

HYDROTOP 2003

22-24 Octobre 2004, Marseille

Le développement des forages individuels : une conséquence de la hausse du prix de l'eau potable ?

Marielle Montginoul*, Jean-Daniel Rinaudo**, Yves Lunet de Lajonquière***, Patrice Garin***,
Jean-Pierre Marchal ** et Gilles Burkhardt**

* UMR GSP, Cemagref – ENGEES, BP 1039F, 1 quai Koch, 67 070 Strasbourg Cedex

** BRGM, Département Eau, BP 177, Parc des Tanneries, 67834 Tanneries Cedex

*** UR Irrigation, Cemagref, BP 5095, 361 rue JF Breton, 34033 Montpellier Cedex 1

Introduction

La hausse du prix de l'eau observée ces dernières années a conduit à une diminution de la consommation d'eau potable. Si certains ménages ont effectivement réalisé des économies d'eau, d'autres se sont tournés vers des ressources de substitution (récupération d'eau de pluie, forages, puits, raccordement à un réseau d'eau brute, etc.) pour satisfaire tout ou partie de leurs besoins en eau.

Cet article présente un travail de terrain qui vise à décrire et analyser le phénomène de recours à une eau alternative pour compléter ou se substituer à l'eau du réseau. Il s'appuie sur un travail d'enquêtes (sections 1 et 2) et sur l'élaboration d'un modèle de comportement des ménages (section 3) utilisé pour évaluer les risques de développement des forages à l'échelle régionale (section 4).

I. Méthodologie et site d'étude

Très peu de particuliers déclarent les forages ou les puits qu'ils construisent en dépit de l'obligation légale qui leur est faite (Encadré 1). Il n'existe donc pas de données pour décrire l'ampleur du phénomène étudié et nous avons dû réaliser un travail de terrain dans le sud de la France sur la moyenne vallée de l'Hérault. Cette zone, comprise entre le littoral méditerranéen (Agde) et le Causse du Larzac, est depuis une dizaine d'années témoin d'une très forte croissance démographique, dépassant 3% par an dans de nombreuses petites communes rurales situées à proximité du nouvel axe autoroutier A75. Elles accueillent une importante population nouvellement installée dans la région, travaillant à Montpellier et Béziers. Ces nouveaux arrivants s'installent dans des pavillons individuels, avec presque systématiquement un jardin et très souvent une piscine. Face à l'augmentation de la demande en eau générée par la croissance démographique, les collectivités ont réalisé des investissements dans le secteur eau potable (nouveaux captages, châteaux d'eau) qui se sont traduits par une hausse du prix de l'eau. Cette hausse et la crainte de sa poursuite semblent avoir incité de nombreux ménages à réaliser des forages de jardins, d'autant plus que l'eau souterraine est relativement facilement accessible, bien que de manière assez hétérogène.

Le travail de terrain a d'abord consisté en la réalisation d'entretiens auprès de professionnels. Nous avons rencontrés 8 foreurs, 4 entreprises équipant les forages (pompes, systèmes d'irrigations) et 3 plombiers (installation de canalisation, doubles réseaux) intervenant dans la zone d'étude. Les entretiens ont été réalisés en face à face, de la manière la plus informelle possible, et en utilisant un guide d'entretien semi-directif. L'entretien était structuré autour de quatre thèmes : (i) description de l'importance du phénomène (nombre de forages, évolution au cours des dernières années) ; (ii) caractérisation de la population installant des forages (zones géographiques, catégorie socioprofessionnelle, type d'habitations, et revenus) ; (iii) les motivations pour forer ; et (iv) le coût des forages.

Cette première série d'entretiens a été complétée par une enquête auprès de 55 ménages, réalisée à Canet (Hérault). Située à une trentaine de kilomètres de Montpellier, cette commune de 2000 habitants est représentative du problème décrit. Le service d'eau potable et d'assainissement est géré en régie communale. Avec un abonnement de 30 €/par an et 1,5 €/m³ d'eau consommée, le prix de l'eau a certes connu une hausse au cours de ces 10 dernières années (Figure 1) mais est encore moins cher que la moyenne nationale. Cette croissance du prix a été suivie par une baisse de la consommation moyenne par abonné, se traduisant par une stagnation de la demande totale. Cette stagnation inattendue génère difficultés financières pour la commune qui avait anticipé une forte croissance de la demande et réalisé des investissements lourds en conséquence. Les services municipaux l'expliquent par une multiplication des forages. Canet est en effet situé sur la nappe alluviale du fleuve Hérault et il est possible de

« trouver » l'eau à 15 mètres avec une probabilité supérieure à 75%. En cas d'échec, on trouve encore de l'eau dans une autre couche aquifère à une profondeur variant entre 50 et 90 mètres.

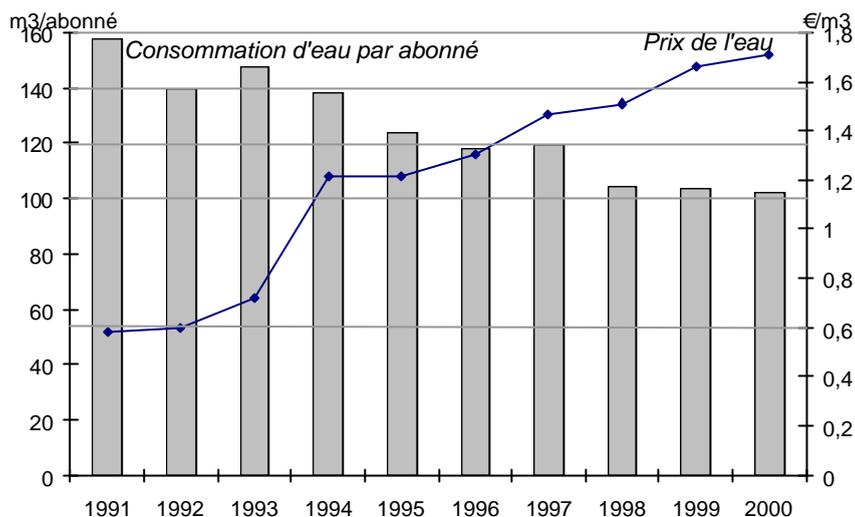


Figure 1 : Evolution de la consommation d'eau des abonnés de Canet et du prix moyen de l'eau (pour 120 m³, en euros constants)

