



Evolution de la dynamique hydrosédimentaire des étangs de moyenne montagne sous la double influence urbaine et agricole : cas de l'étang de Haute-Jarrie (Isère : France)

Entwicklung der hydrosedimentären Dynamik der Weiher in Mittelgebirge unter dem doppelten Einfluß von Stadt und Landwirtschaft: das Beispiel des Haute-Jarrie Weihers (Isère, Frankreich)

Evolution of the hydrosedimentary dynamics in low mountain lakes under combined urban and agricultural influences : the case of the Haute-Jarrie lake (Isère, France)

Rachid Nedjai, Nacer N. Messaoud and Abdelkrim Bensaïd



Electronic version

URL: <http://journals.openedition.org/rge/5695>

ISSN: 2108-6478

Publisher

Association des géographes de l'Est

Printed version

Date of publication: 22 April 2016

ISSN: 0035-3213

Electronic reference

Rachid Nedjai, Nacer N. Messaoud and Abdelkrim Bensaïd, « Evolution de la dynamique hydrosédimentaire des étangs de moyenne montagne sous la double influence urbaine et agricole : cas de l'étang de Haute-Jarrie (Isère : France) », *Revue Géographique de l'Est* [Online], vol.56 / n°1-2 | 2016, Online since 29 August 2016, connection on 08 September 2020. URL : <http://journals.openedition.org/rge/5695>

This text was automatically generated on 8 September 2020.

Tous droits réservés

Evolution de la dynamique hydrosédimentaire des étangs de moyenne montagne sous la double influence urbaine et agricole : cas de l'étang de Haute-Jarrie (Isère : France)

Entwicklung der hydrosedimentären Dynamik der Weiher in Mittelgebirge unter dem doppelten Einfluß von Stadt und Landwirtschaft: das Beispiel des Haute-Jarrie Weihers (Isère, Frankreich)

Evolution of the hydrosedimentary dynamics in low mountain lakes under combined urban and agricultural influences : the case of the Haute-Jarrie lake (Isère, France)

Rachid Nedjai, Nacer N. Messaoud and Abdelkrim Bensaïd

I - Introduction

- 1 La France, à l'instar de nombreux pays européens, se distingue par son patrimoine environnemental marqué essentiellement par une densité élevée de plans d'eau. Ainsi, les derniers inventaires confirment cette richesse dont une large part revient aux étangs qui couvrent près de 500 000 ha et représente environ 1% de la surface globale (Bartout et al., 2012). D'autres études avancent le chiffre de 1 M d'étangs (Scher, 2008). Les intérêts de ces entités sont multiples (loisirs, biodiversité, zone d'atténuation des crues ...). Sources de récréation et de loisirs, de sensibilisation, elles sont également le siège de nombreux processus hydrogéochimiques complexes. De récentes études ont démontré leur rôle dans la séquestration de carbone (Tranvik et al., 2009) et

l'interception et le stockage de polluants. La relation entre bassin versant et étang est forte et toute manifestation à caractère anthropique se répercute directement sur le plan d'eau (envasement, réduction des réserves en eau, substitution des espèces faunistiques et/ou floristiques par des espèces plus résistantes ...).

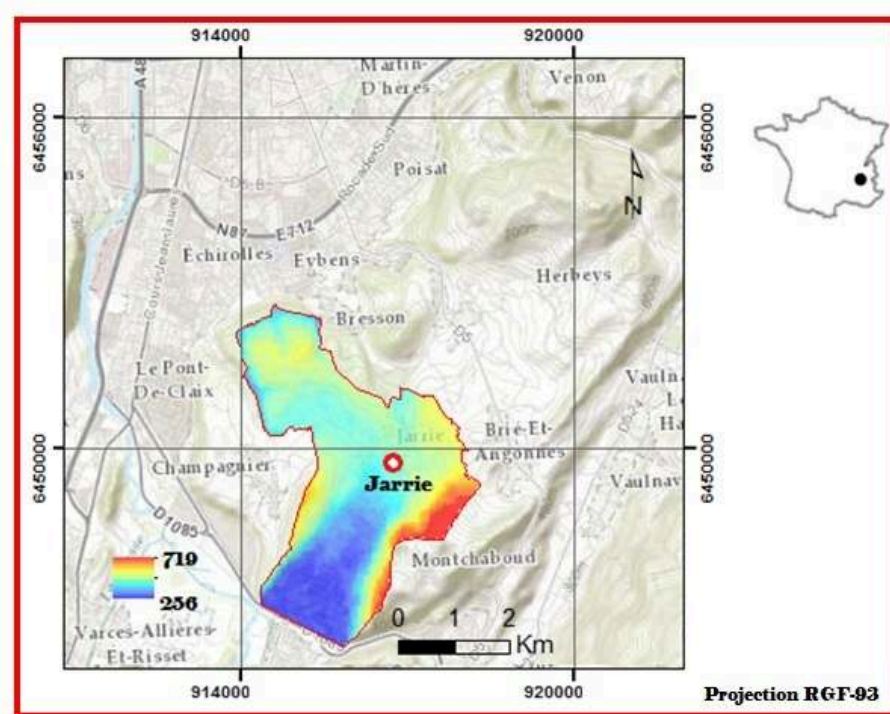
- 2 L'extension urbaine enregistrée ces dernières années dans le bassin grenoblois a été marquée par l'intégration de plusieurs communes, qualifiées jusque là de rurales dans le schéma directeur (agglomération). D'autres communes ont vu leur territoire subir indirectement de profondes mutations à l'image de la commune de Jarrie. Ce processus, entamé depuis près de trente ans, a fortement contribué à la réduction voire à la disparition d'une agriculture très fortement ancrée dans la vallée et sur les plateaux des alentours. Nous assistons depuis à la réduction progressive et effective des petites exploitations et à la transformation de l'espace rural en espace périurbain, voire franchement urbain, mettant en péril de nombreux écosystèmes (Lac du Luitel, Sources du Dhuy et de la Reine ...). Ce déséquilibre se répercute globalement sur le fonctionnement général de ces systèmes et plus particulièrement sur la dynamique hydrosédimentaire conduisant le plus souvent à l'envasement progressif de ces plans d'eau et leur assèchement. L'élaboration de stratégies urbaines sur le moyen et le long termes, par l'intégration d'espaces proches ayant des caractéristiques morphologiques favorables (pente faible, altitude moyenne n'excédant pas 300-400 m, facilement accessibles, etc), a conduit à l'émergence d'un rapport de force entre une agriculture périurbaine (ou de cités) très fragile et une politique urbaine de plus en plus consommatrice d'espace. L'accroissement des surfaces urbanisées a engendré une profonde modification des caractéristiques hydrologiques des bassins versants par action directe sur les paramètres hydrodynamiques (imperméabilisation des sols, augmentation du ruissellement, érosion de plus en plus forte facilitée par des pratiques agricoles peu adaptées, etc.). Ce phénomène est devenu l'une des principales sources de préoccupation des pouvoirs publics et des usagers soucieux de préserver leur unique espace de récréation et de loisirs. Plusieurs études ont alerté les pouvoirs publics sur la situation des étangs (CEMAGREF, 1989 ; Guigue, 2000). C'est ainsi que l'application effective des lois sur l'eau (1964, 1992, LEMA 2006) et les amendements qui se sont succédé marquent un point de convergence des actions entamées dont le principal objectif est la réhabilitation et la préservation de la ressource en eau et des milieux.
- 3 La commune de Jarrie montre des signes clairs d'une urbanisation croissante très fortement induite par l'expansion de l'agglomération grenobloise. Cette urbanisation est concentrée sur la partie haute de la commune dont la morphologie a été façonnée par les épisodes glaciaires du Quaternaire.
- 4 Cette tendance a été observée dès les années 60-70 (David *et al.*, 1979) et se poursuit actuellement à un rythme soutenu (Ministère de l'agriculture, 1970, 1980 ; DDAF, 2001). Les quartiers de Haute-Jarrie enregistrent depuis une dizaine d'années, une perte de surfaces agricoles au détriment de surfaces construites et l'extinction progressive des petites exploitations agricoles axées sur la culture de produits oléagineux. Cette substitution progressive a un impact direct sur le milieu naturel et en particulier sur la Réserve Naturelle de Haute-Jarrie qui renferme l'étang de Jarrie. La teneur en eau des sols à proximité de l'étang a incité les exploitants agricoles à se concentrer dans ces secteurs à la recherche de nouveaux espaces propices. Cette dynamique agricole a été accompagnée par la hausse des apports solides conduisant à l'envasement de l'étang. Face à cette situation, des curages à répétition se sont succédé sans évacuation donnant

