font ressortir une différence entre une France du Nord et de l'Est plus saine et une France du Midi et de l'Ouest insalubre, qui reproduit à l'échelle hexagonale des clivages européens (Nord/Sud) inscrits dans la longue durée

4. En 1892, une retentissante épidémie frappe toutefois Hambourg qui s'alimentait en eau de l'Elbe non filtrée.

5. 1932 - *Précis d'hygiène, 4e édition, Masson, p. 397.*

6. *ibid.*, p. 622.

7. « La mortalité générale et typhoïdique dans l'Europe occidentale en 1909 », *L'eau*, 15 juin 1913, p. 70.

8. *Annales d'hygiène publique*, 1901, p. 346.

9. Dr RÉGINERI, 1901 - « La fièvre typhoïde à Paris en 1900 », *Revue d'hygiène et de police sanitaire*, mars 1901, p. 265.

10. COURMONT P. et ROCHAIX A., 1928 - « Rapport préliminaire sur l'épidémie de fièvre typhoïde de la banlieue lyonnaise », *Recueil des actes officiels et documents intéressant l'hygiène publique. Travaux du Conseil supérieur d'hygiène publique de France*, tome 58, p. 913-917.

11. Dr VAILLARD, 1899 - « La fièvre typhoïde à Cherbourg », *Revue d'hygiène et de police sanitaire*, juin 1899, p. 518-519.

Carcassonne	26 décès / 10 000
Brest	123
Troyes	117
Le Mans	105
Toulon	103
Caen	87
Amiens	77
Angoulême	68
Perpignan	65
...	...
Laon	6
Soissons	5
Châlons-sur-Marne	4
Lille	3

Tableau I : Exemple de la mortalité moyenne en 1886 par typhoïde dans les villes qui ont été, en 10 ans, habitées par plus de 10 000 soldats¹².

2. Quelles réponses apporter à cette situation ?

Comme le proclame un hygiéniste reconnu, le lyonnais Jules Courmont, « fournir de l'eau potable, privée de germes infectieux, à une collectivité un peu importante, est un des plus gros problèmes qui se posent devant les municipalités. La question se résume ainsi : comment être sûr que l'eau d'une ville ne contiendra pas, à un moment donné, les germes de la fièvre typhoïde »¹³ ?

Pour combattre le risque hydrique, trois grands types de réponses et d'actions sont menées : au niveau central, la création d'instances de contrôle et de législations contraignantes ; au niveau local, une alliance entre pouvoirs publics et hygiénistes pour faire disparaître les causes de contamination des eaux consommées par les citoyens ; enfin, la quête d'une eau pure mobilise non seulement les techniciens (médecins, chimistes, ingénieurs) de l'administration publique, mais aussi des entreprises qui tentent d'innover et de créer un marché de la purification de l'eau.

2. 1. Les réponses législatives et institutionnelles

Suite aux épidémies de choléra de la première moitié du XIX^e siècle (1832, 1849), l'État met progressivement en place un réseau pyramidal d'instances consultatives, destinées à conseiller les pouvoirs publics sur les mesures à prendre pour éviter le retour de semblables épidémies : Comité consultatif d'hygiène publique de France, Conseils départementaux, Conseils d'arrondissement, auxquels viennent s'ajouter des bureaux d'hygiène avec des responsabilités accrues, obligatoires dans les villes de plus de 20 000 habitants à partir de 1902, et des commissions sanitaires à l'échelle du canton. Ces organismes sont complétés par une série de laboratoires bactériologiques, universitaires, municipaux ou privés¹⁴, qui analysent l'eau et traquent les bacilles à partir des années 1880. Le grand indice d'une eau contaminée, c'est le « Bacille coli » ou colibacille, car le bacille d'Eberth, responsable de la typhoïde, est très difficile à détecter, ayant généralement disparu de l'eau lorsque l'épidémie éclate.

Analyses bactériologiques, expertises géologiques, deviennent des pièces indispensables des

12. BROUARDEL, 1886 - « Rapport » dans *Recueil des travaux du Comité consultatif d'hygiène publique de France pour l'année 1886*, tome XVI, 1^{er} mars 1886, p. 145-156.

13. Arch. Mun. Chambéry, 1 O bis 16, document intitulé « Eaux potables dans villes. Extrait de la Revue technique du 10 juin 1904 ».

14. On ne pas oublier le rôle du laboratoire du Conseil supérieur d'hygiène publique, progressivement débordé par les demandes d'analyses faites par les municipalités de province. D'où la Circulaire ministérielle du 24 juin 1925 établissant la liste des laboratoires qualifiés pour les analyses chimiques et bactériologiques.

15. Le décret du 30 septembre 1884 qui réorganise le Comité consultatif d'hygiène publique classe parmi ses attributions « le régime des eaux au point de vue de la salubrité ». Une circulaire du Ministre du commerce du 29 octobre suivant prescrit aux préfets de soumettre à l'examen du Comité les projets des communes de leur département.

dossiers que les municipalités constituent afin de faire approuver leurs projets d'adduction d'eau par le Comité consultatif de France (à partir de 1884¹⁵). L'avis favorable de l'instance supérieure est indispensable pour qu'elles soient autorisées à emprunter, puis, à partir de 1903, qu'elles reçoivent des subventions de l'État¹⁶. Ces nouvelles adductions suppriment bien souvent, à l'échelle locale, les causes possibles de contamination, en offrant de l'eau plus pure que celle consommée habituellement par les citadins : les hygiénistes se félicitent de la chute conséquente des taux de mortalité par typhoïde. Mais l'adduction de nouvelles eaux ne suffit à assainir les villes.