Annoncée par un courrier joint à la facture d'eau de janvier 2002, l'enquête s'est déroulée sur 2 mois : 55 ménages ont été interrogés (45 à leur domicile en face à face, 10 par téléphone), 24 ont refusé de répondre. L'échantillon comporte à la fois des ménages ayant installé un forage (12), construit ou remis en état un puits (16) et des forages ayant uniquement accès à l'eau potable (19). Les cas (marginiaux) des ménages ayant accès à l'eau fournie par le réseau d'eau brute de la Compagnie du Bas Rhône (6 entretiens) et celui de ménages ayant un forage comme unique ressource car non connectés au réseau (2 entretiens) ont également été documentés mais seront exclus de l'analyse présentée dans ce papier. Notre échantillon se réduit donc ici à l'analyse des entretiens conduits auprès de 47 ménages. L'enquête abordait les points suivants : (i) une description des usages de l'eau ; (ii) la perception et la connaissance du prix de l'eau ; (iii) la description du système complémentaire d'approvisionnement en eau autre que potable (puits, forage, connexion au réseau du Bas Rhône) ; (iv) les motivations poussant les ménages à construire un forage ; et (v) une explicitation du raisonnement économique suivi par les ménages ayant, ou prévoyant de construire, un forage. Le fait de rencontrer à domicile la majorité des ménages enquêtés a augmenté le degré de fiabilité des réponses, sauf en ce qui concerne l'usage d'un double réseau, sujet parfois tabou.

L'information recueillie a été mobilisée pour formaliser des hypothèses de comportement des ménages puis les traduire sous forme d'un modèle micro-économique. Ce modèle cherche à reproduire la décision d'investissement en fonction de variables d'entrées : prix de l'eau potable et de l'assainissement, caractéristiques de l'eau souterraine (profondeur, probabilité d'obtention, etc.), coût de forage, ... Il peut être utilisé en simulation pour évaluer l'impact d'un changement des variables économiques sur la rentabilité des forages et donc sur le risque que ceux-ci se développent. Une application numérique est faite à l'échelle micro-régionale sur un échantillon de 47 communes pour lesquelles nous avons collecté des données géologiques détaillées et la tarification pratiquée par le service d'eau et d'assainissement.

II. Résultats de l'enquête

Le phénomène est-il important ?

Selon les professionnels (foreurs, vendeurs de pompe et plombiers), entre 10 et 15% des ménages habitant la zone d'étude disposerait d'un forage ou d'un puits dans le jardin. La proportion serait particulièrement forte dans les zones alluviales (où la nappe est proche) ainsi que dans les communes où le prix de l'eau est élevé. Dans la commune de Canet, nous avons recensé, en croisant différentes sources d'information (enquête directe, connaissance du garde municipal effectuant les relevés d'eau, informations fournies par les personnes enquêtées sur leur voisinage) 28 puits et 36 forages sur 892 ménages, soit une proportion de 7% des ménages. Il est cependant probable que de nombreux captages aient échappé à ce recensement.

A Canet comme dans la plupart des villages de la plaine de l'Hérault, la présence d'un *puits* est habituelle dans les maisons anciennes, préexistantes à la création du réseau public de distribution d'eau. Peu profond, il a parfois été conservé pour satisfaire aux usages extérieurs et quelques maisons ont gardé la possibilité de s'y raccorder « au cas où ». Une pompe y est installée pour permettre l'arrosage du jardin

potager traditionnel et/ou du jardin d'agrément, voire le remplissage des piscines. D'autres puits traditionnels (de 5 à 11 mètres) ont également été construits plus récemment, afin d'accéder à l'eau de la nappe des terrasses alluviales. Le *forage* est réalisé sur les parcelles nouvellement construites quand il ne préexistait pas de puits. Il est parfois construit en même temps que la maison, plus souvent quelques années après lorsque les propriétaires sont moins contraints financièrement, et, dans un grand nombre de cas, en même temps qu'une piscine. Dans de rares cas, il est construit par plusieurs ménages qui prévoient de l'exploiter conjointement pour mieux rentabiliser l'investissement. Son usage est plus intense et il alimente parfois des appareils ménagers (machine à laver) ou les sanitaires (chasses d'eau, éventuellement douches) afin de raccourcir la durée du retour sur investissement.

La majorité des professionnels rencontrés affirme que le rythme d'installation des forages s'est accéléré ces dernières années. Les raisons invoquées sont l'augmentation du prix de l'eau et la forte expansion démographique que connaît la zone. Certains professionnels rapportent également des cas où des ménages décident de construire un forage, bien que n'en n'ayant pas l'utilité actuelle, par simple crainte que cela soit prochainement interdit.

Nous retrouvons une telle croissance du rythme des forages à Canet. La Figure 2 présente une estimation du nombre d'ouvrages créés / réhabilités par an, faite à partir des dires des enquêtés et au regard, lorsqu'il n'y avait pas eu d'enquête, des chroniques de consommations individuelles obtenues pour 89 ménages. Nous observons en particulier une recrudescence de l'installation d'ouvrages en 1994, date à laquelle la commune a augmenté son prix de l'eau (Figure 1). Rappelons également qu'il s'agit d'une période à laquelle ont lieu des débats très médiatisés sur le prix de l'eau et le principe de la gestion déléguée.

