

Chapitre 10

Les dimensions sociales de l'eau en hydrogéologie à travers la pratique interdisciplinaire

Sylvain Massuel

141

Hydrogéologue, je caractérise l'évolution à long terme des ressources en eau souterraine dans de multiples contextes. Pratiquer l'interdisciplinarité ne m'est pas apparu comme un choix, mais plutôt comme une nécessité, car la nature même de mes travaux de recherche devait faire appel à des regards extérieurs avec lesquels j'ai appris à composer.

Rappelons que les niveaux et les flux d'eau dans les aquifères, tout comme dans les réseaux hydrographiques, sont en ajustements continus, plus ou moins rapides, autour d'un état d'équilibre. De fait, à quelques exceptions près, les observations hydrologiques se font toujours sur des systèmes en transition. Comprendre une situation hydrologique nécessite par conséquent de toujours replacer les observations dans une perspective de temps plus ou moins longue, afin d'identifier les fluctuations et les grandes tendances qui qualifient le caractère dynamique de l'hydrosphère. Sous le terme « évolution », j'entends les variations relatives à la variabilité saisonnière jusqu'aux variations s'étalant sur plusieurs milliers d'années. Lorsque je m'intéresse à ces évolutions, je cherche à comprendre les origines des états observés à un moment donné et à déduire la part des différents déterminants, en identifiant les moteurs des changements d'origine anthropique ou naturelle et les mécanismes en jeu. L'hydrogéologie définit en revanche clairement le concept de ressource en eau souterraine comme la quantité d'eau naturellement sortante d'une nappe ou, en exploitation, comme le débit pompé n'affectant plus la variation du stock d'eau dans l'aquifère (Schoeller, 1962 ; Castany et Margat, 1977). On comprend alors aisément que le concept de ressource en hydrogéologie ne peut être dissocié de celui de réserve, représentant cette variation de stock. Alors que la réserve résulte d'un équilibre entre recharge et décharge sur un temps donné, la ressource est implicitement renouvelable et s'apparente à un flux (en opposition au stock). S'intéresser à l'évolution des ressources en eau revient donc également à comprendre l'évolution de la réserve souterraine. En comparaison avec les eaux de surface, l'évolution des volumes d'eau dans les aquifères est un marqueur extrêmement intégrateur des changements d'origine naturels ou anthropiques, par l'amplitude des réactions et leur étalement dans le temps et dans l'espace (leur inertie). Un fleuve réagira rapidement à des variations climatiques ou environnementales sur son bassin versant, tandis que les niveaux d'eau dans les aquifères pourront être impactés avec plusieurs dizaines d'années de retard et porter les traces de ces changements sur plusieurs dizaines d'années, voire bien au-delà.

Les niveaux d'eau souterraine observés dans le présent sont généralement l'héritage d'une histoire complexe et d'interactions multiples. Mes travaux cherchent à comprendre cet héritage qui permet d'éclairer le passé pour mieux comprendre le présent et envisager les évolutions futures possibles. C'est aussi le moyen de poser différemment certaines questions liées à la gestion de l'eau.

Comprendre et chercher à représenter ces systèmes dans toutes leurs complexités est un enjeu pour les sciences hydrologiques. Les interactions en présence font intervenir des phénomènes physiques mais aussi sociaux. L'eau est source de transformation des sociétés qui en retour transforment cette ressource. Les moteurs des évolutions de la ressource sont donc physiques et sociaux. Se focaliser uniquement sur les processus physiques gouvernant les flux hydriques engendre le risque de rester aveugle à des facteurs expliquant une large part des phénomènes observés. Tenter d'interpréter sous le prisme des sciences hydrologiques certains de ces facteurs est un défi épistémologique fort. Au cours de mon parcours de recherche, une quête de sens parsemée de rencontres et de collaborations scientifiques m'a progressivement conduit à prendre conscience de la réalité de ce défi avant de prétendre y apporter une contribution méthodologique. Cette contribution choisit la voie de la pratique interdisciplinaire s'appuyant sur des méthodes, des connaissances et des regards différents qu'il est impératif de croiser pour être capable de représenter avec la justesse nécessaire les systèmes complexes et leurs évolutions potentielles.

Je m'attache ici à relater cette progression et à montrer en quoi elle représente une contribution disciplinaire pour l'hydrogéologie et, plus généralement, pour les questions ayant trait à la gestion de l'eau. J'interprète d'abord certains de mes premiers travaux de recherche, entrevoyant déjà des relations majeures avec les sociétés, puis je présente les progrès méthodologiques réalisés à travers l'ouverture à d'autres disciplines de plus en plus éloignées. Cela pour parvenir *in fine* à une compréhension plus holistique des situations en lien avec l'évolution des réserves en eau tout en montrant comment ces connaissances améliorent l'appréhension des systèmes hydrologiques et leurs représentations.

LES PRÉMICES : DES ACTIVITÉS HUMAINES QUI « PERTURBENT » LE CYCLE HYDROLOGIQUE NATUREL

« Impact anthropique » et hausse « paradoxale » des réserves souterraines au Sahel : les premiers signes d'une intervention humaine à prendre en compte

Ma première expérience de recherche s'intéressait aux dynamiques hydrologiques en zone sahélienne pour comprendre l'évolution de la ressource en eau souterraine dans un contexte où l'on assistait à des changements environnementaux et climatiques marqués (changements globaux). Il s'agissait de distinguer les effets de la variabilité naturelle des effets anthropiques et climatiques à plus long terme afin d'expliquer, et potentiellement prédire, les évolutions possibles de la ressource.