lieu (au final) à un double résultat : réduction de l'espace en eau de l'étang et développement d'une végétation constituée essentiellement de bois dur (chêne, peupliers) sur les dépôts sédimentaires extraits de l'étang. Face à ce constat, une réflexion a été menée avec les collectivités locales concernées sur la base des résultats d'une mission scientifique qui nous a été confiée. Un double objectif a été visé par ces investigations : 1) l'analyse de la dynamique hydrologique et sédimentaire de l'étang et de son bassin versant et 2) la proposition de solutions afin de réduire les apports solides issus des versants pouvant conduire à court terme au comblement de l'étang. Le papier tente de cerner les interactions entre activités agricoles, urbanisation et fonctionnement de l'hydrosystème et la caractérisation de la dynamique hydrosédimentaire, cause de l'atterrissement de l'étang. Une série d'actions seront proposées pour réduire cette pression sur le court terme.

II - Cadre géographique et économique de Haute-Jarrie

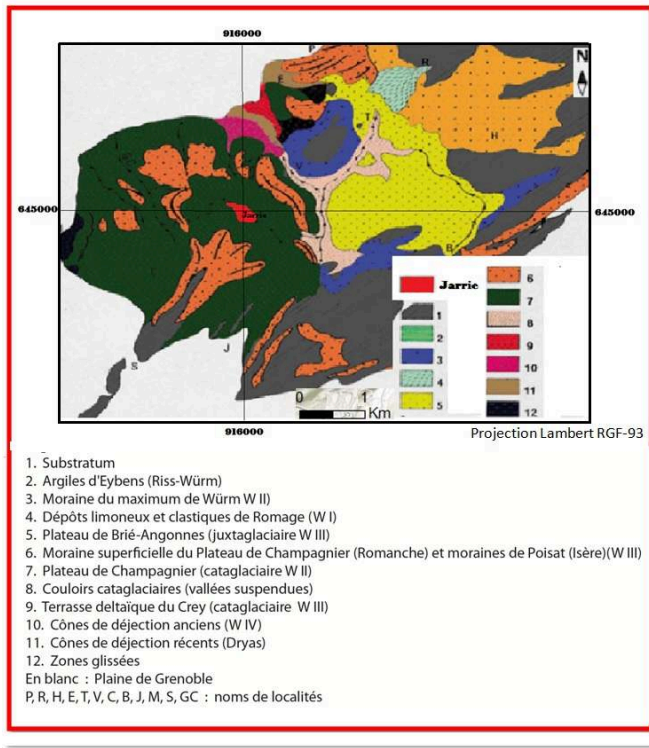
- 5 La commune de Jarrie est à une vingtaine de kilomètres à l'est de la ville de Grenoble (Figure 1).

Figure 1 : Cadre géographique de la Réserve Naturelle de Haute-Jarrie



- 6 Localisée sur les contreforts du massif de Belledonne, elle appartient aux communes à caractère rural de la périphérie de l'agglomération grenobloise, marquée par une importante activité agricole jusque dans les années 80. Le secteur de Haute-Jarrie se distingue de la partie basse de la commune par son relief légèrement escarpé en forme de plateau perché façonné par les mouvements des masses glaciaires du Quaternaire (Würm) (Figure 2). Durant cette période, le plateau a été presque entièrement submergé par les glaciers d'une épaisseur de plus de 1100 mètres de hauteur.

Figure 2 : Cadre géomorphologique et structural du secteur de Jarrie (d'après Monjuvent, 1979)



- 7 Le plateau est constitué d'un substratum calcaire marneux du Lias que l'on retrouve sur les collines de Montchaboud, Montavie et Champagnier. Il est recouvert par des alluvions fluvio-glaciaires au centre faisant partie du cortège morainique. (Figure 2). On distingue d'abord un arc principal en demi-cercle (vallum morainique) passant par le plateau de Haute-Jarrie : c'est l'arc externe frontal relayés à l'extérieur par trois arcs échancrés par endroit au niveau du Louvarou, de Haute-Jarrie, et des Chaberts. Ces arcs sont formés non pas de blocs erratiques, mais d'alluvions fluvio-glaciaires remaniées par le glacier local ; ils correspondraient à des moraines de retrait. La juxtaposition de plusieurs unités géologiques entrecoupées de failles traduit une complexité hydrogéologique où les circulations d'eau souterraine sont nombreuses (Sarrot-Reynaud, 1972). En effet, plusieurs sources de versant jalonnent les zones de rupture de pente constituées par les formations calcaires du Lias et forment une source d'alimentation supplémentaire pour l'étang en période de hautes eaux.
- 8 Sur le plan économique, l'installation d'une industrie pétrochimique dans la partie basse de la commune, a donné naissance à un pôle industriel conséquent dans le secteur et surtout à un regain d'intérêt pour les populations dont la conséquence directe s'est traduite par la réduction relativement importante des terres agricoles (Tableau 1 & 2). La pression urbaine de la Basse-Jarrie s'est élargie vers les secteurs hauts de la commune induisant la marginalisation du secteur agricole au profit de constructions intégrant progressivement cette zone dans la grande mouvance urbanistique que connaît l'agglomération grenobloise. Les surfaces urbanisées ont augmenté au détriment des surfaces agricoles scindant le bassin versant en une partie amont occupée à 70% par des habitations et une partie aval très fortement agricole.