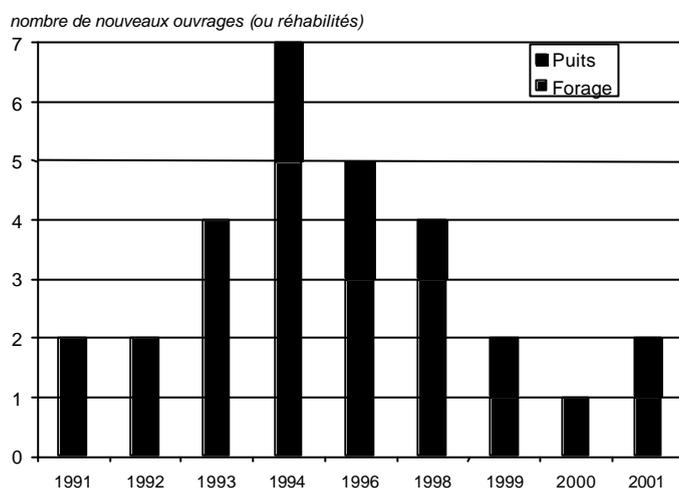


Figure 2 : Nombre de nouveaux ouvrages (ou réhabilités) depuis 1991 à Canet

Qui fore ?

Les observations réalisées sur la commune de Canet et les informations fournies par les professionnels rencontrés suggèrent que des forages peuvent être installés par tout type de ménage, quels que soient leur catégorie socioprofessionnelle, leurs revenus, les caractéristiques de leurs maisons, etc. Ainsi, lorsque la nappe est proche, il arrive que des forages soient installés par des familles modestes ayant construit une maison sur une petite parcelle et n'ayant à arroser que 200 m² de jardin. Selon les foreurs, le cas le plus fréquent est celui de ménages ayant aménagé un jardin de 400 m² et qui sont généralement prêt à forer jusqu'à 50 à 60 mètres. Au-delà de cette profondeur, ce sont essentiellement les propriétaires de grands jardins qui investissent, acceptant parfois de chercher l'eau jusqu'à 100 mètres de profondeur (nappe des sables de l'Astien par exemple). A Canet, la caractéristique commune des ménages ayant un forage est d'avoir une consommation antérieure d'eau importante (plus de 200 m³) du fait de l'existence d'un grand jardin et/ou d'une piscine. Aucune autre variable socio-économique ne les différencie.

Les usages de l'eau du forage

L'eau brute pompée dans un puits ou un forage est souvent exclusivement destinée aux besoins extérieurs (arrosage, piscine, lavage de la voiture). L'économie d'eau potable réalisée peut être conséquente. A titre d'exemple, la Figure 3 montre l'évolution de la consommation d'un ménage depuis la construction du logement en indiquant ses principales décisions. Après une phase initiale d'installation, une pelouse est semée. Quatre ans plus tard, la mise en eau d'une piscine provoque une réduction de l'arrosage de la pelouse, afin de maintenir la facture d'eau à un niveau jugé acceptable. Au bout de deux ans et demi, pour réduire la facture d'eau sans s'empêcher d'arroser une nouvelle pelouse, le ménage décide de forer. La consommation d'eau du robinet passe alors de 500 à 300 m³ par an. Bien que ne disposant pas

d'information pour quantifier le volume prélevé dans le forage, on peut supposer que la consommation d'eau totale (forage + eau du robinet) a augmenté.

Mais l'eau souterraine est parfois également utilisée pour satisfaire les besoins à l'intérieur de la maison : WC, bains/douches, machine à laver le linge et quelques fois même les usages liés à la cuisine et la boisson. La Figure 4 illustre, avec le cas de 3 ménages de Canet, trois cas de figure typiques. La famille (1) consomme plus de 600 m³ par an lorsqu'elle installe un forage au début 1994. Sa consommation s'établit d'abord aux environs de 150 m³ par an, l'eau souterraine étant probablement uniquement utilisée pour répondre aux besoins extérieurs. Puis, en 1995, elle chute à quelques mètres cube, le ménage ayant probablement installé un double réseau et ne se servant de l'eau potable que pour la cuisine. La famille (2) semble avoir décidé d'installer un forage après une période de croissance de sa facture. La baisse de consommation est brutale, suggérant qu'un double réseau a été installé en même temps que le forage pour permettre l'usage intérieur. Enfin, le troisième exemple (3) est celui d'une famille n'utilisant que son forage pendant 3 années (consommation d'eau du robinet nulle) avant de progressivement recommencer à consommer de l'eau du robinet. Ce retour pourrait être dû à la réalisation d'une analyse de l'eau (qui aurait été inquiétante), à un entartrage des appareils électroménagers ...

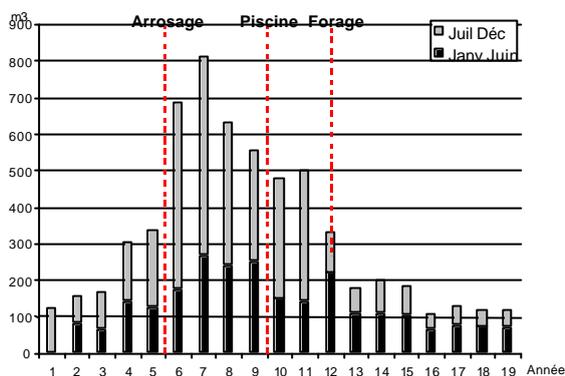


Figure 3 : Impact de la consommation d'eau potable d'un forage – le cas d'un ménage

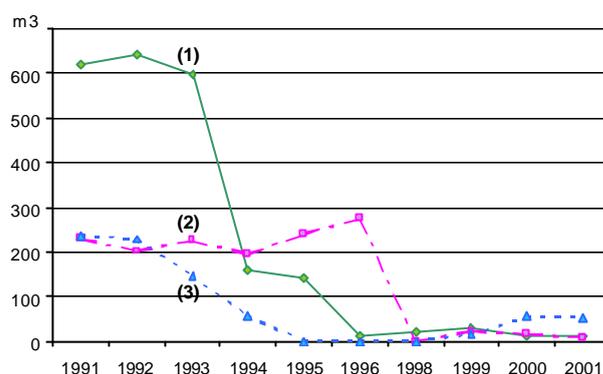


Figure 4 : Exemples de trajectoires types d'utilisation de l'eau pour l'intérieur

Les entretiens réalisés à Canet montrent que peu de ménages réalisent des analyses de la qualité de l'eau, même lorsqu'ils l'utilisent à l'intérieur. Une famille avec deux enfants et ne disposant pas d'eau courante (maison isolée) a déclaré ne pas avoir effectué d'analyse après celle faite lors de l'installation, il y a plus de 20 ans. Quelques ménages ayant envisagé ou projetant une utilisation intérieure ont fait une analyse de l'eau souvent très basique (i.e. sans recherche des produits phytosanitaires): 3 se sont révélées conformes, 4 non et 2 ont détecté des problèmes de calcaire.