La zone sahélienne représente un intérêt majeur pour étudier l'impact des changements globaux sur les hydrosystèmes. Elle présente des bilans hydrologiques aux amplitudes très faibles (quelques mm/an) et donc très sensibles aux différents changements. Les réactions des hydrosystèmes y sont plus rapides et contrastées qu'en zones tempérées. L'augmentation des débits des grands fleuves sahéliens en dépit de la baisse de la pluviométrie a été qualifiée de « paradoxe hydrologique sahélien » (Descroix *et al.*, 2009) et constitue toujours aujourd'hui un phénomène emblématique cristallisant les interactions climat-homme-milieu. Ce

« paradoxe » s'exprime au sud-ouest du Niger sous la forme d'une augmentation à long terme depuis les années 1950 des réserves de l'aquifère du Continental Terminal (Leduc *et al.*, 2001) malgré un déficit pluviométrique fortement marqué depuis les années 1970 (Nicholson, 2001) jusqu'aux années récentes (Sheen *et al.*, 2017). Cette hausse piézométrique ne correspond pas à un recouvrement des réserves suite à un effet conjoncturel de la sécheresse des années 1970 et 1980, mais bien à un ajustement vers un nouvel état d'équilibre issu de modifications durables des conditions de recharge de la nappe.

Mes premières investigations concernaient l'analyse des photographies aériennes anciennes qui montrait dans cette région le triplement des surfaces cultivées entre 1950 et 1992 au détriment de la savane arborée naturelle, avec en parallèle l'extension des réseaux de drainage et la progression du nombre de mares dans tout le paysage (Leblanc *et al.*, 2008). Dans cette région semi-aride, le ruissellement apparaît par refus à l'infiltration des eaux précipitées. Lorsque l'intensité des précipitations surpasse la capacité d'infiltration du sol, l'eau en excès se met en mouvement. Or, ici, les cultures de mil extensives impliquent une augmentation de la proportion de sols nus sujets à l'encroûtement, détériorant la capacité d'infiltration, et favorisent donc le ruissellement. Les vastes plateaux entrecoupés de paléo-vallées créent de multiples dépressions topographiques sans exutoires. Le ruissellement accumulé dans ces dépressions s'infiltre alors jusqu'à la nappe, élevant localement les niveaux d'eau de plusieurs mètres et contribuant à la hausse générale.

Les modifications observées en surface induisaient donc des changements sensibles de la recharge souterraine indirecte. La sécheresse des années 1970 et 1980 avait initié des changements profonds dans les pratiques agricoles et l'occupation des territoires, qui à leur tour avaient contribué à modifier durablement la ressource, contrecarrant les effets du déficit pluviométrique. Ce qui pouvait apparaître comme un paradoxe du point de vue hydro(géo)logique strictement quantitatif (moins de pluie et plus de recharge) n'en était plus un si l'on considérait les changements anthropiques de l'occupation du sol en lien avec les processus d'écoulement de surface et de recharge profonde.

Intérêt du décroissement des approches hydrologiques de surface et souterraine

Au début de mes travaux, les approches hydrologiques d'une part et hydrogéologiques d'autre part ne parvenaient pas à déterminer précisément les mécanismes expliquant la dynamique entraînant une hausse de la nappe. Un désaccord portait sur des estimations quantitatives incompatibles, alors que le processus d'accroissement de la recharge indirecte issue de l'augmentation du ruissellement faisait consensus. Les approches souterraines proposaient des valeurs de la recharge multipliées par 10 entre 1950 et 1992 (Leduc *et al.*, 2001) alors que les modèles hydrologiques simulaient une augmentation du ruissellement de 30 % à 70 % en conjuguant l'effet du changement du régime pluviométrique et les modifications environnementales (Ségui *et al.*, 2004).

L'hydrologie se focalisait sur les bassins versants élémentaires, inférieurs à 2 km², tandis que l'hydrogéologie étudiait les 5 000 km² de la nappe régionale. Ces échelles spécifiques représentaient une contrainte pour les comparaisons susceptibles d'être effectuées. Ségui *et al.* (2004) avançaient également la possibilité d'une évolution de l'infiltration sous les mares – de nouvelles surfaces moins colmatées se trouvant submergées (donc avec une capacité d'infiltration supérieure) augmentaient *de facto* la part des volumes ruisselés infiltrés – et une diminution des prélèvements par la végétation éradiquée des bas-fonds,

là où la nappe est la plus proche de la surface. Une apparition de nouvelles mares, donc de nouvelles zones d'infiltration, pouvait expliquer une forte augmentation de la recharge concentrée tout en nécessitant un accroissement du ruissellement dans des proportions moindres. D'autres zones d'infiltration profonde pouvaient aussi avoir été négligées.

Pour tester la cohérence des hypothèses controversées de recharge indirecte, je devais faire naturellement un pas vers l'hydrologie et investiguer les écoulements de surface en lien avec le souterrain. Pour cela, je choisisais de forcer la modélisation régionale de l'aquifère avec l'ensemble des points de recharge indirecte simulée pour reproduire la dynamique de hausse observée. Considérer conjointement les écoulements en surface et en souterrain s'avérait représenter une avancée méthodologique notable pour le développement d'un modèle à même de simuler le ruissellement de surface sur un ensemble de bassins versants élémentaires délimités à partir de l'inventaire des points de recharge. La modélisation distribuée des flux dans l'aquifère en réponse au forçage de la recharge par le ruissellement simulé me permettait d'utiliser les séries piézométriques collectées depuis plus d'une décennie comme variables de calage, ce que la qualité/quantité des données relatives au ruissellement de surface ne permettait pas d'envisager auparavant. Le modèle reproduisait la hausse générale de 18 cm.an^{-1} des niveaux de la nappe tout en respectant la gamme de paramètres hydrodynamiques connus sur l'aquifère. Cependant, les simulations ne parvenaient pas à représenter la variabilité inter-annuelle de la recharge de manière satisfaisante (Massuel *et al.*, 2011).