Tableau 1 : Evolution de l'activité agricole dans la commune de Haute-Jarrie

	Jarrie (1970)	Jarrie 1980
Exploitations	49	36
Travailleurs participants à l'activité agricole	126	71
Dont à temps plein	32	0
Total	201	107

Tableau 2 : Répartition des principales cultures sur le plateau de Haute-Jarrie

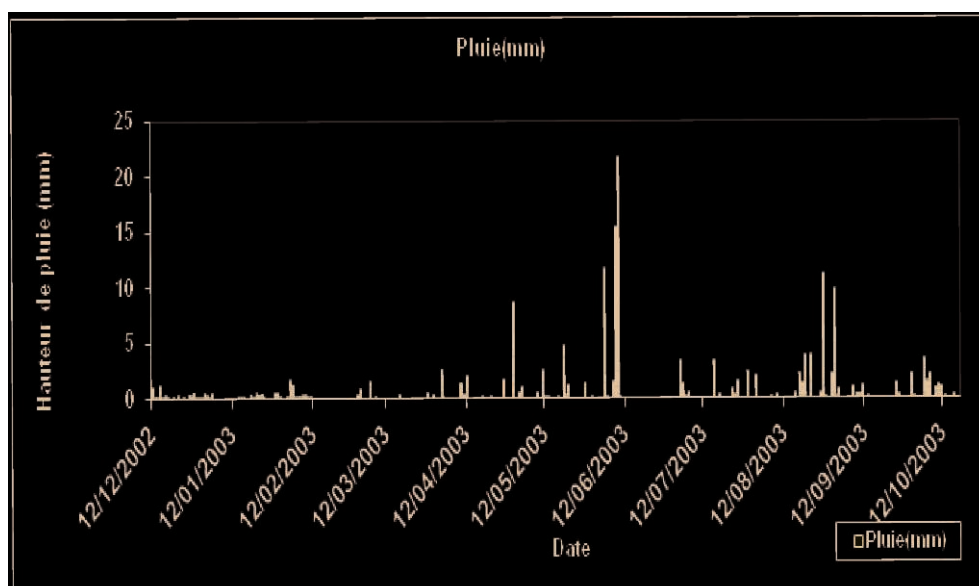
Surface (ha)	Année 1914	Année 1998
Blé	220	43
Orge	4	20
Mais	3	68
Colza	0	14
Total	227	148

- 9 Cette tendance, observée dans de nombreuses communes iséroises du pourtour grenoblois, marque la fin d'un processus économique axé essentiellement sur l'agriculture et l'intégration des différents espaces dits ruraux dans une réelle stratégie urbaine.
- 10 La commune de Jarrie d'une superficie de 1326 ha est de forme allongée selon un axe nord-sud présentant un relief légèrement escarpé dans son secteur central et plat au nord et au sud (Figure 1). La disparité morphologique et les spécificités agricoles, mettent en évidence un plateau à dominante agricole au nord (Haute-Jarrie) et un secteur sud à forte concentration industrielle (pétrochimique). La réduction des surfaces agricoles utilisées est passée de 227 ha en 1914 à 148 ha en 1998 (David et al., 1979). Cette baisse de près de 50% a été accompagnée par une forte progression urbaine et surtout la concentration des espaces agricoles autour de la réserve naturelle actuelle. La forme en auge et allongée du bassin versant de Haute-Jarrie (indice de compacité de Gravelius = 1,3) et l'importante humidité des sols sont les principaux facteurs qui ont amplement contribué à l'installation d'une agriculture orientée vers la maïsiculture et les oléagineux. Les études hydrologiques et hydrogéologiques menées jusque là sont toutes issues d'une réflexion et d'une insistance émanant de la communauté agricole dans un souci d'ancrage d'une agriculture intensive (Sarrot-Reynaud, 1972). Néanmoins les résultats obtenus vont à l'encontre de ces demandes en raison de la faible extension des aquifères du plateau et de leur faible productivité en particulier au centre de la cuvette du bassin versant (formation à caractère sablo-argileux).

III – Aperçu climatique et hydrologique du Plateau de Haute-Jarrie

- 11 Une double analyse à la fois hydroclimatique (bilan hydrologique) et érosive a été menée dans le but d'estimer les apports sédimentaires depuis les versants et comprendre la dynamique du système. Elle permet donc de mieux cerner les épisodes à forte production et les facteurs qui sont à la base des processus. L'installation d'une station climatique au centre du bassin (ferme de Bernard) de 2002 à 2003 pour le suivi des pluies, de la température et de l'humidité donne des résultats fort peu différents de ceux enregistrés dans la plaine du Grésivaudan (station Météo France de Montbonnot, altitude : 250 m) en dépit de la courte période de mesure (Figure 3). Une comparaison avec les données issues des stations de Montbonnot a permis de vérifier l'exactitude des résultats. Plusieurs constats émergent de ces résultats.

Figure 3 : Précipitations journalières sur le plateau de Haute-Jarrie (2002-2003)



- 12 Le régime climatique de cette partie des Alpes est de type tempéré chaud et l'essentiel des apports pluvieux se répartit entre les saisons printanière et automnale qui contribuent à hauteur de 60% dans l'alimentation du plan d'eau. Le reste provient des épaisses couches de neige qui couvrent le plateau sur toute la période hiver-printemps et dont une partie non négligeable alimente l'étang par ruissellement durant la période mars - mai.
- 13 La comparaison des données collectées à la station de Haute-Jarrie avec celles de la plaine du Grésivaudan montre que l'année 2003 est une année relativement sèche marquée par des épisodes orageux de courte durée et d'intensité variant en moyenne autour de 10 mm/h. Les épisodes des mois de novembre 2002 et de juin 2003 considérés comme exceptionnels se sont distingués par des intensités atteignant les 20 mm/h.

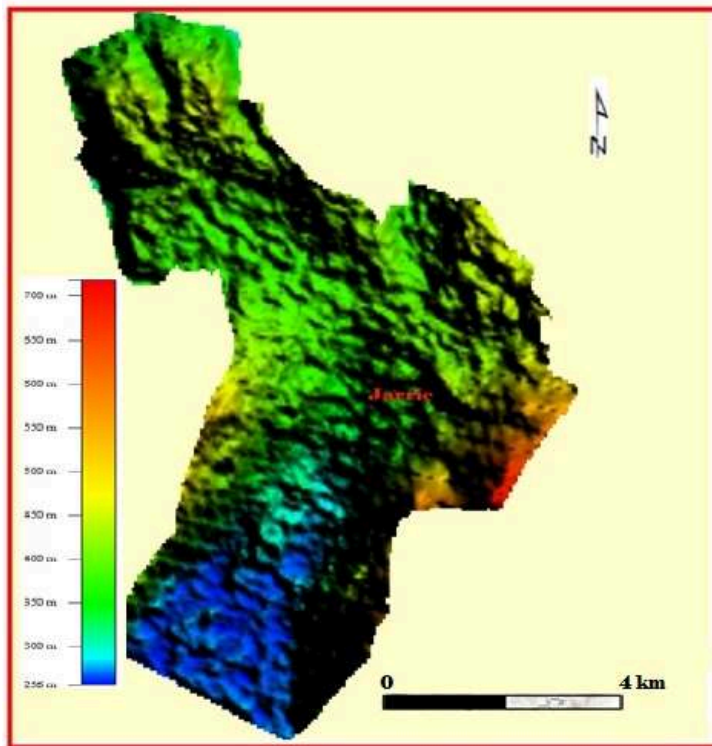
IV - Caractéristiques géométriques et hydrologiques du bassin versant et de l'étang

- 14 Le bassin versant du plateau de Haute-Jarrie forme une cuvette à fond plat allongée selon un axe nord-ouest - sud-est (Figure 1. Il est encadré par des versants à pente relativement forte au nord (10 – 15°) encadré par la barre calcaire du Lias et faible au sud (<5°). Sa partie aval est occupée par l'étang de Haute-Jarrie d'une superficie de 9 ha dont près du tiers est comblé par les sédiments. La profondeur moyenne de l'étang est de 1,8 m et il est deux fois plus long que large. Occupé pour une large part par une végétation constituée essentiellement de chênes, le bassin se distingue par la présence de plusieurs cuvettes dont la plus importante se trouve à l'entrée de l'étang (partie est). Dédié essentiellement à la récréation et aux loisirs, le site se distingue par sa richesse faunistique. La forme en gouttière du bassin versant contribue à l'accumulation des eaux au centre, le long du petit ruisseau d'alimentation du plan d'eau. Les débits enregistrés durant l'année 2002-2003, n'excèdent guère les 2-3 l/s en moyenne à l'entrée de l'étang, ce qui explique partiellement le mode d'alimentation du système et le volume de ses réserves. La présence d'une nappe alluviale sous-jacente constituée de sables fins à moyens contribue partiellement à l'alimentation et au soutien des réserves du plan d'eau durant la période d'étiage.