Le double réseau est un sujet sensible, aussi bien pour les ménages que pour les professionnels qui ont conscience que (i) les double réseaux installés ne sont pas conformes aux normes en vigueur et (ii) que la commune serait en droit de réclamer une redevance assainissement. A Canet, 2 des 5 ménages avec double réseau en cachent l'existence et/ou le fait qu'ils l'utilisent ou l'ont utilisé ; sur les 24 ménages ayant refusé de répondre à l'enquête, au moins 7 sont suspectés (au vu du niveau de consommation et des caractéristiques de la famille) d'avoir un double réseau.

L'avis des professionnels sur l'usage à l'intérieur de la maison est très partagé. Si l'on exclut les réponses faites par les plombiers qui semblaient assez embarrassés par la question, les autres se disent totalement ignorants et déclarent le déconseiller ou donnent des estimations contradictoires : soit ce serait des cas très rares (entre 1 et 4% des ménages disposant d'un forage), soit cela représenterait un pourcentage significatif (plus de 50% voire proche de 90%).

Quelles motivations pour faire un forage ?

Les informations recueillies auprès des ménages de Canet suggèrent que l'une des raisons motivant l'installation d'un forage est de réaliser des économies sur la facture d'eau (11 citations sur 12 entretiens¹). Mais la décision est aussi motivée par le souhait de pouvoir consommer plus, arroser un jardin plus grand, ne pas compter l'eau (9 citations). Sont également cités les motifs suivants : avoir plus de pression, être autonome par rapport à l'eau, ne pas gaspiller de l'eau de bonne qualité (eau du robinet) pour un usage peu noble comme l'arrosage de la pelouse, etc. Ces motivations sont confirmées par les

¹ L'analyse faite ici porte sur les réponses des 12 ménages ayant décidé de réaliser un forage (entre 1985 et 1999) alors qu'ils disposaient déjà de l'eau du réseau public de distribution d'eau.

professionnels : selon eux, c'est toujours le souci d'économiser dès aujourd'hui sur la facture qui prédomine dans la prise de décision. Viennent ensuite les autres motifs précédemment cités. Trois autres raisons ressortent de ces entretiens : le fait d'avoir ainsi de l'eau de meilleur goût, de faire comme le voisin, la peur de subir une interdiction d'arroser.

Les professionnels estiment en majorité que la plupart des ménages effectue un calcul préalable de rentabilité. Par contre, ils sont partagés sur les éléments pris en compte : 7 pensent qu'ils font un calcul détaillé (connaissant le prix de l'eau de la commune, la consommation qu'ils espèrent économiser ainsi que le coût espéré du forage), 5 qu'un calcul approximatif. Si de nombreux ménages demandent à quelle profondeur on peut espérer trouver l'eau (et font très souvent appel pour confirmer à un sourcier), très peu semblent poser la question de la probabilité de ne pas en trouver d'eau (seuls deux foreurs citent le fait que souvent cette question est posée). Par contre tous les professionnels estiment que certains forages réalisés ne sont pas rentables, soit parce que les ménages s'entêtent à creuser trop profond, soit que les surfaces arrosables sont très faibles (100-200 m²) ou le forage mal fait (donc non durable).

Les enquêtes réalisées semblent conforter la vision de certains professionnels quant au calcul de rentabilité (mais nous sommes ici dans un contexte où il y a une forte probabilité d'avoir de l'eau proche) : 6 déclarent ne pas avoir fait de calcul économique détaillé car pensant trouver l'eau peu profond ou estimant que le forage serait rentable à terme car réalisé « pour la vie » ; 2 n'ont fait qu'un calcul très approximatif. Les 4 ménages restant ont effectué un calcul de rentabilité détaillé (à partir du devis établi par le foreur et de la perspective de croissance du prix de l'eau). *A posteriori*, seuls certains de ceux qui ont dû creuser profondément regrettent leur choix. En moyenne, les interviewés estiment la période de retour sur investissement comprise entre 5 et 10 ans. A titre de comparaison, le Tableau 1 indique, compte tenu des coûts des installations, le nombre de mètres cube d'eau du réseau à consommer pour rentabiliser le forage et une estimation de la période de retour sur investissement en supposant une consommation annuelle de 200 et 500 m³.

Profondeur de l'ouvrage	Coût moyen du forage (euros constants 2001)	Equivalent m ³ d'eau du réseau (au prix de l'année 2001)	Estimation de la période de retour sur investissement	
			200 m ³ /an	500 m ³
10-15 mètres	2 000 €	1 300 m ³	3.8 ans	3.8 ans
40-60 mètres	6 200 €	4 200 m ³	11.8 ans	11.8 ans
80-100 mètres	7 200 €	4 800 m ³	13.4 ans	13.4 ans

Tableau 1 : Coût moyen des 12 forages récents

Aucun cas d'abandon de projet en cours de réalisation n'a été recensé, même si sur les 12 nouveaux forages, la moitié atteint une profondeur comprise entre 40 et 100 mètres. Quatre ménages pensaient trouver de l'eau à faible profondeur (le sourcier l'indiquant vers 10 m). Une fois le forage commencé, mieux valait continuer, « sachant qu'au pire ils étaient sûrs de trouver de l'eau à 90 m » (référence au forage de la cave coopérative). Trois ménages ont déclaré l'avoir réalisé car ils partageaient l'investissement avec un ou deux voisins (souvent de la famille).