2. 2. *Sus aux puits !*

Les autorités locales mènent en général plusieurs politiques qui peuvent s'avérer complémentaires : d'une part, dans l'agglomération, la fermeture des puits pour éviter la consommation de leurs « eaux suspectes »¹⁷. En effet, à la Belle Époque, l'usage du puits, reste fréquent dans certaines villes et n'est pas réservé à la campagne, bien que la distribution d'eau dans les immeubles devienne un des critères du confort urbain : ceci pour des raisons économiques, les propriétaires et les locataires étant réticents à payer pour s'approvisionner en eau. Dans le Vaucluse, Carpentras (7700 habitants agglomérés) compte encore 300 puits en 1909, tandis que le chef-lieu, Avignon, bat des records avec 35 500 habitants agglomérés, 6400 maisons et près de 2000 puits¹⁸ ! Or, les puits sont fréquemment contaminés par l'infiltration de matières fécales : les réseaux d'assainissement sont encore plus rudimentaires et moins développés que les canalisations d'eau potable ; la vidange des « fosses d'aisances » coûtant cher, on pratique le système des « puisards absorbants », à cause desquels les germes de la typhoïde se retrouvent dans la nappe phréatique. Ce système ancien est condamné : « par la fécalisation du sol et la contamination de la nappe souterraine, il peut occasionner de nombreuses et graves épidémies »¹⁹.

D'autre part, en périphérie, la surveillance des amenées d'eau et l'établissement d'un « périmètre de protection » autour des sources ou captages²⁰. En effet, dans la période 1900-1914, un tournant s'opère dans l'attitude à l'égard des eaux de sources. Tandis qu'elles représentaient jusqu'alors l'eau pure, parce que fraîche, en opposition avec l'eau de rivière filtrée²¹, les sources deviennent de plus en plus suspectes. Le président du Comité consultatif d'hygiène publique de France déclare : « on a cru pendant longtemps que toute eau de source était pure et potable. Mais cela n'est vrai que lorsqu'aucune impureté ne peut venir contaminer cette eau à son origine ou sur son trajet. C'est pourquoi aujourd'hui on considère comme impropres à l'alimentation, des eaux qui, autrefois, paraissaient parfaites »²². Le progrès des analyses bactériologiques et des recherches géologiques (qui démontrent les possibilités d'infiltration des ordures depuis la surface jusqu'à la nappe alimentant la source) les désigne parfois comme des sources possibles de contamination²³.

Même alimentées en eau de source, les villes ne sont plus à l'abri d'une épidémie potentiellement redoutable, si elle se répand par la canalisation municipale. Les ingénieurs sanitaires proposent alors de mettre la technique au service de la sécurité sanitaire.

16. La loi de finances du 31 mars 1903 autorise le financement partiel des travaux d'adduction d'eau par une subvention de l'État issue de fonds prélevés sur le produit du Pari Mutuel.

17. Arch. Dép. Corrèze, 3 O 1022, « Rapport du directeur du bureau municipal d'hygiène de Brive, 1^{er} décembre 1931 ». L'expression « eaux suspectes » est courante dans les rapports d'hygiénistes.

18. IMBEAUX E. et alii., 1909 - *Annuaire statistique et descriptif des distributions d'eau en France*, Paris, Dunod, p. 821-825. Avignon est d'ailleurs victime d'une épidémie en 1912, où l'on recense 667 cas de typhoïde dont 74 mortels (*L'eau*, 15 novembre 1912, p. 131).

19. Dr MARCOMBES (maire de Clermont-Ferrand), 1921 - « Allocution d'ouverture », *Alliance d'hygiène sociale. Congrès de Clermont-Ferrand, 30 septembre, 1^{er} et 2 octobre 1921*, Clermont-Ferrand, imprimerie G. Mont-Louis, p. 18.

20. Le principe de ce périmètre est posé par l'article 10 de la loi du 15 février 1902 sur la protection de la santé publique. Concrètement, « Il est interdit d'épandre sur les terrains compris dans ce périmètre des engrais humains et d'y forer des puits sans l'autorisation du préfet ».

21. La loi de 1902 se faisait l'écho de cette conception. Son article 10 ne parle que de la protection du captage des sources et ne mentionne pas l'usage possible d'eaux souterraines ou d'eaux superficielles filtrées, alternatives qui sont reconnues par la modification de la loi en 1935.

22. Dr BROUARDEL, 1901 - *Annales d'hygiène publique*, p. 346.

23. Arch. Dép. Vaucluse, 2054/15. Le Conseil supérieur d'hygiène publique de France rejette ainsi en 1907 un projet d'alimentation de l'Isle-sur-la-Sorgue par l'eau de la Fontaine de Vaucluse.

2. 3. La fourniture d'eau pure, un marché lucratif ?