A - Analyse de la perméabilité des sols

- 15 La nature sédimentologique des formations superficielles (fluvio-glaciaire) des versants favorise l'infiltration d'une quantité non négligeable des eaux de pluie sur les bordures du bassin versant provenant pour une partie des formations géologiques calcaires du Lias, augmentant ainsi le volume des réserves souterraines et la montée rapide du niveau de la nappe au centre du bassin donnant lieu à une zone saturée (zone contributive) dès le début des évènements pluvieux. Ce processus favorise la naissance rapide du ruissellement et le transfert des flux sédimentaires issus principalement des terres agricoles du versant sud vers la cuvette centrale du bassin versant pour finir dans l'étang. Afin de quantifier les volumes d'eau infiltrés, plusieurs campagnes de mesure de l'infiltration ont été menées. Les points de mesure ont été répartis sur l'ensemble du bassin versant afin d'apprécier avec précision cette composante du bilan hydrologique. Nous avons eu recours à une instrumentation fondée sur l'application de la méthode TRIMS (Triple Ring Infiltrometer at Multiple Suction) (Vanderveare, 1995 ; Angulo-Jaramillo *et al.*, 2000) (figure 4a). Les résultats donnent des valeurs oscillant entre un maximum de 6×10^{-3} mm/s et un minimum de $4,5 \times 10^{-3}$ mm/s (figure 4b et tableau 3).

Figure 4 : Estimation de l'infiltration à l'aide du TRIMS



- 16 Ils confirment la nature moyennement perméable des formations en place en particulier sur les versants où la présence d'une formation sableuse (sable moyen à fin) à passées caillouteuses augmente l'infiltration. Celle-ci se réduit considérablement au centre en raison de la présence d'une formation peu perméable constituée essentiellement de sables fins et d'argiles.
- 17 Le tableau 3 affiche les paramètres de calcul utilisés pour la détermination de la conductivité hydraulique proche de la saturation avec une taille de disque d'infiltromètre S. Le facteur Phi correspond à la matrice du flux potentiel et D la diffusivité par capillarité qui est la différence entre theta i et theta f. Les calculs ont été faits à l'aide d'une macro excel développée au sein du LTHE (Laboratoire des Transferts Hydraulique et Environnement de l'université Grenoble 1).
- 18 La valeur minimale ($4,5 \times 10^{-3}$ mm/s) a été prise pour l'estimation des volumes infiltrés.
- 19 Un essai de pompage effectué dans un puits de faible profondeur situé au centre du bassin versant, à 300 mètres de l'étang, confirme la faible perméabilité des formations de surface (Figure 5).

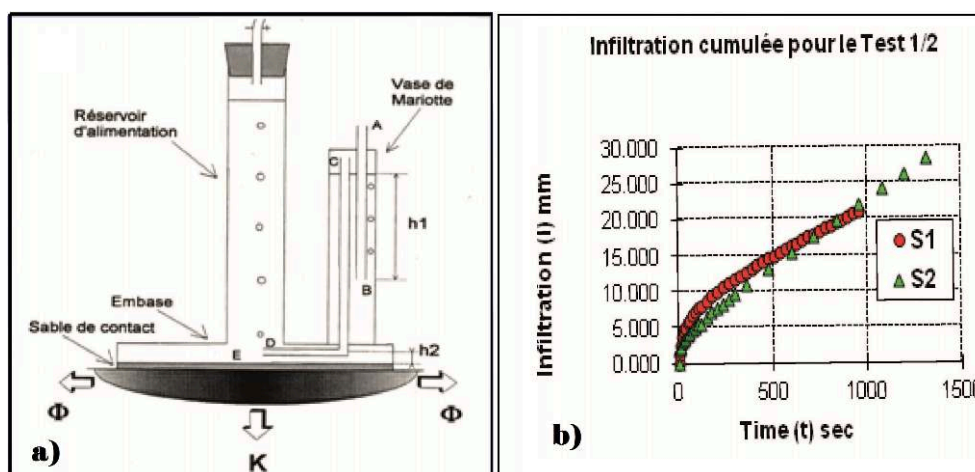
Tableau 3 : Estimation des principaux paramètres d'infiltration par la méthode TRIMS

K=	4, 40E-03	mm/sec
Phi=	0, 21030329	
theta i =	0, 078	
theta f =	0, 334194	

D theta =	0, 256	
S^2 =	0, 098	
S =	0, 313	mm*sec-1/2

- 20 En effet, la courbe de descente du niveau piézométrique montre une pente relativement forte ; elle confirme par cela la faible transmissivité et par conséquent perméabilité de l'aquifère, faisant des pays du secteur des réservoirs à usage limité (jardinage pour l'essentiel). A l'inverse la courbe de montée affiche une reconstitution des réserves relativement lente confirmant cette faible perméabilité (de l'ordre de $3-4 \times 10^{-5}$ mm/s) de l'aquifère. Ces faibles valeurs de perméabilité sont caractéristiques des formations sableuses associées à des matériaux fins. Le temps de montée est supérieur à 16 h. Ceci explique pour une large part la prépondérance relative des écoulements de surface sur les écoulements souterrains. Ces derniers ne représentent au final qu'une faible part des apports. Le soutien estival peut être considéré dans ce cas comme négligeable laissant l'étang subir les effets de l'évaporation directe et de l'évapotranspiration provoquée essentiellement par les arbres ayant pris place sur les dépôts de curage stockés au sein de l'étang.

Figure 5 : Résultat de l'essai du suivi piézométrique de la nappe superficielle



B - Analyse des caractéristiques physico-chimiques des eaux et de la turbidité à l'entrée de l'étang

- 21 Le suivi régulier des principaux paramètres physico-chimiques et sédimentaires à l'entrée de l'étang sur la période 2001-2004 a permis d'évaluer la qualité des eaux et la turbidité pour plusieurs événements climatiques à caractère orageux relativement semblables. Nous avons sélectionné l'épisode orageux du mois de juin 2003 dont les résultats sont consignés dans le tableau 4.

Tableau 4 : résultats hydroclimatiques, physico-chimiques et sédimentaires à l'entrée de l'étang de Haute-Jarrie pour l'épisode orageux du 4 juin 2003.

DATE	Heure	Pluie/h (mm)	R(mm)	Niveau (cm)	C (0.5) (μS/cm)	C(1.5) (μS/cm)	Turbidité (mg/l)
04/06/2003	1300	3.564	0	151.1	335	367	6.14
04/06/2003	1400	12.87	0.87	151.4	340	367	14.1
04/06/2003	1500	12.672	0.672	151.5	329	366	43.5
04/06/2003	1600	20.79	8.79	151.6	329	365	26.2
04/06/2003	1700	2.178	0	151.7	330	365	48.2
04/06/2003	1800	1.386	0	152	335	365	22.8
04/06/2003	1900	1.98	0	152.5	338	365	16.9
04/06/2003	2000	2.178	0	153	338	364	17.9

Avec :

R : ruissellement (mm)

C : conductivité électrique (μS/cm)

- 22 Les eaux sont relativement peu chargées en matière dissoute donnant des conductivités fluctuant entre un minimum de 330 μS/cm et un maximum de 367 durant les périodes les plus pluvieuses. Ces valeurs sont relativement peu variables dans le temps ; elles gravitent autour d'une moyenne de 340 μS/cm sur tout le plateau de Haute-Jarrie. Inversement, ce sont les sédiments fins (MES) qui forment le plus gros des transferts solides donnant des valeurs de turbidité pouvant atteindre les 48,2 mg/l. Les épisodes orageux marqués par des intensités pouvant atteindre, voire dépasser les 20 mm/h donnent les plus fortes turbidités indiquant par cela la désagrégation des sols et le transport de la charge fine, phénomène observé durant l'épisode du 06 novembre 2003. En dépit des intensités parfois conséquentes, la variation maximale du niveau d'eau de l'étang ne dépasse guère 210 cm. Les volumes d'eau en excès sont rapidement évacués vers les zones humides situés plus en aval principalement au printemps durant la fusion nivale et en automne.