III. Modélisation du comportement des ménages

Les informations recueillies par enquête mettent en évidence que la plupart des ménages construisant un forage individuel le font par souci d'économie financière. Bien que d'autres motivations secondaires aient été rencontrées, la décision semble essentiellement reposer sur une évaluation de la rentabilité de l'investissement. Dans cette section, nous présentons un modèle de comportement qui cherche à reproduire le raisonnement économique des ménages.

On suppose qu'un ménage décide d'installer un forage individuel si le coût total lié à cet investissement est inférieur à l'économie qu'il lui permettra de réaliser sur sa facture d'eau potable. Compte tenu de l'incertitude relative à la profondeur à laquelle l'eau va être obtenue et du risque d'échec (forage sec), le coût de l'investissement et le niveau d'économie sur la facture sont des éléments de décision incertains.

Deux sources d'incertitude doivent être distinguées. La première est liée au **risque** de ne pas trouver d'eau dans la couche aquifère visée. Ce risque dépend de la nature géologique du sous-sol : la probabilité de succès (notée ?) est ainsi plus faible sur les plateaux calcaires jurassiques (20 à 30%) que dans les formations miocènes des terrasses de la plaine de l'Hérault (40 à 60%) ou que dans les alluvions quaternaires de la vallée alluviale de l'Hérault (90 à 95%). Les informations recueillies par enquête ont clairement souligné que les ménages percevaient ce risque et qu'ils l'intégraient dans leur décision en anticipant de forer jusqu'à la seconde couche aquifère en cas d'échec dans la première. En revanche, il semble qu'ils sous-estiment la probabilité d'échec dans la deuxième couche, quand elle existe.

La seconde est liée à la variabilité de la **profondeur H** à laquelle peut se trouver l'eau dans une couche aquifère visée. Cette variabilité est forte dans les aquifères fracturés (calcaires) ou fortement hétérogènes (marnes et dépôts alluviaux complexes) mais beaucoup plus faible dans les milieux plus homogènes comme les sables (nappe de l'Astien en bordure de côte) ou les alluvions quaternaires (vallée alluviale de l'Hérault). Les entretiens suggèrent que les ménages perçoivent cette incertitude : lorsqu'ils évaluent la rentabilité économique d'un projet de forage, ils basent leur calcul sur une hypothèse subjective de profondeur. Cette hypothèse subjective, que l'on appelle ici « espérance de profondeur », varie d'un individu à l'autre en fonction de sa perception du risque. Ainsi un ménage à faible revenu est supposé avoir une plus forte aversion au risque qu'un ménage disposant de ressources financières plus importantes et pour qui un échec n'aurait pas de conséquences importantes. L'espérance de profondeur est supposée égale à la moyenne observée de la profondeur à laquelle se trouve l'eau (valeur objective) augmentée d'une profondeur subjective (la prime de risque) égale à l'écart type s multiplié par un coefficient d'aversion au risque F (référence théorique).

L'incertitude décrite ci-dessus se répercute sur le coût de l'investissement. Dans l'hypothèse où la première couche aquifère A_1 est productive (probabilité φ_1), le coût anticipé est égal à la profondeur atteinte $H_1 + F_1$ multipliée par le coût du mètre linéaire de forage et de tubage du puits.

Si au contraire la première couche est improductive (probabilité $1 - \varphi_1$), le forage doit être poursuivi pour atteindre la seconde couche aquifère à une profondeur H_2 . Dans l'hypothèse où cette seconde couche est productive (probabilité φ_1, φ_2), alors le coût est égal à la profondeur atteinte multiplié par le coût du mètre linéaire de forage et de tubage. Si le forage est sec à cette nouvelle profondeur (probabilité égale à $[1 - \varphi_1] \cdot [1 - \varphi_2]$), le coût est égal à la profondeur atteinte multiplié par le coût du mètre linéaire de forage uniquement (le puits n'est pas tubé dans ce cas). Dans ce cas le plus défavorable, la dépense réalisée représente une perte sèche pour le ménage qui doit continuer à s'approvisionner en eau potable.

L'économie réalisée sur la facture dépend du prix auquel le service d'eau potable et d'assainissement est facturé. Plus celui-ci est élevé, plus l'économie permise par un forage est importante. Cette économie est cependant également fonction de la profondeur du forage puisque le coût de pompage croît avec celle-ci.

Le modèle développé reprend l'ensemble de ces hypothèses. Pour une commune dont les caractéristiques géologiques et économiques sont spécifiées (variables d'entrée), il calcule (variables de sortie) :

- le coût probable de l'ouvrage, défini comme la somme du coût de chaque événement décrit ci-dessus multiplié par la probabilité d'occurrence. Ce coût est ensuite ramené à un équivalent annuel en supposant un amortissement sur une période de 15 ans ;
- l'économie réalisée compte tenu du prix de l'eau et du service d'assainissement ;
- le volume minimum d'eau potable que le ménage doit consommer pour que l'économie réalisée sur la facture soit au moins égale au coût attendu de l'investissement. Ce volume minimum représente un seuil de rentabilité.

IV - Application numérique au niveau micro-régional

Le modèle économique est ensuite appliqué à un échantillon de 47 communes appartenant au bassin versant de l'Hérault pour lesquelles on cherche à évaluer le risque de multiplication des forages individuels. La sélection est faite en vue de représenter la diversité des contextes géologiques (sous-sol calcaire jurassique, alluvions quaternaires, sables de l'Astien, marnes du miocène) mais aussi de rendre compte de la diversité des niveaux de prix (eau et assainissement). Les données de prix sont collectées directement auprès des communes ou des structures intercommunales de gestion. Une analyse détaillée de la carte géologique et des données de forage disponibles au Brgm est ensuite réalisée pour identifier, pour chaque commune, la nature des deux premières couches aquifères, la profondeur moyenne P_1 et P_2 à laquelle l'eau peut être atteinte dans chacune des couches, les écarts type s_1 et s_2 associés à ces moyennes et les probabilités qu'un forage soit sec dans chacune (φ_1 et φ_2).