Venant s'ajouter à la filtration des eaux de rivière, déjà pratiquée depuis la première moitié du XIX^e siècle (Londres, Toulouse, etc.), des innovations techniques apparaissent donc pour faire disparaître les microbes pathogènes ; l'analyse de leur performance est généralement effectuée à l'aide de numérations (nombre de germes par cm³) du fameux colibacille, dont la présence peut être un indice de celle du bacille typhique. Les expertises favorables à un procédé d'épuration sont reproduites dans des brochures que les entreprises rédigent à l'intention des municipalités pour les séduire et conquérir de nouveaux marchés.

Plusieurs méthodes rivalisent. La purification chimique par le chlore ou ses composés fait l'objet de nombreux projets au tournant du siècle, portés par un ingénieur sanitaire britannique, Andrew Howatson, et un chimiste belge, Maurice Duyk. En France, elle ne parvient pas vraiment à s'implanter, sauf dans de rares petites villes (Lectoure, L'Arbresle). La « javellisation » est expérimentée vers 1910-1911 à Paris, mais les ingénieurs estiment qu'elle doit rester une mesure d'exception, en cas d'urgence, à cause du mauvais goût de l'eau traitée. Les procédés chimiques se développent dans l'entre-deux-guerres avec la « verdunisation » de Philippe Bunau-Varilla (procédé expérimenté à Verdun vers 1915-1917), qui obtient l'honneur d'être recommandée par une circulaire officielle en 1930.

En même temps que la purification chimique est mise au point une technique de stérilisation de l'eau par l'ozone, expérimentée en grand à Nice (1907), Cosne-sur-Loire, Dinard ou encore Avranches. Elle se répand progressivement dans les villes de province jusqu'à la deuxième guerre mondiale, contrairement à la stérilisation par les ultra-violets qu'une eau peu limpide rend inefficace²⁴.

De véritables guerres commerciales opposent les diverses sociétés qui se créent pour tirer parti de ces inventions, à l'occasion des concours ouverts par certaines villes pour l'épuration de leurs eaux (Paris entre 1906 et 1908, Marseille en 1910-1911). Les archives municipales et la presse locale en gardent des échos²⁵. Certaines expériences se révèlent un échec, et à la fin des années 1920 le Conseil supérieur d'hygiène reste toujours circonspect sur les procédés, préférant l'utilisation, dans tous les cas où c'est possible, de l'eau de source, car « il doit rester bien entendu que ces moyens sont délicats et demandent toujours une surveillance constante, et que même fussent-ils faciles, on ne devra y recourir qu'en l'absence d'eaux naturellement pures en quantité voulue »²⁶.

24. Cette méthode, promue par la Société Puech-Chabal, spécialisée dans la filtration et adversaire des compagnies de stérilisation par l'ozone, a été appliquée à L'Isle-sur-la-Sorgue et à Lunéville.

25. Travail de thèse d'histoire en cours : FRIOUX S., *Les réseaux de la modernité. Amélioration de l'environnement urbain en France, fin XIX^e-milieu XX^e siècles : acteurs, innovations, politiques éditoriales*, sous la direction de PINOL J.-L., Université Lyon 2.

26. *Compte rendu des travaux du Conseil supérieur d'hygiène publique de France*, 1929, p. 601



Carte I : L'épuration des eaux potables dans les villes françaises jusqu'en 1914 ²⁷.

27. Carte non exhaustive. Sur la carte ne figurent que les villes ayant adopté – même durant quelques mois – un système, et non les villes citées par des entreprises comme de potentielles clientes mais dont nous n'avons pu vérifier la décision. Certaines ont pu expérimenter plusieurs procédés, comme Lunéville (abandon de la stérilisation par les ultra-violet) ou Romorantin (abandon de la stérilisation par l'ozone).

Conclusion

À la Belle Époque, la qualité de l'eau distribuée et consommée en ville fait l'objet de toutes les attentions. L'État renforce les contrôles et l'expertise autour des projets édilitaires ; les municipalités tentent de supprimer les approvisionnements particuliers ; des hygiénistes et des ingénieurs tirent parti commercialement de cette inquiétude à l'égard de la potabilité de l'eau, qui engendre l'intérêt pour la purification de l'eau.

Bien que les améliorations sanitaires soient très vite considérables, cela n'éradique pas le risque hydrique. Une diminution rapide de la mortalité due aux maladies hydriques est incontestable : la typhoïde provoque environ 9000 morts par an en France à la fin du XIX^e, seulement 3000 à la veille de la première guerre mondiale. En outre, suite à la systématisation de la vaccination anti-typhique dans l'armée à partir de 1914, les grandes épidémies de garnison disparaissent, et les hygiénistes proclament en 1932 que « la fièvre typhoïde a été vaincue : c'est l'une des plus belles conquêtes de l'hygiène »²⁸. Toutefois, essentiellement dans les campagnes, la typhoïde sévit encore en France à la fin des années 40, beaucoup plus qu'en Angleterre ou en Allemagne. À la persistance d'un risque typhique non négligeable s'ajoute la démonstration, enquêtes à l'appui, du retard pris en matière d'assainissement : en 1935, près de 225 villes soit un quart de la population urbaine, en France, n'ont que des fosses fixes, des tinettes archaïques...²⁹ En 1946, « même en y comprenant les localités pourvues de quelques tronçons d'égouts pluviaux, on ne compte que 986 communes pouvant prétendre à posséder un système quelconque d'assainissement ; sur le nombre, 274 seulement ont des réseaux d'évacuation plus ou moins satisfaisants ; il n'en est que 81 pourvues d'une station d'épuration »³⁰. En matière d'hygiène urbaine, les spécialistes ont échoué à mettre en place une « technocratie » indépendante des pressions politiques locales et soutenue par des moyens financiers appropriés.