C - Analyse des battements du plan d'eau : une montée des eaux rapide et une décharge lente

- 23 L'installation d'une station de mesures automatique (Campbell CR10X : capteurs de niveau, conductivité, température) à l'entrée du plan d'eau durant la période 2002-2003 couplée à des mesures manuelles effectuées durant toute la période 2001- 2004 a permis de cerner la dynamique hydrologique et hydrogéologique du bassin versant, en dépit de la courte période de mesure automatique. Les apports en eau se produisent au printemps durant la période de fonte des neiges et à l'automne lors des épisodes orageux. L'essentiel des réserves en eau de l'étang est reconstitué durant ces deux

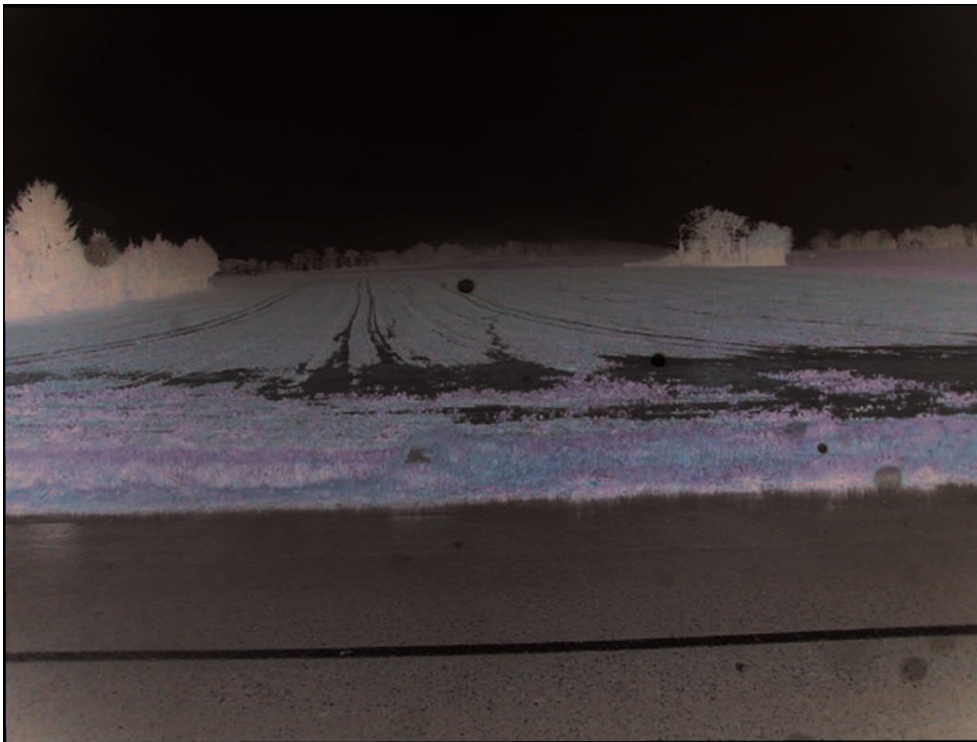
saisons. Le mois de novembre 2002 a été marqué par des épisodes orageux de fortes intensités. Ainsi l'évènement orageux du 06/11/2002, d'une intensité égale à 6 mm/h a donné lieu à une lame d'eau totale de 36 mm sur les 6 h. La hauteur maximale atteinte le 06/11/2002 est de 210 cm. L'analyse de plusieurs hydrogrammes de crues donne un temps de réponse affichant la nette dominance du ruissellement sur les autres composantes de l'écoulement et un temps de montée moyen des eaux de l'ordre de 3 jours. La présence d'une croûte de battance et surtout les sillons de labours, orientés dans le sens de la pente, favorisent les circulations de surface dès les premiers instants de pluie et la concentration rapide des eaux dans la cuvette centrale du bassin versant donnant naissance à une nappe d'eau apparente en surface chargée de sédiments (MES).

- 24 Il n'est pas exclu qu'une part de cette recharge provienne de la nappe perchée du plateau qui surplombe le bassin versant. Cependant et au vu des précipitations enregistrées, les apports supplémentaires d'eau durant le reste de l'année peuvent être considérés comme faibles, comparativement aux phases automnales qui se distinguent par des évènements orageux de courte durée et de forte intensité. En effet, la collecte des eaux de ruissellement et leur évacuation par les canaux d'eau pluviale ainsi que les pompages pratiqués épisodiquement par certains habitants principalement dans la partie centrale du bassin versant (besoins d'arrosage) grâce aux nombreux puits, limitent les apports et réduisent de fait l'alimentation du plan d'eau. De même que l'importante extension du village de Haute-Jarrie (20% de bâti supplémentaire en 10 ans) augmente les surfaces imperméabilisées et par conséquent le ruissellement et réduit considérablement les volumes infiltrés. Les volumes d'eau ruisselés, généralement sur de courtes périodes orageuses, contribuent à la mise en mouvement de particules sédimentaires de différentes tailles. Les sédiments fins franchissent les obstacles (fossés et routes) arrivent au plan d'eau soit directement le long des principaux axes de ruissellement soit via les canaux d'évacuation des eaux pluviales dont certains sont aménagés par les services de la ville pour évacuer l'excédant des eaux de pluies et limiter l'inondation des habitations situés à la limite de l'étang.

V - Transport solide : production et destination

- 25 Les formations sablo-argileuses des sols agricoles, peu perméables et la présence de croûtes de battance à la fin de l'été favorisent largement les écoulements de surface (ruissellement) à caractère diffus. Cette dynamique hydrologique est largement perturbée par les activités agricoles (labours) couplée à des pentes relativement plus importantes aux abords de la cuvette centrale. Ces pratiques agricoles modifient le fonctionnement hydrologique du bassin et favorisent les écoulements concentrés en bout de parcelles cultivées. Elle se traduit par la production d'un flux de matière en suspension conséquent dont une large part finit par rejoindre le plan d'eau (Photo 1).

Photo 1 : Ruissellement rapide (hortonien) engendré par la crue du 06 novembre 2002



- 26 Les fortes pluies enregistrées à l'automne 2002 et au printemps de 2003 se sont soldées par des quantités de matière dépassant 30 g/l (06 juin 2003) (récupération sur des filtres Ø 45 µm à l'aide d'une pompe à vide puis séchage pendant 24 h dans une étuve à une température de 60°C). Cette production de matière n'est pas permanente ; elle est essentiellement concentrée sur les périodes orageuses.
- 27 La détermination de la quantité de matière en suspension (MES) qui arrive au plan d'eau durant cet épisode pluvieux, a permis d'apprécier l'intensité des apports et le degré d'envasement. Pour les seules précipitations du 06 juin 2003 et pour une lame ruisselée d'environ 10 mm, près de 1,1 t en 8 heures sont arrivés à l'étang (Tableau 5). A l'échelle du bassin versant, la production de matière varie autour de 36 kg/km²/h en moyenne. Elle ne peut cependant pas être considérée comme homogène et seul les parcelles agricoles du voisinage immédiat de l'étang à caractère agricole fourni l'essentiel des apports.