L'approche conjointe hydrologie-hydrogéologie apportait de nouvelles perspectives là où, séparément, chaque discipline se heurtait à des limites inhérentes aux spécificités des zones sahéliennes, dont la rareté et l'incertitude des données. Cette appréhension multidisciplinaire des phénomènes a constitué l'intérêt méthodologique principal de ce travail de recherche en ouvrant des pistes d'investigation majeures qui ont orienté mes travaux ultérieurs : la détermination des lacunes dans l'identification des zones de recharge de la nappe *via* la caractérisation des processus d'infiltration profonde (Massuel *et al.*, 2006), la détermination de l'impact sur la modélisation hydrologique de l'incertitude sur les champs de pluie (Vischel *et al.*, 2009) et la nécessité de mieux contraindre les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère phréatique (Boucher *et al.*, 2012).

Recharge artificielle des aquifères : des bilans hydrologiques aux logiques de gestion

Par son action sur la savane naturelle, l'homme avait donc durablement participé à la modification des bilans hydrologiques. La suite de mes travaux m'a conduit à percevoir plus intimement cette relation avec l'eau, notamment autour des structures de collecte et de stockage du ruissellement. Généralement construites en travers du lit des cours d'eau intermittents, elles sont extrêmement répandues dans le monde, en particulier dans les zones semi-arides (Downing, 2010). Ces petits barrages ou lacs collinaires doivent généralement constituer des réserves d'eau potable, favoriser la production agricole, réduire l'érosion, écrêter les crues ou contribuer à la recharge artificielle des nappes. En Inde, depuis la révolution verte, le développement de l'agriculture irriguée et la mobilisation progressive de l'ensemble des ressources en eau de surface ont poussé les gestionnaires à promouvoir l'exploitation des eaux souterraines (Shah, 2005). Devant la chute généralisée des niveaux des nappes qui a suivi, l'option consistant à stimuler la recharge des aquifères en réhabilitant ou en construisant des milliers de petits réservoirs a été retenue.

Je contribuais alors à l'étude fine du bilan hydrologique d'un petit barrage représentatif afin de mettre en évidence les processus d'échanges avec la nappe. Les résultats montraient que l'efficacité de la recharge ne dépassait pas 60 % sur les deux années d'observation, avec presque 40 % de reprise évaporatoire. La modélisation numérique 2D montrait que les taux d'infiltration étaient très sensibles aux pompes dans les zones proches du réservoir du fait de la continuité hydraulique de la nappe avec le plan d'eau. Le rayon d'influence de la recharge était extrêmement limité, avec près de 80 % des volumes infiltrés remobilisés par les puits dans les 100 premiers mètres autour du réservoir (Massuel *et al.*, 2014).

D'un point de vue hydro(géo)logique, ces ouvrages ne permettaient donc pas une « gestion optimale » de la ressource, provoquant des pertes conséquentes du fait de l'évaporation des eaux ruisselées rendues indisponibles en aval, pour un gain discutable sur la réserve souterraine. Suivant cette logique, les recommandations étaient alors d'arrêter de multiplier ces structures et d'en mobiliser la ressource en priorité en saison sèche afin de les vider le plus rapidement possible et de limiter l'évapotranspiration. Pourtant, du fait de nos activités répétées sur le terrain, les multiples échanges avec les irrigants et le dialogue avec certains gestionnaires me permettaient d'envisager le fait que la logique hydrologique pouvait ne pas être le seul facteur susceptible d'influencer et d'expliquer la situation observée en termes de gestion. Ces objets remplissaient en fait aussi d'autres fonctions que le simple stockage, à savoir des fonctions économiques, écologiques et sociales (Reyes-Garcia *et al.*, 2011), comme le maintien d'un mode traditionnel d'accès à l'eau ou la matérialisation de l'action publique (Raju et Shah, 2000), qui jouaient un rôle prépondérant dans la justification des stratégies de gestion.

De fait, ces expériences, en m'obligeant à regarder au-delà de l'hydrogéologie, ont progressivement contribué à remettre en question ma façon d'appréhender les stratégies de gestion des ressources en eau. D'abord, en concentrant mon attention sur l'optimisation des bilans en eau, je comprenais progressivement que cet objectif pouvait ne pas être partagé par tous les acteurs, tout en découlant d'un raisonnement parfaitement logique. Il allait alors falloir apprendre à reconnaître le fait qu'il était nécessaire d'acquérir des connaissances qui pouvaient ne pas porter uniquement sur les processus hydrologiques. Les différentes situations rencontrées autour des petits barrages démontraient clairement que la planification et les logiques de gestion dépendaient amplement, voire principalement, des contextes économiques, politiques et sociaux. Il s'avérait que les déterminants hydrologiques et environnementaux ne jouaient qu'un rôle accessoire dans les décisions qui étaient prises en matière de gestion, ce qui balayait un certain nombre de mes préjugés, à commencer par l'idée que l'apport de connaissances hydro(géo)logiques, aussi pertinentes soient-elles pour préciser les bilans en eau, conduisait nécessairement à une meilleure gestion.

LA DÉCOUVERTE DES DIMENSIONS SOCIALES DE L'EAU PAR LE TERRAIN ET LA PRATIQUE INTERDISCIPLINAIRE

Une pratique interdisciplinaire ancrée sur le terrain : du débit des puits à la logique des prélèvements