Si la dernière bataille victorieuse contre le risque hydrique a plutôt été menée après 1945 en France, souvenons-nous que cette opération n'est toujours pas terminée à l'échelle de la planète, puisque plus d'un milliard d'êtres humains n'ont toujours pas accès à l'eau potable. Selon l'OMS, 80 % de toutes les maladies peuvent être attribuées au manque d'eau salubre et à l'inadaptation des systèmes d'assainissement. Chaque jour 22 000 personnes meurent encore de la typhoïde, du choléra, du paludisme ou de la diarrhée : les maladies liées à l'eau seraient donc la première cause de mortalité sur le plan mondial.

28. 1932 - *Précis d'hygiène*, 4e édition, Paris, Masson, p. 640.

29 . Revue municipale, février 1935, p. 251.

30. *L'eau*, janvier 1946, p. 5.

Risque perçu et risque vécu. Les pêcheurs à la ligne et la pollution des cours d'eau en France aux XIX^e et XX^e siècles

Jean-François MALANGE¹

Résumé

Cet article vise l'étude sur la longue durée du rôle des pêcheurs dans la dénonciation des pollutions aquatiques et la manière dont se transforme leur expertise sur l'espace. Des années 1850 aux années 1950, le risque de pollution des cours d'eau sert d'élément de structuration aux pêcheurs à la ligne. L'analyse de l'espace s'affine de plus en plus par une connaissance accrue du milieu et des enquêtes de terrains de rigoureuses et systématiques. On passe ainsi, en un peu plus d'un siècle, des représentations aux observations, de l'imagination à l'action : du risque perçu au risque connu et reconnu. Ces phénomènes complexes et polymorphes vont de pair avec une évolution du rôle social des pêcheurs : d'utilisateurs des cours d'eau à protecteur de la société.

Mots clés. Risque, pollution, industrie, pêcheurs, milieu aquatique.

Abstract

This article aims at studying the long term role of the anglers in their denunciation of water pollutions and the way their environment survey constantly evolves. From the 1850s to the 1950s the river pollution risk was used by the anglers as a means of organizing themselves. Environment analysis gained in precision due to a deeper knowledge of the habitat and to the local surveys increasingly systematic and rigorous. In more than a century we evolve from images to observations, from imagination to action – from perceived (risk to recorded and acknowledged risk. These complex and polymorphous phenomena are associated with an evolution of the social role of the anglers from river users to society protectors.

Keywords. Risk, pollution, industry, anglers, aquatic environment.

Des études récentes ont déjà abordé l'histoire de la pollution des cours d'eau français, mais en analysant le problème de façon globale (Garcier, 2005). Il est possible d'aborder ce thème par l'étude d'un groupe social précis pour qui la gestion des rivières constitue un souci quotidien. Il s'agit des pêcheurs à la ligne, qui sont de plus en plus nombreux à partir du milieu du XIX^e siècle (Corbin, 1995). Dès le premier tiers du XIX^e siècle, des mesures réglementaires existent pour la protection des cours d'eau à l'égard des « empoisonnements ». L'article 25 de la loi du 15 avril 1829, dite « Code de la pêche fluviale » en est le meilleur exemple. Mais cette loi semble inefficace car au cours du siècle les affaires de pollution se multiplient (Journé, 1901, p. 141). La notion de pollution industrielle pour les eaux douces ne semble pas exister avant les années 1850. La Révolution industrielle change le rapport des hommes à l'eau : elle permet, d'une part, l'accélération de « la conquête de l'eau » (Goubert, 1986), mais elle provoque d'autre part, une pollution sans précédent des milieux aquatiques. Du milieu du XIX^e siècle au début du XX^e (époque de formulation d'une conscience

1. Professeur certifié d'histoire-géographie au collège Salinis d'Auch.

de la protection de la nature, des paysages et sites historiques²) d'intenses débats se passent sur la nécessaire protection des ressources aquatiques envers la pollution générée par les activités humaines. Les pêcheurs pointent le doigt sur la souillure ou la « pollution » des rivières. Le problème semble bien toucher la France entière, et la question de la destruction du poisson par les rejets industriels mobilise partout les sociétés de pêche à la ligne (Malange, 2005).

Il s'agit donc d'étudier sur la longue durée le rôle des pêcheurs dans la dénonciation des pollutions aquatiques et la manière dont se transforme leur expertise sur l'espace. Des années 1850 aux années 1950, le risque de pollution des cours d'eau sert d'élément de structuration aux pêcheurs à la ligne : l'analyse de l'espace s'affine de plus en plus par une connaissance accrue du milieu et des enquêtes de terrain de plus en plus rigoureuses et systématiques. On passe ainsi, en un peu plus d'un siècle, des représentations aux observations, de l'imagination (parfois même du fantasme) à l'action : du risque perçu au risque connu et reconnu. Ces phénomènes complexes et polymorphes vont de pair avec une évolution du rôle social des pêcheurs : d'utilisateurs des cours d'eau à protecteurs de la société. Le risque semble servir de catalyseur à la formation des sociétés de pêcheurs à la ligne.