Le modèle économique présenté dans la section III est appliqué à cet échantillon afin d'estimer le *volume que doit au minimum consommer un ménage pour qu'il décide forer*, compte tenu du niveau de prix de l'eau et des caractéristiques de l'eau souterraine. Le calcul est réalisé pour chaque commune et la sensibilité des résultats aux différents paramètres est vérifiée.

Les résultats montrent que la rentabilité des forages est très variable. Une analyse en composante principale des résultats fait apparaître 4 groupes de communes, représentatifs de configurations « types ».

- Le premier groupe (12 communes) est constitué de communes situées à l'aplomb de la nappe alluviale de l'Hérault et où le prix de l'eau atteint un niveau moyen (moyenne de 1.6 €/m³ assainissement compris). L'eau se situe systématiquement à moins de 20 mètres de profondeur et la probabilité de trouver de l'eau est supérieure à 75%. Pour les communes se trouvant dans cette

configuration, le volume minimum que doit consommer un ménage pour que la création d'un forage soit rentable est systématiquement inférieur à 90 m³ (moyenne de 67 m³/an). Notons que 90 m³ est un volume inférieur à la consommation annuelle d'une famille type (volume de référence de 120 m³ par an). Autrement dit, dans ces communes, un forage est un investissement rentable pour toute famille à condition d'installer un double réseau. Le risque d'augmentation du nombre de forages est donc alors très élevé, en particulier si le prix de l'eau augmente.

- Le deuxième groupe (14 communes) est constitué de communes dans lequel le prix de l'eau est suffisamment élevé (1.9 €/m³ en moyenne) pour que la réalisation d'un forage soit rentable en dépit de la grande profondeur à laquelle il faut descendre ou du risque d'échec. Pour les 14 communes se trouvant dans cette configuration, le volume minimum devant être consommé pour qu'un forage soit rentable est compris entre 120 et 330 m³ par an (moyenne de 210 m³/an). Une augmentation du prix contribuerait à réduire ce volume minimum et à accroître le risque de multiplication des forages.
- Le troisième groupe (8 communes) est rassemble des communes dans lesquelles le prix de l'eau est faible (1.3 €/m³ en moyenne), ce qui n'incite pas les ménages à réaliser des forages, indépendamment des caractéristiques hydrogéologiques. Pour ces communes, le volume minimum à consommer pour qu'un forage soit rentable est compris entre 340 et 600 m³ (moyenne de 440 m³/an).
- Le quatrième groupe (13 communes) est celui des communes où l'accès à l'eau souterraine est soit très coûteux (profondeurs supérieures à 100 m) soit très incertain (probabilités d'obtention d'eau inférieures à 25%). Pour ces communes, le volume minimum à partir duquel un forage devient rentable est compris entre 400 et 1250 m³/an (730 m³ en moyenne). Le risque de développement de nouveaux forages est alors faible, d'autant plus que ces communes pratiquent déjà souvent un prix de l'eau élevé (1.7 €/m³ en moyenne).

Le modèle a ensuite été utilisé en simulation pour identifier les paramètres économiques susceptibles d'influencer le développement des forages individuels dans l'échantillon de communes. Les résultats de ces simulations montrent que seuls deux facteurs peuvent avoir un impact significatif : le prix de l'eau potable et de l'assainissement et le coût des forages.

Concernant le *prix de l'eau potable*, le scénario envisagé consiste à supposer que la population accueillie dans les petites communes rurales de la zone va continuer de croître à un rythme soutenu pendant la décennie à venir, ce qui rendra nécessaire la réalisation d'investissements, lesquels se traduiront par une hausse du prix de l'eau de 1/3 (ce qui représente une augmentation modérée en valeur absolue, compte tenu du faible niveau de prix dans notre échantillon).

Concernant le *coût des forages*, deux scénarios peuvent être envisagés : le premier consiste à supposer que la hausse du nombre d'entreprises présentes sur le marché se poursuit, accroissant la concurrence et baissant la qualité des prestations (en particulier le non respect des normes de qualité de création des forages qui représente déjà actuellement un problème) ; les coûts de forage diminuent alors d'environ 25%. Le second scénario suppose au contraire que l'Etat renforce ses contrôles sur les entreprises de forage pour assurer une conformité de la qualité des ouvrages aux normes en vigueur, ce qui conduit à un assainissement du marché et à une hausse des tarifs pratiqués de 25%.

Les résultats de ces scénarios, présentés dans le Tableau 2, montrent qu'une hausse du prix de l'eau de 1/3 conduirait à une diminution moyenne de 26% du seuil de rentabilité des forages et qu'une croissance du coût de forage de 25% se répercuterait directement sur la rentabilité des forages (augmentation d'un facteur 1.25 du volume minimum). On montre également qu'une hausse du prix de l'eau combinée à une baisse des coûts de forage réduirait le seuil de rentabilité de 44%, générant ainsi un véritable risque de développement des forages dans les communes des groupes 2 et 3 de la zone d'étude.