Cette prise de conscience s'est réellement renforcée au Maghreb, au contact des sciences humaines et sociales (SHS) de l'unité de recherche G-EAU (Gestion de l'eau, acteurs, usages) que j'ai rejointe en 2011. Au Maghreb, l'agriculture irriguée soutenue

par l'utilisation des eaux souterraines a progressivement remplacé les grands systèmes publics d'irrigation à partir des eaux de surface. Les eaux souterraines alimentent plus de 500 000 exploitations agricoles en Algérie, au Maroc et en Tunisie, et les puits irriguent des zones qui connaissent une croissance continue, estimées à plus de 1,75 million d'hectares en 2016 (Kuper *et al.*, 2016). Le développement économique repose sur la ressource en eau souterraine qui connaît une exploitation intensive et croissante amorcée il y a près de 40 ans, ce qui questionne la pérennité de ce modèle dans un contexte où les réserves sont mal connues. En Tunisie, la nappe de la plaine de Kairouan affichait en 2010 une baisse générale continue moyenne d'environ 30 m depuis les années 1970 (Leduc *et al.*, 2007). Les scénarios prospectifs visant à établir les stratégies pour la planification des ressources en eau étaient essentiellement basés sur l'évolution du nombre de puits et des niveaux de la nappe phréatique. En effet, les prélèvements souterrains sont des variables complexes à estimer dans les régions où le captage des eaux souterraines est fortement dominé par les initiatives individuelles, avec de multiples puits dispersés dans le paysage. À l'échelle de petits territoires, les méthodes directes nécessitent de mettre en œuvre ou d'adapter des procédés contraignants et coûteux. À l'échelle régionale, les méthodes sont indirectes (clôture du bilan hydrique, fluctuation de la nappe, télédétection et demande en eau des cultures, etc.). Ces méthodes sont très intégratives, elles fournissent des images figées de situations évoluant parfois rapidement et ont comme point commun de se concentrer essentiellement sur la dimension comptable des prélèvements, en ayant pourtant l'ambition de prédire des tendances futures pour la gestion. Mes travaux sur l'aquifère de la plaine de Kairouan devaient déterminer précisément les prélèvements régionaux et leur évolution en adaptant des méthodes directes à l'échelle de la petite exploitation (Massuel *et al.*, 2017).

Pour la première fois, je conduisais des mesures et des expérimentations avec une anthropologue (Jeanne Riaux), et de fait, j'étais impliqué malgré moi dans de multiples entretiens interminables avec les acteurs de terrain. D'abord perçue comme une perte de temps, je trouvais progressivement un intérêt à cette démarche, qui entraînait en résonance avec mes premiers questionnements sur les usages de l'eau autour des petits barrages. Cela représentait de nouveau une ouverture disciplinaire, mais cette fois en direction d'une discipline épistémologiquement très éloignée. Outre les étapes consistant en une clarification du vocabulaire et des concepts, indispensables pour lever les divers malentendus qui peuvent naître de problèmes de compréhension, la phase d'échanges ayant généré le plus de rapprochement a été le dévoilement des fondamentaux des démarches et des méthodes. Ce travail a conduit à une totale transparence, contribuant ainsi à une meilleure compréhension de la posture scientifique et à une sorte de légitimation réciproque en remettant en cause certains préjugés. Cela a permis de valider des démarches dont on acceptait de ne pas nécessairement comprendre toute la portée ni l'ensemble des fondements. En retour, des hypothèses implicites et des biais méthodologiques étaient révélés, nous amenant à un décentrement du regard porté sur notre propre démarche. Ce faisant, les dimensions sociales, territoriales et politiques de l'eau étaient explorées collectivement à partir de documents d'archives, de cartes anciennes et d'entretiens collectifs sur le terrain et dans les administrations. Progressivement, les perceptions du terrain et la compréhension des pratiques scientifiques de chacun ont évolué et un partage plus approfondi a débuté. Des repères et des objets d'observation communs se dessinaient

(exploitations agricoles, sources, puits, groupes sociaux, tuyaux, etc.), donnant naissance à une expérience interdisciplinaire élargie. Il fallait expliciter et s'appropriier les concepts des deux disciplines, justifier ses démarches, confronter des sources d'information variées (mesures, mémoire, archives) et identifier des convergences pour produire des hypothèses communes (Riaux et Massuel, 2014). Ce travail avait finalement conduit à reconstruire l'histoire complexe de l'évolution des forages et des dynamiques de prélèvements expliquant les problèmes actuels. Les visites et les discussions récurrentes permettaient de garder un lien étroit avec les exploitants et de s'informer de tout changement dans le modèle et le calendrier de culture, les pratiques d'irrigation, les zones irriguées ou l'équipement de pompage, des éléments qui s'avéraient particulièrement précieux pour comprendre les logiques de prélèvement.

Les puits et les forages ont de multiples caractéristiques techniques mais aussi de multiples usages. Il est impossible de déterminer les prélèvements et leur évolution sans une compréhension contextuelle et qualitative de la nature et du rôle de ces ouvrages. Avant le début de la baisse des eaux souterraines, les puits étaient peu profonds, voire artésiens à l'aval de la plaine. Puis les agriculteurs ont dû s'adapter à la baisse de la nappe phréatique en approfondissant leurs puits traditionnels. Le Code de l'eau tunisien, qui fixait une profondeur limite de forage à 50 m, avait généré des techniques d'approfondissement illicites dans le fond des puits, tolérées par la police des eaux, mais limitant le rendement des ouvrages. Après la révolution de 2011, la menace de sanctions s'était dissipée et les réalisations de forages profonds (> 90 m) pouvaient s'accélérer pour remplacer les puits approfondis en fournissant un accès à la nappe pour plusieurs années avec des débits plus importants (multipliés par 3). Par ailleurs, les processus d'héritage avaient conduit à une division progressive des terres suite à des conflits fréquents entre héritiers. Il n'était pas rare de voir le puits de la parcelle familiale abandonné faute de volonté d'investir dans l'entretien ou l'approfondissement tant que la succession n'était pas réglée et que l'attribution de la terre était en suspens. Afin d'éviter d'avoir à partager ce puits, de nouveaux puits pouvaient être forés pour chaque parcelle divisée, ou pour pratiquer une irrigation plus intensive et obtenir les mêmes revenus avec des surfaces plus petites. Les titres de propriété foncière étant très rares et les propriétaires ne vivant pas forcément sur leur parcelle, il était fréquent de trouver des puits forés exclusivement pour sécuriser la propriété foncière, ou pour le prestige social, ces puits étant rarement utilisés pour l'irrigation. Nous projetions alors par exemple que les forages profonds allaient dominer l'accès privé à l'eau avec un abandon massif des puits traditionnels approfondis. La course à l'accès aux eaux souterraines et la réduction des surfaces par exploitant allaient générer une pratique plus intensive de l'irrigation au détriment des petites exploitations.