I. Des années 1850 aux années 1910 : observation et appropriation du risque de pollution aquatique

I.1 L'arrière plan du thème du dépeuplement : le risque de pollution aquatique replacé dans un cadre socio-culturel large

Il faut replacer ces propos dans l'arrière plan du thème du dépeuplement des cours d'eau français. Certains chercheurs se sont attachés à développer cette thématique, entre autres Max Thibault qui a concentré ses efforts sur l'histoire du saumon, ou bien encore Geneviève Delbos. Ils constatent dans les archives la récurrence du thème de l'épuisement des ressources aquatiques. C'est un motif très ancien qui se décline sous plusieurs expressions : « les fonds se dépeuplent », « les eaux s'épuisent »... Le dépeuplement est régulièrement affirmé et à partir de la fin du XIX^e siècle se développe un discours catastrophiste en matière de pêche, voisin de celui des forestiers de l'époque (Brüggemeier, 2002). Il faut donc envisager et concevoir l'apparition du thème de la pollution des cours d'eau dans le cadre plus large de la croyance du dépeuplement et de la volonté de protection des eaux douces françaises. En effet, à partir du milieu des années 1860, le rejet dans les rivières des eaux usées des usines est considéré par les spécialistes comme une des causes principales de la soi-disant disparition du poisson (Millet, 1865). Alors qu'aucune étude quantitative ou qualitative ne semble avoir été entreprise, les spécialistes des eaux douces décrètent de façon plutôt arbitraire que l'ensemble du réseau hydrographique français est menacé par les pollutions industrielles.

I.2 Trace des premières affaires de pollution : l'apparition d'une volonté d'endiguer et de lutter contre le risque de pollution aquatique

Les pollutions des cours d'eau du Nord et du Pas-de-Calais sont célèbres (Massard-Guilbaud, 2003). Ces départements constituent des espaces géographiques de forte implantation de la Révolution industrielle, où ont lieu les premières pollutions des cours d'eau. Une lettre du sous-préfet de Béthune du 13 mars 1854 au préfet à propos de l'écoulement des eaux sales dans les eaux du canal d'Aire à Labassée précise par exemple que « les eaux du canal sont entièrement corrompues par leur mélange [...] les eaux impures qui s'y répandent des fabriques d'alcool et de sucre et leur décomposition est telle que tout le poisson est mort et qu'elles infectent l'air aux alentours. Il n'est plus possible de s'en servir pour aucun usage, il y a péril à circuler dans leur atmosphère putride³ ». Ce commentaire révèle la perception aiguë qu'ont les autorités des problèmes liés à la présence d'activités industrielles proches des lieux de vie des habitants de cette région. Les quantités déversées sont jugées fortement déraisonnables, polluant à la fois l'eau et l'air. On retrouve ici

2. On peut trouver des exemples avec la loi de 1906 sur la protection des sites ou la création des Congrès de l'Arbre et de l'Eau en Limousin en 1907. On peut aussi évoquer le mouvement conversationniste aux États-Unis avec la création du parc de Yellowstone en 1872.

3. Archives nationales, F 8 177, Enquête sur l'infection des cours d'eau, 1854-1859. Chemise 1 : Affaires générales, Nord-Pas-de-Calais.

la sensibilité décrite par Alain Corbin dans *Le miasme et la jonquille*. A partir des années 1750, les hommes d'Occident ont peu à peu cessé de tolérer la proximité de l'excrément, des ordures et de tout ce qui incommodait l'odorat. Loin de se tarir, cette nouvelle sensibilité a continué de se développer pour toucher tous les domaines sensoriels et tous les milieux sociaux. Les propos sévères du sous-préfet témoignent de la volonté accrue de purifier l'espace public : si le XVIII^e siècle était le moment des discours cloisonnés entre spécialistes, le XIX^e siècle est de plus en plus le temps de l'appropriation par le plus grand nombre de ces désagréments, jugés très menaçants et dangereux.

Les premières affaires connues montrent que pêcheurs et industriels sont en conflit : ces deux acteurs sociaux inaugurent dans les années 1850 des relations d'opposition qui durent encore de nos jours. Le procès verbal du conseil général du Pas de Calais daté du 11 août 1854 à propos de l'écoulement de résidus dans les rivières et cours d'eau du département suggère de « parer aux graves et nombreux dommages qu'apporte à la pêche comme à la salubrité publique l'épanchement des résidus des fabriques dans les différents cours d'eau »⁴. Pêcheurs et industriels sont les principales personnes autour desquelles se sont construites les représentations et les modalités de gestion des risques de pollution des eaux douces. La peur de la pollution entraîne quelques réflexes de prévention, mais ceux-ci restent isolés et plutôt exceptionnels dans les années 1850. Des affaires d'empoisonnement des cours d'eau par l'industrie éclatent régulièrement : ainsi en 1857, les pêcheurs et les brasseurs de Douai qui utilisent l'eau de la Scarpe se plaignent de ce que les usines de potasse de Carbehem et les fabriques de sucre et d'alcool « rejettent dans la rivière de grandes quantités d'eaux viciées par des principes nuisibles »⁵. La disparition du poisson entraîne la perte des ressources grâce auxquelles les pêcheurs font vivre leurs familles. Les pêcheurs sont donc les premiers partisans de la lutte contre les pollutions car leurs intérêts économiques directs sont menacés. Ces affaires font de plus en plus parler d'elles : constatations de mort de poissons à Dampierre dans le Jura en 1861, dans l'Aisne en 1857 et 1858, à Niort en 1863. Dans chaque cas, le conseil d'hygiène n'accuse pas directement les usines mais ces incidents sont systématiquement présentés comme une grave affaire de salubrité publique. La récurrence des affaires de pollutions coïncide avec le début de l'émergence de la pêche à la ligne comme un passe temps de plus en plus répandu.