Tableau 5 : Estimation des volumes ruisselés et des quantités de sédiments arrivant à l'étang, pour l'épisode pluvieux du 6 juin 2003

Précipitations - Total	57,618	<i>mm</i>
Infiltration	12	<i>mm/h</i>
Ruissellement	10,332	<i>mm</i>
Volum e ruisselé	36256	<i>m3</i>
MES	1087	<i>kg en 8h</i>
MES	135,9	<i>kg/h</i>

- 28 La figure 6 confirme la hausse des apports durant ces évènements climatiques très ponctuels. L'analyse granulométrique des échantillons prélevés respectivement en bout des parcelles labourées et dans l'étang montre la dominance de trois classes : les sables

grossiers qui forment de petits deltas en bout de sillon, des sables moyens à fins qui comblent les fossés d'évacuation de crue et des sables très fins, voire des silts qui finissent par rejoindre l'étang (Figure 7). Un granoclasement grossier - fin d'amont en aval traduit la dissipation d'énergie le long de la ligne de grande pente. Ce phénomène se traduit également par une hétérogénéité des cultures en particulier de maïs donnant lieu à des zones végétales relativement denses en bas de pente et très clairsemées en haut de parcelle. Le lessivage des sols durant les périodes pluvieuses agit également sur la production agricole.

- 29 La fraction fine est pour une large part stockée au fond du plan d'eau conduisant à son envasement progressif et favorisant l'installation d'une végétation ligneuse (hêtre, saules, ...) ainsi que dans les canaux d'évacuation qui sont régulièrement curés en raison de la quantité de matière solide qui s'y dépose.

Figure 6 : Evolution des débits et de la turbidité à l'entrée de l'étang (2002-2003)

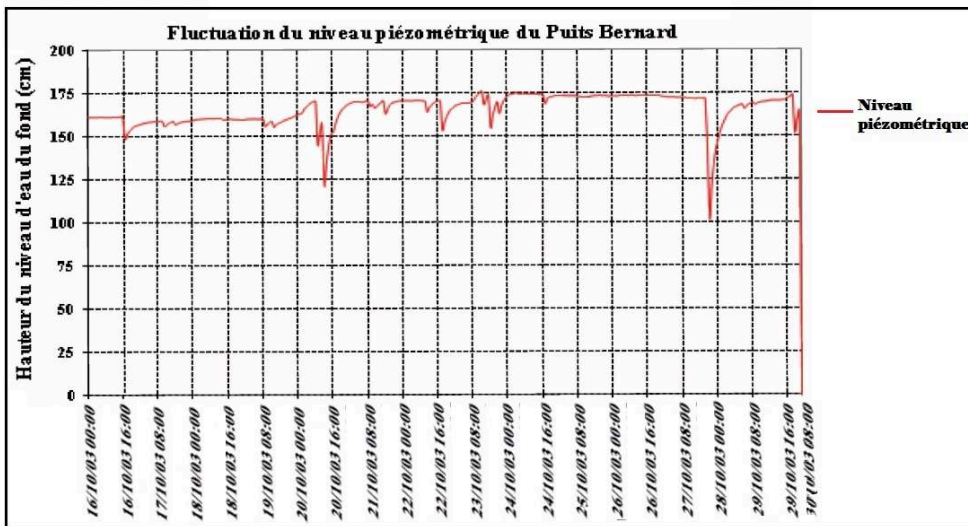
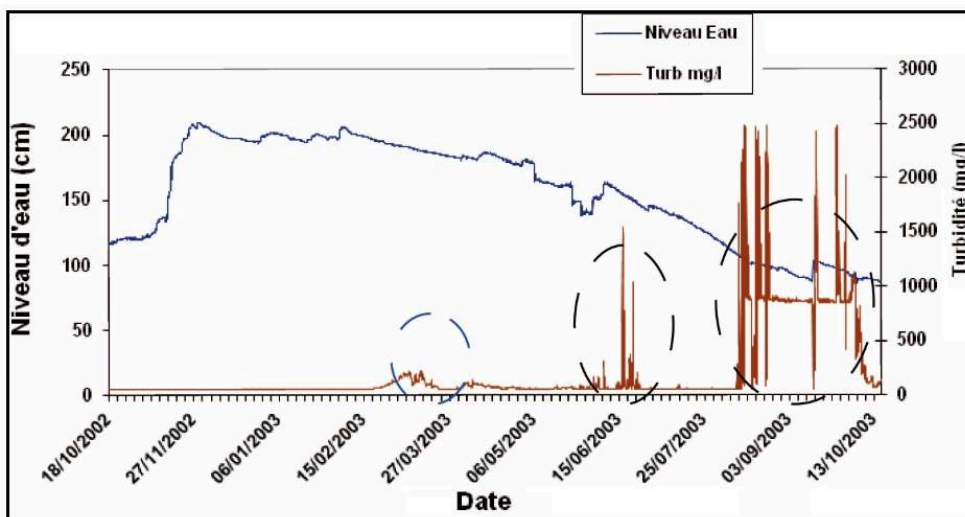


Figure 7 : Résultat de l'analyse granulométrique effectuée sur trois échantillons



- 30 Une seconde part de ces apports est souvent véhiculée par les eaux de fonte en particulier durant la saison printanière (mars-avril) qui se distingue par des flux d'eau conséquents. Ces flux alimentent principalement la frange souterraine de la zone centrale du bassin versant ; celle-ci constitue un réservoir de soutien hydrologique permanent de l'étang. Ainsi et comme nous pouvons le constater sur la figure 7, le premier épisode est lié à des précipitations neigeuses du mois de mars dont l'épaisseur dépasse 40 cm sur des terres fraîchement labourées. La fusion nivale s'est traduite par une production importante de matière sédimentaire provenant des terres agricoles limitrophes directement connectées au plan d'eau.
- 31 L'activité agricole concentrée essentiellement sur le pourtour de l'étang constitue le principal facteur de production et d'apport de sédiments.

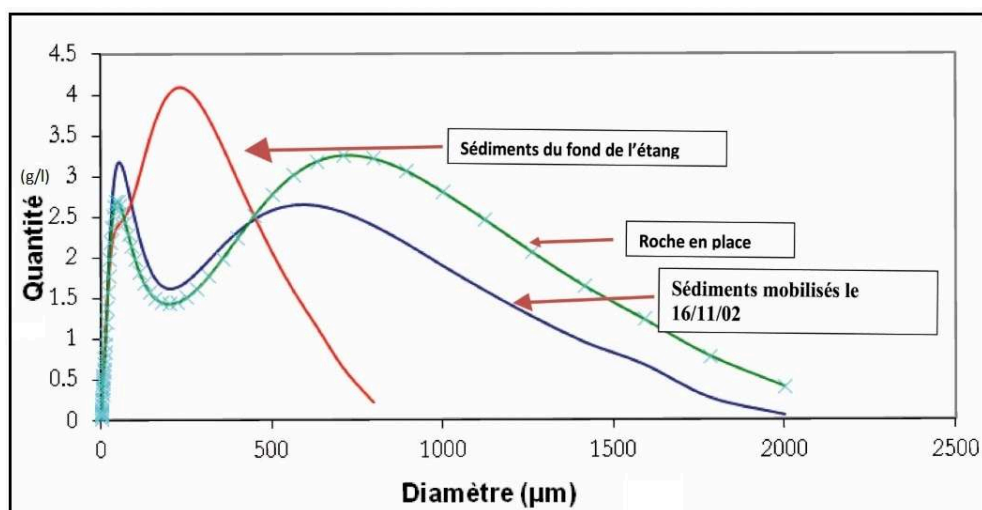
VI - Conclusion et perspectives d'aménagement