Ces investigations ne révélaient sans doute qu'une petite partie de la variété des prélèvements, mais il y avait cependant suffisamment d'indications pour remettre en question les schémas conceptuels d'estimation des prélèvements régionaux basés uniquement sur le nombre de puits et pour mettre en perspective leur évolution possible. Toutes ces pratiques avaient suivi des trajectoires et des logiques qu'il était possible d'identifier et d'extrapoler. Une histoire et des processus décisionnels complexes déterminaient les volumes prélevés et leurs usages. Je réalisais qu'ils n'étaient pas de simples volumes sortant de l'aquifère, bornés par les propriétés de l'aquifère ou la demande climatique, mais qu'ils intégraient des logiques sociales liées aux différents acteurs et à leur rapport

avec la ressource. Comprendre le présent et proposer des scénarios prospectifs ayant une probabilité significative de se réaliser nécessitait donc de poser un regard sur l'ensemble de ces mécanismes. De même, cela changeait la manière de prendre en compte et de représenter ces prélèvements dans les modèles souterrains (Massuel *et al.*, 2017).

Un questionnement interdisciplinaire sur la durabilité des eaux souterraines

La suite de mes travaux sur l'aquifère de la plaine de Kairouan allait alors stimuler cette réflexion, en mettant en perspective la notion de surexploitation des eaux souterraines. Ce regard croisé permettrait au final de poser différemment les problèmes de gestion de l'eau et de réfléchir au concept d'exploitation durable au regard d'aspects non hydrologiques ou des logiques des différents acteurs.

Bien que la réserve en eaux souterraines de la nappe de la plaine de Kairouan fût assez mal connue, les experts et les gestionnaires se focalisaient sur une conjecture qui supposait un épuisement de la ressource en assimilant baisse et surexploitation. Les mesures étaient donc logiquement orientées vers la réduction de la demande en eau (goutte-à-goutte, paquet technique) et la maîtrise des prélèvements (limitation des pompages, zones d'exclusion), mais sans pourtant que cela n'ait d'effets réellement perceptibles après plus d'une décennie (à la fois sur l'économie d'eau et sur la chute des niveaux de nappe). Les travaux caractérisant la géométrie et les paramètres physiques de l'aquifère, montraient que le stockage en eau souterraine était d'environ 18.10^9 m^3 en 2013 (Jerbi *et al.*, 2018). En 1968, ce stockage atteignait presque 21.10^9 m^3 , soit une perte de plus de 12 % en 45 ans (1968-2013). La totalité de cette réserve n'était potentiellement pas mobilisable et inégalement répartie sur le territoire, mais de nombreux pompages profonds étaient déjà productifs et la qualité de l'eau ne montrait pas de détérioration majeure en fonction de la profondeur. L'hydrodynamique permettait de relever une réserve souterraine en baisse constante, dont l'origine était partagée entre des prélèvements excessifs et des choix d'aménagements hydrauliques ayant déplacé et potentiellement réduit la recharge souterraine.

Là où mon expertise d'hydrogéologue allait produire de nouvelles recommandations sur les volumes durablement prélevables ou redéfinissait les zones potentiellement épuisées à l'horizon 2050-2100, le partage de mes points de vue avec ceux de Jeanne Riaux orientait les réflexions dans une tout autre direction (Massuel et Riaux, 2017).

Cette autre orientation était de questionner plutôt l'origine du discours arguant d'une surexploitation et les enjeux de gestion qu'il occultait. Car nous avions remarqué que, dans ce discours, le phénomène de surexploitation, ses causes et les nécessités d'améliorer la gestion des eaux souterraines étaient toujours positionnés au début de l'argumentaire. Telle une pétition de principe, le phénomène de surexploitation était présenté comme un fait évident et établi, assumant l'existence d'une définition scientifique simple et consensuelle de la surexploitation des eaux souterraines alors qu'une telle définition n'existe pas en hydrogéologie. Le fait de définir la surexploitation d'une nappe ne se réduit pas à une simple question de bilans, mais dépend de la définition des contraintes à se fixer pour l'exploitation et du préjudice acceptable à une époque donnée. Le sens que l'on donne à la notion de surexploitation dépend très largement des critères auxquels on la confronte et des acteurs qui définissent ces critères. Sur le terrain, le constat d'une baisse des niveaux d'eau était partagé par l'ensemble des acteurs et considéré comme un changement notoire. Pour autant, en dehors des scientifiques, le problème mis en avant n'était

pas l'épuisement de la ressource mais plutôt l'accès à l'eau, avec des inquiétudes portant sur la capacité des petites exploitations à « suivre la nappe », et donc à assurer leur pérennité sur le territoire. Pour les administrations, le problème était plutôt le maintien de l'autorité publique et de la capacité des agents à légitimer leur présence sur le territoire. La surexploitation cachait en réalité une grande variété de difficultés, cristallisant des enjeux multiples et occultant les problèmes particuliers de chacun. En se focalisant sur l'épuisement de la ressource, la situation était réduite à un problème de bilans. De fait, les règles et les incitations proposées n'étaient pas efficaces ou pas appliquées puisqu'elles allaient à l'encontre des problèmes que chacun essayait de gérer, créant des tensions et des incompréhensions entre les différents acteurs en présence.

En interrogeant la construction de la situation en cours et son historique dans un contexte bien défini, nous pouvions alors déterminer si les problèmes relevaient effectivement des compétences de l'hydrogéologie et dans quelles mesures les connaissances hydrogéologiques pouvaient y apporter des solutions. Cette étape dans la pratique de l'interdisciplinarité a représenté pour moi une progression méthodologique disciplinaire fondamentale. Elle montrait que, pour une application à la gestion de l'eau, la réflexion sur la nécessité, la nature et le type de connaissance hydrogéologique à produire méritait au moins autant d'attention que la production elle-même, et que cette réflexion devait aussi être conduite avec les disciplines maîtrisant les corpus de connaissances appropriés au contexte étudié. En pratique, le questionnement préliminaire des problématiques de gestion détermine la question hydrogéologique, et non l'inverse.