1.3 L'émergence de la pêche loisir : le risque de pollution fantasmé ?

C'est d'octobre 1859 à septembre 1860 qu'est éditée l'une des premières feuilles spécialisées dans la pêche de loisir. Ce journal dénommé *La Campagne* est dirigé par Charles de Massas, auteur d'un traité de pêche à la ligne très remarqué lors de sa parution. Dès les premiers numéros, le souci de gestion du milieu aquatique apparaît de façon récurrente et montre la volonté des pêcheurs de comprendre les phénomènes liés à l'eau. Cette préoccupation majeure amène le rédacteur en chef du journal à relater des anecdotes ludiques fortement révélatrices de l'état d'esprit dans lequel les pêcheurs observent et analysent la vie aquatique : « Parmi les hommes spéciaux, en faveur de ce journal, ma pensée rêvait le concours de deux personnages d'un genre tout particulier, qu'un hasard, il y a 3 ans, m'avait mis en position d'entendre [...] C'étaient ces deux maîtres pêcheurs qu'un jour, pendant le tropical été de 1857, j'avais rencontré au milieu d'un pont, le pont de Courbevoie, occupés, non sans douleur, à contempler une débâcle de poissons, un double rang de blancs cadavres que la Seine charriait. Ils cherchaient dans les parties les plus sagaces de leur esprit et de leur coeur, les causes de ce navrant spectacle, et préféraient, bien entendu, aux explications trop simples présentées par le sens commun, celles tout autrement savantes et frappantes lancées par l'imagination. Supposer que ce grand désastre ne provenait que d'un état atmosphérique qui avait mis dans de l'eau chaude des êtres nés pour habiter l'eau froide, cela ne pouvait leur convenir. Il leur fallait, pour s'édifier sur un tel mal, des raisons aussi terribles que l'était ce mal lui-même. Aussi mettaient-ils en jeu de morbides vins fraudés »⁶. Les sources relatant l'état d'esprit des pêcheurs à la

4. *Ibid.*

5. Archives nationales, F8 177, Douai 1857.

6. MASSAS Ch. de, « Mœurs aquatiques : causeries du bord de l'eau », *La Campagne*, n°3, décembre 1859, p. 80-82.

vue d'une grosse mortalité de poissons sont excessivement rares. Même s'il faut rester très prudent, il semble possible de dire que cette anecdote révèle en partie la façon de penser des pêcheurs à la ligne français de la fin des années 1850. Ils s'inscrivent directement dans l'esprit de leur temps où le thème du dépeuplement domine les schémas mentaux. Aussi ne peuvent-ils convenir que la mort de ces poissons soit naturelle et imaginent-ils qu'elle est le résultat d'une action anthropique, ici le rejet dans la Seine de vins avariés. Les phénomènes culturels décrits précédemment sont ici à l'œuvre : les pêcheurs jugent la situation à la hâte, persuadés de détenir la vérité : eux si passionnés, si soucieux de leurs intérêts et de la bonne santé de la faune piscicole, oublient de faire preuve de recul. Ce qui constitue un épisode amusant pour Charles de Massas se révèle être, pour nous, une façon de concevoir le risque de pollution aquatique. Il n'est aucunement question de nier l'existence de ce type de risque pour la deuxième moitié du XIX^e siècle, mais il convient de montrer qu'une fois la menace de pollution identifiée, celle-ci a parfois donné lieu au fantasme et à l'exagération collective. Cette tendance semble s'atténuer avec la naissance des sociétés de pêche à la ligne. A partir des années 1880, le risque de pollution industrielle devient plus qu'une préoccupation : il est l'un des moteurs de la structuration sociale qui s'opère chez la majorité des pêcheurs à la ligne. Cent cinquante-six sociétés de pêche voient le jour entre 1888 et 1899 (Jousset du Bellesme, 1909, p. 499-503). En moins d'une décennie, elles forment un véritable réseau et sont regroupées en fédérations : les idées et les informations circulent, les objectifs sont partout les mêmes. Par exemple, en 1894, l'article 2 des statuts de la société des pêcheurs de la ville d'Auch dans le Gers précise que « La société a pour but : 1° De former des liens de solidarité entre les pêcheurs à la ligne. 2° D'empêcher par tous les moyens légaux l'empoisonnement de la rivière »⁷. Ce principe de lutte et de dénonciation des risques de pollution des cours d'eau a manifestement servi de modèle à la majorité des sociétés, et ceci au moins jusque dans les années 1950. Il est tout à fait possible d'affirmer que ces principes sont devenus de véritables inerties, omniprésentes dans les statuts des sociétés de pêche de tout le pays. Entre les années 1850 et les années 1900, l'attitude des pêcheurs face au risque de pollution des cours d'eau a fortement évolué. Constaté, imaginé voire parfois amplifié dans un premier temps, ce risque a été de mieux en mieux identifié, à tel point qu'il a été l'un des principaux catalyseurs de la structuration sociale des pêcheurs en associations. Dans les années 1900, les sociétés de pêche fleurissent de toutes parts : un de leur but principal est de protéger les rivières, en particulier de la menace industrielle. Cette tendance lourde va s'accroître et évoluer dans ses modalités d'application jusque dans les années 1950.