- 32 L'étang de Haute-Jarrie subit les contrecoups de l'expansion urbaine de l'agglomération grenobloise enregistrée depuis près de trente années et dont les répercussions s'étendent jusqu'aux villes et villages voisins (Jarrie, Saint-Paul de Varce, Monbonnot, ...). La rareté du foncier et la forte demande enregistrée dès le début des années 1980 s'est traduite par le déclin de l'agriculture de montagne souvent cantonnée dans des espaces relativement plats, situés sur des formations géologiques favorables (moraines) et relativement fertiles. Le taux d'humidité, critère privilégié des agriculteurs, est un facteur qui favorise l'installation de ces activités aux abords des rivières et des plans d'eau. L'étang de Haute-Jarrie regroupe l'essentiel de ces facteurs et les pratiques agricoles locales l'ont rendu très vulnérables sur les plans quantitatif et qualitatif.
- 33 Le climat local à caractère tempéré chaud marqué par des épisodes pluvieux à forte intensité contribue au détachement de particules fines principalement des parcelles agricoles et par conséquent conduisant au comblement progressif de l'étang et à la réduction de ses réserves en eau en particulier pendant la période estivale. L'imperméabilisation des sols, due en grande partie à l'urbanisation rapide de ce secteur de la commune, couplée aux nombreux canaux d'évacuation des eaux pluviales réduisent considérablement les apports liquides et par conséquent les réserves en eau de l'étang qui rentre dans une phase de carence durant toute la période estivale. Cette situation se traduit par l'arrêt des écoulements à l'exutoire et par conséquent l'alimentation des zones humides situées en aval.
- 34 A l'inverse et durant les périodes orageuses, les apports conséquents entraînent vers l'étang une partie de la fraction fine des sédiments détachés des terres agricoles voisines aboutissant progressivement à son comblement. Face à cette situation, de nombreuses actions de remédiation ont été entreprises sur l'étang dont les résultats n'ont fait qu'accentuer la dégradation de l'état du plan d'eau. Les curages répétés de l'étang et le dépôt des sédiments extraits au sein même de celui-ci a favorisé l'installation d'une végétation dense formée essentiellement de chênes et de feuillus. Celle-ci participe activement à l'extraction d'une quantité non négligeable d'eau par évapotranspiration et retient une autre partie par interception.
- 35 Les propositions faites vont dans le sens de l'amélioration des pratiques agricoles par la sensibilisation des agriculteurs (sélection des périodes de labour, modification du sens du labour, utilisation de cultures peu consommatrice d'eau), accompagnée de

l'installation d'un canal de décantation en bas de pente et autour des parcelles agricoles voisines de l'étang pour collecter l'essentiel des sédiments produits. Cette première série de propositions a été accompagnée par des mesures de curage contrôlées des canaux situés à l'amont et le long de l'axe central de l'étang et l'élimination des réseaux secondaires creusés pour l'évacuation des excédants d'eau des épisodes pluvieux. Une seconde phase sera consacrée à l'extraction d'une partie des anciens dépôts issus des différents curages et qui occupent près des 2/3 de l'étang avec l'élimination partielle des arbres situés au centre du plan d'eau pour favoriser l'implantation d'une végétation hygrophile plus adaptée à ce type de milieu.

- 36 Nous proposons donc le schéma suivant pour les aménagements prioritaires à effectuer afin de protéger le plan d'eau (Figure 8).

Figure 8 : Schéma d'aménagement prioritaire pour la protection du plan d'eau



BIBLIOGRAPHY

Angulo-Jaramillo R, Vandervaere J-P., Roulier S., Thony J-L., Gaudet J-P., Vauclin M., 2000, « Field measurement of soil surface hydraulic properties by disc and ring infiltrometers, A review and recent developments », *Soil & Tillage Research* 55, p.1-29.

Bartout P., Touchart L., 2012, « L'inventaire des plans d'eau français : outil d'une meilleure gestion des eaux de surface », *Ann. Géo. Armand Colin*, n° 691, p. 266-289,

CEMAGREF, 1989, « Etude de réhabilitation et de valorisation écologique et paysagère de l'étang de Jarrie », Rapport, 46 p.

David J., Freschi L., Guérin J.P., Gumuchian H., 1979, « Problématique et méthodes d'analyse de la rurbanisation. Le plateau de Champagnier (Isère) », Grenoble, Institut de Géographie Alpine, 250 p.

- DDAF Grenoble, 2001, « Système d'information territorial Belvédère. Extraits choisis pour l'Atlas 2001 », document interne Grenoble 2001, 120 p.
- Guigue A, 2000, « Réserve naturelle de l'étang de Haute-Jarrie : plan de gestion- S. I », document interne, 2000, p. 93.
- Ministère de l'agriculture, 1970, « Résultats du recensement général de l'agriculture 1970-1971 Isère 38 », 116 p.
- Ministère de l'agriculture, 1980, « Recensement général de l'agriculture 1979 et 1980 : inventaires : communaux, cantonaux et par région agricole (résultats préliminaires), Isère 38 », 83 p.
- Monjuvent G., 1979, « Le Drac, morphologie, stratigraphie et chronologie quaternaires d'un bassin alpin. Géomorphologie ». Thèse de Doctorat Université Paris-Diderot, 431 p., 192 figures.
- Robert M., 1996, « Le sol, interface dans l'environnement, ressource pour le développement », Paris, Masson 1996, p 105-193.
- Sarrot-Reynaud J., 1972, « Hydrologie du massif de Chamrousse », *Revue de Géographie Alpine*, n°60. p.445 - 452
- Scher O., 2008, « *The French pondscape, state of the art* », 3rd European pond conservation workshop, Valancia. Spain. 14-16 th may 2008.
- Tranvik L.J, Downing J.A, 2009, « Lakes and reservoirs as regulators of carbon cycling and climate », *Limnol. Oceanogr*, Vol. 54, No. 6, part 2, p.2298-2314. Published by the American Society of Limnology and Oceanography, Inc.
- Vanderveare J. -P, (1995), « Caractérisation hydrodynamique du sol in situ par infiltrométrie à disque. Analyse critique des régimes pseudo-permanents, méthodes transitoires et cas des sols encroûtés », Thèse de doctorat Université de Grenoble, 329 p

ABSTRACTS

The rapid development of urban in mountainous areas has certainly been beneficial to humans but harmful to ecosystems and their biodiversity. The recreation areas and ponds have become places of discovery and environmental awareness over time. Faced with demographic pressure recorded over the past thirty years in the main Alpine valleys and gradual urban disappearance, the threat of degradation or even disappearance of the environmental entities has significantly increased. Lakes and ponds are affected by these dynamic changes, which reduce their surface areas and detach them from their hydrologic continuum, thus lead to their extinction. Given this situation, protection initiatives have been launched in response to local needs, in particular under the effects of various laws and directives (Water law of 03 January 1992, LEMA : Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques, 2006, DCE : Directive Cadre sur l'Eau).