POSITIONNEMENT AU SEIN DE LA COMMUNAUTÉ SCIENTIFIQUE

Comprendre et représenter les relations entre l'eau et les sociétés

Le concept de cycle de l'eau est à l'origine de l'établissement de l'hydrologie en tant que discipline scientifique. Selon ce concept, le caractère dynamique de l'hydrosphère est totalement lié à l'apport d'énergie solaire dans un cycle naturel de changements d'états et de mouvements gravitaires sans fin. Les modifications environnementales et climatiques engendrées par les activités humaines « perturbent » pourtant les composantes de ce cycle à un point tel qu'il est difficile aujourd'hui d'étudier des hydrosystèmes totalement naturels. Des initiatives majeures ont donc été lancées au sein de la communauté des sciences hydrologiques pour mieux « intégrer » les activités anthropiques et leurs interactions avec les différentes composantes du cycle de l'eau. Parmi elles, la décennie 2013-2022 de l'AISH « *Panta Rhei* »¹ (Montanari *et al.*, 2013) fait suite à la mise en œuvre des fondements d'une nouvelle discipline : la socio-hydrologie, dont la vocation est de mieux comprendre les dynamiques du cycle hydrologique et de soutenir la gestion durable de l'eau (Sivapalan *et al.*, 2012). Les systèmes couplés « homme-eau » y sont vus, pensés et représentés par la communauté des sciences hydrologiques. Les aboutissements les plus courants sont la proposition de cadres de modélisation incluant des comportements humains dans des simulations hydrologiques. Ces approches se heurtent cependant à d'importantes limites en matière de représentation des faits sociaux, de nature qualitative et non quantifiables. La majorité des approches proposent des descriptions simplifiées,

1. La décennie scientifique 2013-2022 de l'Association internationale des sciences hydrologiques, intitulée « *Panta Rhei – Everything Flows* », est consacrée aux activités de recherche sur les changements dans l'hydrologie et la société.

limitées à certaines perceptions, ou moteurs de comportements et de prises de décision. Ces recommandations du champ de l'hydrologie ou de l'économie sont adossées à des conceptions techniques et économiques de la rationalisation et de l'optimisation de la gestion (Wesselink *et al.*, 2017), et souvent à l'affirmation selon laquelle la gestion intégrée des ressources en eau (Gire) est la solution à tous les problèmes de l'eau (Molle, 2008). En miroir du cycle hydrologique, la géographie critique et l'écologie politique travaillent sur le concept de cycle hydrosocial qui représente le processus « socio-naturel » à travers lequel l'eau et les sociétés se façonnent mutuellement dans l'espace et au cours du temps (Linton et Budds, 2014). Au-delà des simples infrastructures ou des actions humaines sur l'eau, interviennent les significations données à l'eau, les mécanismes de formation des perceptions, les circonstances politiques et culturelles, l'établissement des droits ou les formes d'appropriations. En parallèle, d'autres communautés épistémiques ont également développé leurs propres cadres de référence, mais les publications existantes témoignent du faible niveau d'interactions dans l'utilisation de ces différents cadres qui restent ancrés dans leurs communautés épistémiques proches. Les approches ainsi proposées semblent de fait se limiter à une représentation très partielle, et donc potentiellement biaisée, des phénomènes d'interaction « homme-eau » pour certaines, ou « eau-sociétés » pour d'autres, comme si elles abordaient ces interactions sans se donner les clés pour en comprendre les mécanismes de manière intrinsèque, car amputés de points de vue essentiels à la compréhension fine de ces interactions.

Une approche interdisciplinaire complémentaire à la socio-hydrologie

Partant de cette analyse, je défends l'idée que la recherche d'universalité et le caractère quantitatif et mécaniste des approches développées en socio-hydrologie représentent une limite à dépasser. En effet, les boucles de rétroactions entre des éléments des socio-hydro-systèmes étudiés sont influencées par un certain nombre de déterminants généralement identifiés *a priori*, et ce essentiellement par les sciences hydrologiques. Les transformations caractérisant les interactions entre l'eau et les sociétés s'opposent ainsi à une représentation mécaniste des phénomènes selon laquelle les mêmes causes produisent les mêmes effets. Certains déterminants majeurs des évolutions appartiennent de fait au domaine des sciences sociales, ce qui entre en contradiction avec l'approche hydrocentrée proposée par la socio-hydrologie. Je suis donc partisan d'une approche qui met en avant deux particularités : l'ancrage fort sur le terrain et l'acceptation du caractère spécifique du cas d'étude. La construction d'un récit scientifique collectif permet d'identifier et d'appréhender les déterminants sociaux et environnementaux qui dominent l'évolution des systèmes. Puis, grâce au dialogue interdisciplinaire, entre en jeu un processus de négociation entre les différents points de vue disciplinaires en présence. Cette forme de négociation socio-hydrologique me paraît complémentaire à l'approche socio-hydrologique, car elle est nécessaire pour avoir une représentation équilibrée des phénomènes, et donc une compréhension plus aboutie des problèmes relatifs à l'usage ou à la gestion de l'eau. Dans ce processus, les modèles et les quantifications ne sont pas au centre de la réflexion. L'ambition est de promouvoir le dialogue entre chercheurs de disciplines différentes, suffisamment compréhensible pour être entendu par les différentes parties prenantes des recherches, un dialogue remettant en question les idées communément admises dans l'objectif de les dépasser le cas échéant (Massuel *et al.*, 2018).