2. De 1908 aux années 1950 : de la pêche à la ligne à l'histoire de la protection des cours d'eau

Dans le premier tiers du XX^e siècle, le souci des pêcheurs de gérer les ressources piscicoles et les problèmes liés à cette gestion devient de plus en plus pratique, actif et volontariste. Les archives montrent que les pêcheurs donnent l'alerte sur d'éventuelles pollutions. Ils sont les premiers à dénoncer des situations écologiques douteuses et anormales. En s'adressant directement aux instances supérieures (mairie, préfet, ministres) par le biais de pétitions fondées sur des arguments législatifs et/ou judiciaires, les pêcheurs se révèlent responsables et vigilants et mettent dans l'arène publique des problèmes jusque-là ignorés ou peu médiatisés.

La naissance du Fishing Club de France (FCF) en 1908 représente une réaction sociale face au risque de pollution et une étape importante dans la sensibilisation des masses à celui-ci. Cette institution s'inscrit dans la droite ligne des sociétés savantes mais surtout du Touring Club de France. Son slogan, « L'eau pure pour tous ! », résume ses objectifs : créer une vaste cohésion nationale contre l'infection systématique des cours d'eau tout en protégeant la pêche. Le FCF connaît un grand succès dans la première moitié du XX^e siècle avec la mise en place d'une revue, *Le Pêcheur Illustré*, éditée de 1909 au milieu des années 1980, et avec la réalisation d'enquêtes de terrain à grande échelle. Tous les membres du Fishing ne sont pas des pêcheurs, mais ils ont tous une sensibilité aiguë face aux pollutions possibles et désirent plus que tout préserver l'eau douce et la société française des nuisances industrielles. Des savants, des docteurs (par exemple le docteur Albert Calmette), des hygiénistes sont donc tout naturellement venus renforcer ses rangs, lui

7 . Archives départementales du Gers, Ville d'Auch, 2 i 12.

apportant un indéniable poids scientifique. Dès 1910, sous l'égide du docteur Edmond Bonjean, le FCF produit un rapport d'une quinzaine de pages sur la « Conservation et protection des eaux superficielles et souterraines », résultat d'une vaste enquête de terrain (Bonjean, 1910). Ce rapport tente de dresser un bilan national de la situation qui tient compte d'un questionnaire envoyé à une centaine d'industriels. L'objectif était de connaître la façon dont ces industriels géraient leurs rejets. Seulement trente-neuf réponses ont été reçues et trente-cinq d'entre elles contiennent des renseignements jugés fiables. Sur cet échantillon, seize industriels avouent ne pratiquer aucune épuration et rejeter leurs résidus non traités directement dans les cours d'eau. Face au peu de réponses et aux résultats de l'enquête, le FCF juge la situation alarmante et lance un cri d'alarme, demandant une réaction de l'État par le biais d'une législation claire et précise sur les différents types de pollutions possibles. Dans ce contexte, le Docteur Bonjean remarque le rôle clé des pêcheurs en tant que relais indispensable pour la réussite de cette entreprise : « Les associations relatives à la protection de la pêche, par la nature même des plaintes qu'elles reçoivent en ce qui concerne la mort, la destruction, la disparition du poisson dans les rivières, peuvent être de précieux auxiliaires de renseignements ; les industriels craignent leur intervention, car celle-ci a lieu généralement sous forme de plaintes et de procès » (Bonjean, 1910, p. 8).

La période des années 1920 aux années 1950 est le moment où les pêcheurs deviennent les spécialistes empiriques des cours d'eau. Dans les années 1950, ils ont déjà quasiment un demi-siècle d'expérience concernant la gestion et l'analyse des risques de pollution. Leur analyse semble sûre et très éprouvée. Le département du Lot montre bien qu'à partir de la fin de la deuxième guerre mondiale, l'expertise territoriale des pêcheurs dans le cadre de la lutte contre les risques de pollution devient de plus en plus fine et précise. Ils arpentent les rives des cours d'eau avec des représentants des pouvoirs publics et dessinent sous forme de croquis les situations matérielles qui leur paraissent les plus douteuses. C'est par exemple le cas en mars 1949 dans la région de Figeac. Le procès verbal dressé le 9 mars par le brigadier des eaux et forêts Roustit, à la suite de déversements effectués par les carrières de Bagnac dans le ruisseau du Célé, comporte un schéma précis et complet de la situation⁸.

Les échanges au sein des réseaux ainsi constitués dans la première moitié du XX^e siècle font des pêcheurs à la ligne un groupe de pression dont l'État et les industriels doivent tenir compte, quitte à s'attirer les foudres d'autres groupes de la société française. La pêche à la ligne semble désormais une activité indispensable au contrôle de la qualité des eaux de rivière : les pêcheurs participent à la collecte des informations sur la pollution des milieux et sur toutes les menaces qui planent sur les rivières. Cette activité qui a évolué pendant longtemps dans la marginalité des loisirs est donc devenue une pratique sociale indispensable pour veiller à la santé des cours d'eau (et indirectement de la société) : ce rôle de guetteur et de sentinelle s'inscrit dans le mouvement d'essor de l'hygiène qui caractérise la fin du XIX^e et le début du XX^e siècle (Darmon, 1999).