Pond Jarrie (Isère, France) is a typical example of the urban dynamics and its impact on the environment. The reduction of farmland on the plateau of Haute-Jarrie as well as the wetlands occupation near the water bodies cause an erosion and significant change in the characteristics of the soil and more widely the hydro-sedimentary dynamic. The intensive rainstorms actively contribute to the detachment of fine particles of neighboring farmland and the transfer of fine sediment (<7µm) into the water. It has been lost almost two thirds of its water volume during the last two decades. Faced with this phenomenon, remedial actions (cleaning) have been taken in order to reduce the volume of solid deposits and increase the water reserves.

This study has focused on two objectives: Firstly, the quantification of the components of the water balance and measuring the effects of human activities on the hydro-sedimentary dynamics of the watershed. Secondly, we offer quick solutions to reduce this imbalance by creating a settling channels and an expansion of natural ditches to reduce sediment flows.

L'évolution rapide de la dynamique urbaine dans les secteurs montagneux a certes été bénéfique pour l'homme mais néfaste pour les écosystèmes et leur biodiversité. Véritables espaces de récréation et de loisirs, les étangs ont progressivement acquis le label de lieux de découvertes et de sensibilisation à l'environnement. Face à la pression démographique enregistrée sur les trente dernières années dans les principales vallées alpines et l'extension urbaine engendrée, des menaces sérieuses de dégradation, voire de disparition de ces entités environnementales ont été enregistrées. Les lacs, les étangs et les mares subissent pleinement les contrecoups de cette dynamique ; ils voient leurs espaces se réduire progressivement et se détacher de leur continuum hydrologique suite à des modifications aiguës à caractère anthropique (perturbation du réseau hydrographique, pompages directs dans les aquifères sous-jacents, pratiques agricoles inadaptées,...). Face à ce constat, des actions de protection et de préservation ont été lancées en réponse à des attentes locales et surtout sous l'impulsion des différentes lois et directives qui se sont succédées sur les trente dernières années (loi sur l'eau du 03 janvier. 1992, LEMA : Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques, 2006, DCE : Directive Cadre sur l'Eau,...).

L'étang de Jarrie en Isère est un exemple concret et le témoin direct de cette dynamique urbaine et son impact sur l'environnement. La réduction des espaces agricoles sur le plateau de Haute-Jarrie et l'occupation des secteurs humides proches du plan d'eau favorisent l'érosion et modifient considérablement les caractéristiques des sols et plus largement la dynamique hydrosédimentaire (Robert, 1996). Les épisodes pluvieux à forte intensité contribuent activement au détachement des particules fines ($< 7\mu\text{m}$) des terres agricoles voisines et leur transfert soit par écoulement concentré le long des sillons (labour) soit par écoulement diffus (en nappe) vers le plan d'eau. Celui-ci a perdu près des 2/3 de son volume en eau durant les deux dernières décennies. Face à ce phénomène, des actions de remédiation (curage, fossés de décantation) ont été entreprises pour réduire le volume des dépôts solides et augmenter les réserves hydriques.

L'étude que nous avons réalisée avait un double objectif : 1) quantifier le ruissellement et les volumes sédimentaires associés et la mesure des effets des activités anthropiques sur la dynamique hydrosédimentaire du bassin versant, 2) puis proposer des solutions rapides pour atténuer ce déséquilibre par la création de canaux de décantation et l'élargissement des fossés naturels susceptibles de piéger une partie des flux sédimentaires.

Die schnelle Entwicklung der Bebauung in den Gebirgsregionen ist sicherlich für den Menschen positiv gewesen, aber verheerend für die Ökosysteme und ihre Artenvielfalt. Als richtiggehende Erholungs- und Freizeitgebiete sind Weiher nach und nach ein Inbegriff für Entdeckungen und Umweltbewusstsein geworden. Angesichts des demographischen Drucks, den man in den letzten dreißig Jahren in den größeren Alpentälern beobachten konnte, und der damit einhergehenden Zersiedelung zeigt sich, dass die Qualität dieser Umwelteinheiten ernsthaft bedroht ist beziehungsweise sie sogar verschwinden. Die Seen, Teiche und Weiher sind den negativen Auswirkungen dieser Dynamik ausgesetzt ; ihr Gebiet wird zunehmend reduziert und auf Grund von akuten menschlichen Eingriffen (Störungen der Flusssysteme, direktes Pumpen aus den Grundwasserleitern, unangepasste landwirtschaftliche Praktiken) aus dem hydrologischen Kontinuum gelöst. Dieser Beobachtung stehen Maßnahmen zu Schutz und Erhaltung gegenüber, die auf lokale Initiativen zurückgehen oder aus den verschiedenen Gesetzen und Richtlinien resultieren, die in den letzten dreißig Jahren erlassen wurden (wie die französischen Wassergesetze vom 3. Januar 1992 und von 2006 (LEMA) und die Europäische Wasserrahmenrichtlinie von 2000).

Der Weiher von Jarrie im Département Isère ist ein konkretes Beispiel und ein direkter Zeuge dieser Bebauungsdynamik und ihrer Auswirkung auf die Umwelt. Die Reduzierung der landwirtschaftlich genutzten Flächen auf der Hochebene von Haute-Jarrie und die Besiedelung von Feuchtgebieten nahe des Weihers begünstigen die Erosion und verändern erheblich die Bodeneigenschaften und in weiterem Sinne die Wassersedimentierung (Robert, 1996). Intensive Niederschläge tragen aktiv zur Ablösung feiner Partikel ($< 7\mu\text{m}$) der benachbarten landwirtschaftlichen Flächen sowie zu ihrer Verlagerung bei, die entweder durch konzentrierten Abfluss entlang der Ackerfurchen oder durch diffusen Abfluss (über das Grundwasser) bis zum stehenden Gewässer erfolgt. Dieses hat in den letzten zwei Jahrzehnten zwei Drittel seines Volumens verloren. Angesichts dieses Phänomens wurden verschiedene Maßnahmen ergriffen (Ausbaggern, Sedimentierungsgräben), um das Volumen der Sedimente zu reduzieren und die Wasserreserve zu vergrößern.

Die von uns realisierte Studie hatte ein doppeltes Ziel: 1. den Abfluss und das damit einhergehende Sedimentvolumen zu messen und damit auch die Auswirkungen der menschlichen Eingriffe auf die Wassersedimentierungsdynamik des Niederschlagsgebiets, und daran anschließend 2. schnelle Lösungen vorzuschlagen, um dieses Ungleichgewicht durch die Einrichtung von Dekantierungskanälen und die Verbreiterung von natürlichen Gräben, die einen Teil des Sedimentierungsflusses abfangen können, abzuschwächen.

INDEX

Keywords: pond, watershed, agriculture, suspended matter, hydrology, urbanization, erosion

Schlüsselwörter: Weiher, Niederschlagsgebiet, Landwirtschaft, Schwebstoffe, Hydrologie, Bebauung, Erosion

Mots-clés: étang, bassin versant, agriculture, matière en suspension, hydrologie, urbanisation, érosion

AUTHORS

RACHID NEDJAI

ITP HCS - EA 1210 CEDETE. Université d'Orléans. 10 rue de Tours BP 46527 45 065 Orléans Cedex 2.

NACER N. MESSAOUD

Université de Blida, Algérie

ABDELKRIM BENSAID

ITP HCS - EA 1210 CEDETE. Université d'Orléans. 10 rue de Tours BP 46527 45 065 Orléans Cedex 2.