Retour disciplinaire et enrichissement méthodologique

Mon positionnement scientifique tend désormais vers une cohabitation des différents points de vue par l'intermédiaire de la pratique interdisciplinaire. Il n'est pas impératif d'adopter l'ensemble des corpus de connaissances et méthodologiques de toutes les disciplines, mais de faire en sorte qu'elles puissent coexister et devenir complémentaires quand la situation l'exige. Il ne s'agit pas de prôner l'intégration forcée (par l'adoption de valeurs et de normes), mais bien de favoriser les échanges continus entre les différentes communautés afin de créer des passages et de faire en sorte que les regards « experts » puissent trouver un intérêt à se rencontrer et à produire des représentations plus holistiques des systèmes étudiés, et donc potentiellement une manière plus appropriée de poser les problèmes et les questions de recherche eau-sociétés.

Je pratique donc une interdisciplinarité tout en restant discipliné, dans le sens où je reste dans ma communauté épistémique tout en découvrant ce qui se passe en dehors. En cela, je considère que je contribue à enrichir ma discipline, à en modifier les contours ou les cadres conceptuels, pour les faire progresser. Cela se traduit concrètement par une construction différente des questions de recherche avec la modeste satisfaction, en cernant mieux les situations, de répondre plus utilement aux enjeux liés à la gestion de l'eau. La représentation des systèmes évolue vers des formes plus holistiques, stimulant la réflexion méthodologique. Le modèle devient un moyen et non plus une finalité, ses formes se discutent et se négocient. Les approches s'adaptent et se renouvellent au gré des situations. Cette pratique demande cependant un engagement important et génère en retour quelques inconvénients notoires. Le chemin est long et laborieux, générant parfois de la frustration tant les retours en arrière sont fréquents et la progression parfois atone. Par définition, on ne pratique pas seul. On ne pratique pas non plus avec tout le monde. Il faut donc un ensemble de conditions qui réunissent à la fois des individus, des postures, des problématiques et des projets, pour lesquelles les opportunités ne sont pas légion. Le travail interdisciplinaire teinte également durablement mon parcours scientifique et tend à me positionner en marge de ma communauté épistémique. Cela se matérialise essentiellement lors des évaluations de mes activités de recherche où ce que je présente comme des progrès méthodologiques dans ma discipline peinent à être reconnus et valorisés comme tels. Ils sont généralement perçus comme étant en décalage par rapport à ce qui est attendu de l'excellence scientifique dans ma discipline, voire considérés comme de simples digressions, ce qui n'incite pas nécessairement à poursuivre dans cette voie. Mais quand bien même la digression scientifique serait de nos jours dépréciée, c'est aussi un moyen de mieux revenir, et les avantages que j'y trouve sont à la hauteur du chemin parcouru.

BIBLIOGRAPHIE

- Boucher M., Favreau G., Nazoumou Y., Cappelaere B., Massuel S. et Legchenko A., 2012. Constraining groundwater modeling with magnetic resonance soundings. *Ground Water*, 50 (5), 775-784.
- Castany G. et Margat J., 1977. *Dictionnaire français d'hydrogéologie*, Orléans, BRGM, Service géologique national.
- Descroix L., Mahe G., Lebel T., Favreau G., Galle S., Gautier E., Olivry J.-C., Albergel J., Amogu O., Cappelaere B., Dessouassi R., Diedhiou A., Le Breton E., Mamadou I. et Sighomnou D., 2009. Spatio-temporal variability of hydrological regimes around the boundaries between Sahelian and Sudanian areas of West Africa: a synthesis. *Journal of Hydrology*, 375 (1-2), 90-102.