C'est entre le milieu du XIX^e siècle et la fin de la deuxième guerre mondiale que se mettent en place les éléments culturels qui préparent l'action militante de type pré-écologiste des pêcheurs des années 1960 (Gramaglia, 2006). En effet les pêcheurs à la ligne se structurent en une force sociale capable d'agir avec efficacité pour défendre les milieux aquatiques menacés. Cette situation résulte d'une construction à la fois sociale et technique. L'intérêt des pêcheurs pour le milieu aquatique en général, et pour les risques de pollution en particulier, n'est pas une donnée spontanée mais un imbroglio historique complexe qui associe les dimensions sociale, culturelle, économique et environnementale et qui puise ses racines au XIX^e et au début du XX^e siècle. Le but poursuivi ici a été de mettre en évidence les principales étapes de l'histoire d'un phénomène social qui a eu très tôt des préoccupations pour le milieu aquatique, et de montrer que le risque, tantôt imaginé, tantôt observé et étudié, a servi de toile de fond, voire de catalyseur, dans la mise en place des différents éléments qui ont permis dans les années 1960 et 1970 l'émergence d'une « conscience environnementale » au sens moderne du terme.

8. Archives départementales du Lot, 88 S 6.

Bibliographie

D^r BONJEAN E., 1910 - *Fishing-Club de France. Conservation et protection des eaux superficielles et souterraines : projet de loi, enquête en vue de son application, enquête du Fishing-Club de France sur les eaux résiduaires des papeteries*, Paris, Bibliothèque du Fishing-Club de France, 16 p.

BRÜGGEMEIER F.-J., 2002 - « Le dépérissement de la Forêt (Waldsterben) : construction et déconstruction d'un problème d'environnement », dans BERNHARDT C. et MASSARD-GUILBAUD G. (dir.), *Le démon moderne. La pollution dans les sociétés urbaines et industrielles d'Europe*, Clermont-Ferrand, Presses Universitaires Blaise Pascal, p. 75-90.

CORBIN A., 1986 - *Le miasme et la jonquille*, Paris, Aubier, 336 p.

CORBIN A., 1995 - « Les balbutiements d'un temps pour soi. La pêche à la ligne et la polarisation des heures », dans *L'avènement des loisirs*, Paris, Flammarion, coll. Champs, 1995, p. 324-340.

DARMON P., 1999 - *L'homme et les microbes*, Paris, Fayard, 592 p.

DELBOS G., 1989 - « De la nature des uns et des autres : à propos du dépeuplement des eaux marines », dans MATHIEU N. et JOLLIVET N., *Du rural à l'environnement*, Paris, ARF Editions L'Harmattan, p. 50-63.

GARCIER R., 2005 - « *La pollution industrielle de la Moselle française : naissance, développement et gestion d'un problème environnemental, 1850-2000* », Thèse de Doctorat de Géographie, aménagement et urbanisme, Université Lumière Lyon 2, sous la direction de Paul Arnould.

GOUBERT J.-P., 1986 - *La Conquête de l'eau*, Paris, Robert Laffont.

GRAMAGLIA C., 2006 - *La mise en cause environnementale comme principe d'association. Casuistique des affaires de pollution de rivières*, thèse de sociologie, Ecole de Mines.

JOURNE M., 1901 - *La pêche fluviale*, Thèse pour le doctorat, université de Paris, Faculté de droit, Paris, 1901.

JOUSSET DU BELLESME, 1909 - *La pisciculture en France de 1884 à 1900. L'aquarium du Trocadéro, l'enseignement municipal de pisciculture, les sociétés de pêche, l'initiative privée*, Paris.

MALANGE J.-F., 2005 - *A la recherche d'une socio-histoire des pratiques de pêche à la ligne en France de 1800 à nos jours*, Mémoire de DEA sous la direction de M. Patrick Cabanel et M. Jean-Marc Olivier, Université de Toulouse Le Mirail.

MASSARD-GUILBAUD G., 2003 - *Une histoire sociale de la pollution industrielle dans les villes françaises (1789-1914)*, Mémoire d'Habilitation à diriger des recherches, Université Lyon 2, 495 p.

MILLET M. C., 1865 - *Rapport sur les mesures relatives à la conservation et à la police de la pêche*, Paris, Société impériale d'Acclimatation, 14 p.

THIBAUT M., 1987 - « Eléments de problématique du saumon atlantique en France », *La restauration des rivières à saumon*, Paris, INRA éditions, p. 413-425.

THIBAUT M., 1993 - « Premiers éléments de l'éco-histoire du saumon atlantique en France », in *Pour une histoire de l'environnement. Travaux du programme interdisciplinaire de recherche sur l'environnement*, édité par C. Beck et R. Delort, Paris, CNRS éditions, p. 147-154.

THIBAUT M., 1994 - « Aperçu historique sur l'évolution des captures et des stocks », *Le saumon atlantique, biologie et gestion de la ressource*, Plouzané, IFREMER, p. 175-183.