Consommation annuelle minimale (m ³ /an)	Situation actuelle	Prix de l'eau +33%	Coût de forage +25%	Prix de l'eau +33% Coût de forage -25%
Groupe 1 (12 communes)	67	50	84	38
Groupe 2 (14 communes)	210	157	263	118
Groupe 3 (8 communes)	437	327	546	245
Groupe 4 (13 communes)	725	542	906	407
Total de l'échantillon (47)	355	265	443	199

Tableau 2 : Résultats de simulations

V - Implications pour la politique de l'eau et conclusion

La multiplication des forages individuels déjà observées dans certaines régions engendre quatre types de problèmes :

- le nombre élevé et la mauvaise qualité des forages individuels représentent un risque de pollution des aquifères. En effet ils mettent souvent en communication, en de très nombreux points, des couches hydrogéologiques distinctes, permettant ainsi la contamination d'aquifères de bonne qualité par d'autres (remontée d'eau salée, descente d'etc.) et accentuant le risque de contamination des nappes par les polluants de surface (produits de jardinage, hydrocarbures et solvants entraînés par les eaux de ruissellement);
- le fait que l'eau soit utilisée à l'intérieur des habitations (double réseau) pose un problème de santé publique notamment du fait du risque de « retours d'eau » dans le réseau public mais aussi parce que certains ménages consomment une eau non conforme ;
- le développement de ces forages rend plus difficile la prévision la demande en eau future, ce qui génère un environnement très incertain (et risqué) pour les collectivités qui cherchent à anticiper la nature des investissements à réaliser (d'autant plus que ces derniers sont dimensionnés pour répondre à la demande de pointe, donc estivale) ;
- un problème de gestion des services publics locaux, la baisse de la consommation en eau potable réduisant l'assiette de facturation de l'assainissement et menaçant l'équilibre budgétaire.

Il semble donc important d'identifier les instruments permettant de contrôler le développement des forages individuels. La principale difficulté à surmonter est le manque d'information dont souffrent les décideurs publics et gestionnaires. Une solution consisterait à rendre l'entreprise de forage responsable de la déclaration (et non le particulier), en imposant que soit réalisée une pré-déclaration avant le démarrage de chaque chantier (ce qui faciliterait les contrôles aléatoires).

Une deuxième solution (complémentaire) serait d'utiliser les instruments économiques pour réduire l'attractivité économique du forage pour les ménages : en imposant que l'assiette utilisée pour le calcul de la redevance assainissement soit un volume de référence (comme 120 m³ par foyer et par an) et non la consommation effective d'eau potable (très faible pour les ménages ayant un forage) ou en proposant un compteur « vert » qui permet aux ménages de ne pas payer l'assainissement sur l'eau utilisée dans le jardin. De telles mesures réduiraient considérablement la rentabilité des forages.

Enfin, une troisième solution consiste à développer les réseaux d'eau brute qui permettent aux ménages d'arroser les jardins avec une eau de qualité non potable et moins chère que celle-ci. Cette solution suppose qu'existent une ressource en eau alternative et une infrastructure de distribution, qui doit être modifiée et étendue. Certaines collectivités, dont le Conseil Général de l'Hérault, se sont engagées dans cette voie en finançant le développement de tels doubles réseaux.

Remerciements

Nous tenons à remercier l'équipe municipale de Canet pour son soutien actif et en particulier M. le Maire Revel, Mme Campoy et Mme Segura. Ce travail a bénéficié du soutien financier de la Commission Européenne (Aquadapt EVK1-CT-2001-00104), du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, de la Direction Scientifique du Cemagref et de la Direction de la recherche du Brgm.

Encadré 1 : Législation relative à la création de forages en France

Chacun a le droit "de disposer librement des eaux de source et souterraines de son fonds, si elles ne constituent pas des eaux courantes" (article 641 du Code Civil), et donc de construire un puits. « Aucune autorisation n'est nécessaire pour l'utilisation d'eau prélevée dans le milieu naturel à l'usage personnel d'une famille » (décret du 20/12/2001 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine). Ce droit reconnu à chacun est ensuite soumis à d'autres réglementations. Ainsi, le décret d'application de la loi sur l'eau n°205 du 06/03/2001 impose la déclaration des prélèvements supérieurs à 8 m³/h et l'autorisation au-delà de 80 m³/h. Les préfetures peuvent réduire ces seuils dans les zones de ressource insuffisante. Les prélèvements à usage domestique, c'est-à-dire inférieurs à 40 m³/jour, échappent à la procédure précédente.

A noter, d'autres obligations. L'article 131 du code Minier impose de déclarer à la l'ingénieur en chef des mines, tout ouvrage souterrain ayant plus de 10 mètres de profondeur. De plus, toute personne tenue de se raccorder au réseau d'assainissement et qui s'alimente en eau, totalement ou partiellement, à une source autre qu'au réseau doit en faire la déclaration à la mairie (article R.372-10 du Code des Communes). Enfin, il est formellement interdit (sauf dérogation du préfet) de raccorder son puits au réseau intérieur pour éviter les retours d'eau (décret du 20/12/01 *op.cit.*).

Synthèse

La hausse du prix de l'eau potable observée ces dernières années semble avoir conduit à une diminution de la consommation moyenne d'eau potable par foyer. Si certains ménages ont effectivement réalisé des économies d'eau, d'autres se sont tournés vers des ressources de substitution comme la récupération d'eau de pluie, l'installation de forages de jardins ou la réhabilitation de puits, ou encore le raccordement à des réseaux d'eau d'irrigation. Cet article présente les résultats d'un travail de recherche qui vise à décrire et analyser le développement des forages individuels à travers une étude de cas réalisée dans la moyenne vallée de l'Hérault.

Après une présentation des principales étapes de la méthode (seconde partie), la deuxième partie de l'article présente les résultats d'une enquête réalisée en 2002 auprès de 55 ménages de la commune de Canet et de 15 professionnels opérant dans la moyenne vallée de l'Hérault. Les informations recueillies suggèrent que 10% environ des foyers ont installé un forage dans la zone d'étude, ce pourcentage étant en augmentation constante. Les forages peuvent être installés par tout type de ménage, quelle que soit leur catégorie socioprofessionnelle, leurs revenus, les caractéristiques de leurs maison, etc. Les forages réalisés par des particuliers atteignent fréquemment des profondeurs de 50 à 60 mètres et ils dépassent occasionnellement la centaine de mètres. Ils ne sont pas uniquement localisés dans les communes où le prix de l'eau est très élevé. Les ménages comme les foreurs considèrent que la création d'un forage est un investissement rentable et ils estiment que la durée de retour sur investissement est de l'ordre de 5 à 10 ans. Dans la plupart des cas, la construction d'un forage est motivée par un souci d'économie financière et les ménages réalisent un calcul économique très sommaire.