- Downing J.A., 2010. Emerging global role of small lakes and ponds: little things mean a lot. *Limnetica*, 29 (1), 9-24.
- Jerbi H., Massuel S., Leduc C. et Tarhouni J., 2018. Assessing groundwater storage in the Kairouan plain aquifer using a lithology model (Central Tunisia). *Arabian Journal of Geosciences*, 11 (10), 236.
- Kuper M., Faysse N., Hammani A., Hartani T., Marlet S., Hamamouche M.F. et Ameur F., 2016. Liberation or anarchy? The Janus nature of groundwater use on North Africa's new irrigation frontiers, in Jakeman A.J., Barreteau O., Hunt R.J., Rinaudo J.-D. et Ross A. (eds), *Integrated Groundwater Management: Concepts, Approaches and Challenges*, Dordrecht, Springer, 583-615.
- Leblanc M.J., Favreau G., Massuel S., Tweed S.O., Loireau M. et Cappelaere B., 2008. Land clearance and hydrological change in the Sahel: SW Niger. *Global Planet Change*, 61 (3-4), 135-150.
- Leduc C., Favreau G. et Schroeter P., 2001. Long-term rise in a Sahelian water table: the Continental Terminal in South-West Niger. *Journal of Hydrology*, 243 (1-2), 43-54.
- Leduc C., Ben Ammar S., Favreau G., Béji R., Virrion R., Lacombe G., Tarhouni J., Aouadi C., Zenati Chelli B., Jebnoun N., Oi M., Michelot J.L. et Zaoauri K., 2007. Impacts of hydrological changes in the Mediterranean zone: environmental modifications and rural development in the Merguellil catchment, Central Tunisia. *Hydrological Sciences Journal*, 52 (6), 1162-1178.
- Linton J. et Budds J., 2014. The hydrosocial cycle: defining and mobilizing a relational-dialectical approach to water. *Geoforum*, 57, 170-180.
- Massuel S., Amichi F., Ameur F., Calvez R., Jenhaoui Z., Bouarfa S., Kuper M., Habaieb H., Hartani T. et Hammani A., 2017. Considering groundwater use to improve the assessment of groundwater pumping for irrigation in North Africa. *Hydrogeology Journal*, 25 (6), 1565-1577.
- Massuel S., Cappelaere B., Favreau G., Leduc C., Lebel T. et Vischel T., 2011. Integrated surface water-groundwater modelling in the context of increasing water reserves of a regional Sahelian aquifer. *Hydrological Sciences Journal*, 56 (7), 1242-1264.
- Massuel S., Favreau G., Desclotres M., Le Troquer Y., Albouy Y. et Cappelaere B., 2006. Deep infiltration through a sandy alluvial fan in semiarid Niger inferred from electrical conductivity survey, vadose zone chemistry and hydrological modelling. *Catena*, 67 (2), 105-118.
- Massuel S., Perrin J., Mascré C., Mohamed W., Boisson A. et Ahmed S., 2014. Managed aquifer recharge in South India: What to expect from small percolation tanks in hard rock? *Journal of Hydrology*, 512, 157-167.
- Massuel S. et Riaux J., 2017. Groundwater overexploitation: why is the red flag waved? Case study on the Kairouan plain aquifer (Central Tunisia). *Hydrogeology Journal*, 25 (6), 1607-1620.
- Massuel S., Riaux J., Molle F., Kuper M., Ogilvie A., Collard A.-L., Leduc O. et Barreteau O., 2018. Inspiring a broader socio-hydrological negotiation approach with interdisciplinary field-based experience. *Water Resources Research*, 54 (4), 2510-2522.
- Molle F., 2008. Nirvana concepts, narratives and policy models: insight from the water sector. *Water Alternatives*, 1 (1), 131-156.
- Montanari A., Young G., Savenije H.H.G., Hughes D., Wagener T., Ren L.L., Koutsoyiannis D., Cudennec C., Toth E., Grimaldi S., Blöschl G., Sivapalan M., Beven K., Gupta H., Hipsey M., Schaeffli B., Arheimer B., Boegh E., Schymanski S.J., Di Baldassarre G., Yu B., Hubert P., Huang Y., Schumann A., Post D.A., Srinivasan V., Harman C., Thompson S., Rogger M., Viglione A., McMillan H., Characklis G., Pang Z. et Belyaev V., 2013. "Panta rhei—everything flows": change in hydrology and society—The IAHS scientific decade 2013–2022. *Hydrological Sciences Journal*, 58 (6), 1256-1275.
- Nicholson S.E., 2001. Climatic and environmental change in Africa during the last two centuries. *Climate Research*, 17 (2), 123-144.
- Raju K.V. et Shah T., 2000. Revitalisation of irrigation tanks in Rajasthan. *Economic and Political Weekly*, 35 (23), 1930-1936.
- Reyes-Garcia V., Aubriot O., Ariza-Montobbio P., Galán-Del-Castillo E., Serrano-Tovar T. et Martinez-Alier J., 2011. Local perception of the multifunctionality of water tanks in two villages of Tamil Nadu, South India. *Society & Natural Resources*, 24 (5), 485-499.

- Riaux J. et Massuel S., 2014. Construire un regard sociohydrologique (2). Le terrain en commun, générateur de convergences scientifiques. *Natures sciences sociétés*, 22 (4), 329-339.
- Schoeller H., 1962. *Les eaux souterraines. Hydrologie dynamique et chimique : recherche, exploitation et évaluation des ressources*, Paris, Masson & C^{ie}.
- Séguis L., Cappelaere B., Milési G., Peugeot C., Massuel S. et Favreau G., 2004. Simulated impacts of climate change and land-clearing on runoff from a small Sahelian catchment. *Hydrological Processes*, 18 (17), 3401-3413.
- Shah T., 2005. Groundwater and human development: challenges and opportunities in livelihoods and environment. *Water Science & Technology*, 51 (8), 27-37.
- Sheen K.L., Smith D.M., Dunstone N.J., Eade R., Rowell D.P. et Vellinga M., 2017. Skilful prediction of Sahel summer rainfall on inter-annual and multi-year timescales. *Nature Communications*, 8 (1), 14966.
- Sivapalan M., Savenije H.H.G. et Blöschl G., 2012. Socio-hydrology: a new science of people and water. *Hydrological Processes*, 26 (8), 1270-1276.
- Vischel T., Lebel T., Massuel S. et Cappelaere B., 2009. Conditional simulation schemes of rain fields and their application to rainfall-runoff modeling studies in the Sahel. *Journal of Hydrology*, 375 (1-2), 273-286.
- Wesselink A., Kooy M. et Warner J., 2017. Socio-hydrology and hydrosocial analysis: toward dialogues across disciplines. *Wires: Water*, 4 (2), e1196.



Récits de recherche sur l'eau dans un monde interdisciplinaire

Sous la direction de
Anne-Laure Collard, Jeanne Riaux, Marcel Kuper

éditions
Quæ

La collection « Indisciplines » fondée par Jean-Marie Legay dans le cadre de l'association « Natures Sciences Sociétés-Dialogues » est aujourd'hui dirigée par Marianne Cohen. Dans la même orientation disciplinaire que la revue NSS, cette collection entend traiter des rapports que, consciemment ou non, les sociétés entretiennent avec leur environnement naturel et transformé à travers des relations directes, des représentations ou des usages. Elle mobilise les sciences de la terre, de la vie, de la société, des ingénieurs et toutes les démarches de recherche, éthique comprise. Elle s'intéresse tout particulièrement aux questions environnementales qui interpellent nos sociétés aujourd'hui, qu'elles soient abordées dans leur globalité ou analysées dans leurs dimensions les plus locales.

Le comité éditorial examinera avec attention toutes les propositions d'auteurs ou de collectifs qui ont adopté une démarche interdisciplinaire pour traiter de la complexité.

© Éditions Quæ, NSS-Dialogues, 2024

ISBN Quæ (imprimé) : 978-2-7592-3806-4

ISBN Quæ (PDF) : 978-2-7592-3807-1

ISBN Quæ (ePub) : 978-2-7592-3808-8

ISSN : 1772-4120

Éditions Quæ – RD 10 – 78026 Versailles Cedex

www.quae.com – www.quae-open.com

Les versions numériques de cet ouvrage sont diffusées sous licence CC-by-NC-ND 4.0.