La troisième partie de l'article présente une représentation schématique du comportement des ménages sous forme d'un modèle micro-économique. Ce modèle suppose que les ménages décident d'installer un forage si le coût de l'investissement est inférieur à l'économie qu'il permet de réaliser sur la facture d'eau potable. Le modèle représente la manière dont la décision prend en compte l'incertitude liée à la profondeur à laquelle l'eau peut être obtenue et le risque d'échec (forage sec). Il calcule le volume d'eau que doit au minimum consommer un ménage pour que l'installation d'un forage soit rentabilisé sur une durée de 15 ans. Le modèle peut être utilisé pour simuler l'impact de variation des paramètres d'entrée (tarification de l'eau, coût du forage, profondeur de la nappe, probabilité de trouver de l'eau, etc) sur le seuil de rentabilité (exprimé en volume d'eau).

La quatrième partie de l'article décrit les résultats d'une application numérique du modèle économique sur un échantillon de 47 communes de la zone d'étude. L'échantillon de communes est constitué de manière à représenter la diversité des contextes géologiques (sous-sol calcaire jurassique, alluvions quaternaires, sables de l'Astien, formations du miocène) mais aussi à rendre compte de la diversité des niveaux de prix (eau et assainissement). Les données de prix sont collectées directement auprès des communes ou des structures intercommunales de gestion. Une analyse détaillée de la carte géologique et des données de forage disponibles au Brgm est ensuite réalisée pour décrire la profondeur moyenne de l'eau souterraine et le risque de ne pas trouver d'eau. Le seuil de rentabilité est calculé pour chaque commune.

Les résultats mettent en évidence quatre configurations principales. La première configuration, représentée par 12 communes de l'échantillon, est celle dans laquelle l'eau est très facilement accessible (nappe alluviale peu profonde) et où le prix de l'eau est suffisamment élevé pour qu'un forage peu coûteux soit un investissement rentable. La deuxième configuration (14 communes) est celle dans laquelle le prix de l'eau est suffisamment élevé pour que la réalisation d'un forage soit rentable même si l'eau se trouve à une profondeur importante. La troisième configuration (8 communes) rassemble des communes pour lesquelles le prix de l'eau est faible ce qui n'incite pas les ménages à réaliser un forage. Enfin, la quatrième configuration (13 communes) est celle où l'accès à la ressource est soit trop coûteux, soit trop risqué (faible probabilité de trouver de l'eau) pour que les ménages ne réalisent un forage, même si le prix de l'eau est élevé.

Enfin, le modèle est utilisé en simulation pour estimer l'impact d'un changement de tarification et/ou d'une variation du coût de forage sur le seuil de rentabilité des forages dans les 47 communes. L'article conclue en décrivant les principaux problèmes que pose la multiplication des forages individuels pour les collectivités locales. Il suggère également quelques pistes de réflexion relatives aux instruments économiques et réglementaires qui pourraient être mobilisés pour contrôler le développement des forages.

Summary

The increase in water price which has occurred during the last decade has apparently resulted in a decrease in household water consumption. This result is partly due to the adoption by households of water saving equipment and a raising awareness of water scarcity. However, it is also due to the fact that an increasing number of households use alternative water resources : rain water recovered from the roof, ground-water pumped with private tube-wells and raw water obtained from irrigation systems in rural and semi-urban areas. This paper presents the results of a research aiming at describing and analysing the development of private tube-wells through a case study conducted in the middle Hérault valley, in S. France.

After a presentation of the research methodology and field site characteristics (section 1), the paper presents the results of interviews conducted in 2002 with 55 households of a selected municipality (Canet) and with 15 professionals operating in the area (section 2). The information obtained suggest that approximately 10% of the households have installed (or renovated) a tube-well or an open well. This percentage is thought to be continuously growing. It appears that tube-wells are installed by all types of households, independently from the socio-professional category they belong to, from their income or from the characteristics of their house. Households frequently drill as deep as 50 to 60 meters and occasionally over 100 meters. They are not found only in municipalities where the price of water is high. Both the households and the professionals interviewed assert that most of the tube-wells are profitable investments with a return period ranging from 5 to 10 years. In most cases, saving on the water bill is the major reason that motivates the decision to construct a tube-well.

The third section of the paper presents a micro-economic model which represents household's decision to invest in a tube-well. The model assumes that a household will invest only if the forecasted saving on the water bill on a 15 years period exceeds the cost of investment. The model accounts for the uncertainty faced by the household when taking the decision (uncertainty related to water depth and probability to obtain water). The model can be used to simulate the impact of changes in input parameters (water price, drilling cost, groundwater depth...) on the profitability of tube-well (expressed in volume).

The fourth section presents an numerical implementation of the model on a sample of 47 municipalities of the study area. The municipalities have been selected in order to represent the diversity of hydrogeological contexts (karst aquifers, quaternary alluvial deposits, sand aquifer, etc) and economical contexts (water and sanitation prices). Price data were collected from the municipalities. A detailed analysis of the geological map and drilling data available at Brgm was then carried out to describe the average groundwater depth and probability to obtain water under each municipality. A minimum profitability threshold (expressed in volume of water) was then computed for each of the 47 municipalities.

The results show four typical cases. The first one (12 municipalities of our sample) is characterised by easily accessible groundwater (alluvial aquifer) and a level of water price sufficient to induce economic incentives for households to drill cheap wells. The second situation is represented by 14 municipalities where the relatively high water price results in households drilling deep wells. The third situation (8 municipalities) is characterised by low water price which reduces economic incentives to drill. And the fourth situation (13 municipalities) is that of cases where access to water is either too costly or too risky for households to invest, whatever be the price of water.

Finally, the model is used to simulate the impact of a change in water price and/or a change in drilling cost. The paper concludes with describing the major problems caused by the uncontrolled development of private tube-wells. It then suggests possible economic and regulatory instruments that could be used to regulate the development of private tube-wells.