

HOMMES, TERRE ET EAUX

Dépôt Légal 21- 1971

N°164 Novembre / 2017

SOMMAIRE

Editorial..... 3

Thème 1 : Gouvernance des eaux souterraines

- L'analyse économique, outil d'aide à la décision dans la démarche du choix d'actions pour la protection de captages d'eau. Harbouze et al.....5
- Les eaux souterraines peuvent-elles assurer le développement durable de l'élevage bovin au Maroc ? Enseignements à partir d'études en exploitations de polyculture/élevage. Srairi et al18

Thème 2 : Amélioration des connaissances des eaux souterraines

- Cartographie multicritère de la potentialité de recharge artificielle des nappes souterraines dans les régions arides par les outils de la télédétection et du SIG (Cas de la région de Sabkh et Noual, Tunisie Méridionale). Msaddek et al.....28
- Etablissement d'un réseau de surveillance piézométrique et hydrochimique des nappes CT et CI du domaine Sass (Partie Algérie). Benhamida et al.....31
- Gestion et protection de la ressource en eau souterraine, cas de la nappe phréatique de la côte orientale au nord-est de la Tunisie. Gaaloul et al.....42
- Assessment of surface water- groundwater connectivity for sustainable aquifer management in Semi-Arid regions of Tunisia. Chekirbane et al.....45
- Surexploitation et salinisation des eaux souterraines de la nappe phréatique d'El Haouaria (Cap Bon – Tunisie). Jamel et al47
- Intrusion Marine et mise en évidence du risque de la salinisation d'une nappe phréatique à Alger Est. Morsli et al50
- Lutte contre l'intrusion marine dans la baie d'Alger. Berdeja57
- Contribution des Isotopes du Milieu (Stables et Radioactifs) à la gestion des ressources en eau en zones arides (Cas du bassin du Sahara septentrional). Guendouz et al60

- Apport des traceurs chimiques et isotopiques à l'étude du mode de recharge du système aquifère de mateur (Tunisien) : vers une meilleure gestion de la ressource.
Ben Alaya et al.....67

Thème 3 : Usage des eaux souterraines et leurs impacts

- L'impact des projets de reconversion vers l'irrigation localisée sur l'accès aux ressources en eau souterraine. Boularbah et al69
- Impact de l'évolution des ressources en eaux souterraines sur la dégradation des palmeraies, cas de la plaine de Tafilalet. El Khoumsi et al72
- Modèle de régression multilinéaire pour l'estimation des prélèvements journaliers dans la région de Sisseb (Kairouan). Seyeh et al75
- Analyse multicritère et géospatiale pour le choix des sites favorables à la recharge de la nappe phréatique de grombalia par les eaux usées traitées. Souissi et al.....77
- Etude d'impact des pratiques agricoles et des rejets d'eau usée sur la qualité des eaux de forages. Belarbi et al92

Adresse ANAFIDE : 2, Rue Haroun Errachid, Agdal – RABAT

Tél : 0661 09 41 75 - Tél/Fax : 05 37 67 03 20

E-mail : anafide.ma@gmail.com

Site Web : www.anafide.net

L'analyse économique, outil d'aide à la décision dans la démarche du choix d'actions pour la protection de captages d'eau

Rachid Harbouze¹, Philippe Le Grusse²,
Rachid Doukkali³ et Michel Garrabe⁴

RESUME

Pour obtenir et maintenir une eau potable qui réponde aux normes, les collectivités locales ont le choix entre deux types d'actions : préventives par la mise en place de périmètres de protection de captages d'eau potable (PPC) ou d'aires d'alimentation de captages (AAC), ou/et curatives qui consistent à traiter les eaux pour satisfaire les exigences réglementaires. La mise en place des actions préventives aboutit à l'instauration de prescriptions sur les activités existantes et futures. Cependant, à l'heure actuelle, la procédure de mise en place des périmètres de protection des captages d'eau potable ne prend pas en compte les impacts financiers et économiques des prescriptions, ce qui pose des problèmes d'acceptabilité de cet instrument mais aussi des difficultés méthodologiques pour l'évaluation des impacts des prescriptions, en particulier celles appliquées au secteur agricole. Le but de cette étude est de répondre à la

nécessité de prendre en compte le volet financier et économique dans le cadre des procédures préventives. Ainsi, l'étude propose un protocole d'évaluation socio-économique pour améliorer la procédure PPC. Dans le cadre de ce protocole, nous avons mis en place, d'une part, un ensemble complet de données sur les coûts financiers des mesures agricoles et non agricoles appliquées dans le cadre de ces PPC et, d'autre part, une méthode qualitative basée sur l'analyse des coûts et bénéfices supportés par les acteurs impactés par les PPC.

Mots clés : Protocole d'analyse socio-économique, Captage d'eau potable.

Les moyens mis en œuvre pour remédier à la pollution des eaux destinées à la consommation humaine.

L'eau est un produit très surveillé et les services publics de l'alimentation en eau potable et de l'assainissement font l'objet d'un encadrement juridique très rigoureux. Les maires ont la responsabilité d'organiser, sur le territoire de leur commune, les activités de production et de distribution de l'eau. Depuis la création des agences de l'eau il y a 43 ans, il existe une nette régression de la pollution de l'eau d'origine industrielle, domestique et urbaine, mais demeure une tendance pratiquement généralisée sur tout le territoire français à un accroissement des pollutions d'origine agricole, essentiellement dues aux nitrates et pesticides (Vernoux 2007), cette problématique pose des enjeux de santé

¹ Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II. B.P 6202, Madinat Al Irfane, 10101 Rabat, Maroc
r.harbouze@iav.ac.ma

² CIHEAM-IAMM : Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier, 3191 Route de Mende, 34093 Montpellier cedex 5, France. legrusse@iamm.fr

³ Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II. B.P 6202, Madinat Al Irfane, 10101 Rabat, Maroc.
mr.doukkali@iav.ac.ma

⁴ Université de Montpellier, Faculté d'Economie, Avenue Raymond Dugrand – Site de Richter – C.S. 79606-F 34960 Montpellier Cedex 2, France.
michel.garrabe@umontpellier.fr

publique non encore bien établis, mais d'ores et déjà préoccupants⁵. En effet, l'Etat essaie de répondre à cette problématique par le biais de plusieurs instruments : Grenelle de l'environnement, le plan Ecophyto 2018, la directive nitrates...

Pour obtenir et maintenir un avantage général (une eau potable qui réponde aux normes) les collectivités locales ont le choix entre deux types d'actions :

- Des actions préventives via la mise en place de **périmètres de protection des points de captage d'eau potable (PPC)** ou récemment **les aires d'alimentation de captage (AAC)**,
- Des actions curatives ou correctives, qui consistent à traiter les eaux pour satisfaire les exigences réglementaires.

La garantie d'une eau potable, par la mise en œuvre de mesures préventives pour ce qui concerne les points de captages d'eau, fut l'une des premières préoccupations des hygiénistes en France, dès le début du siècle dernier. Cependant, la mise en place des PPC n'est devenue obligatoire qu'en application des Lois n° 64-1245 du 16/12/64 (relative au régime et à la répartition des eaux et à la lutte contre leur pollution) et celle sur l'eau du 3 janvier 1992 étend cette obligation à tous les ouvrages existants ne bénéficiant pas d'une protection naturelle.

L'instauration d'un PPC constitue un moyen de prévention face aux pollutions ponctuelles ou accidentelles et on note que, jusqu'à ce jour, on ne prend pas en compte la pollution diffuse dans la définition de ces périmètres. Ces derniers ne concernent pas la protection globale de la ressource captée mais uniquement les zones de captages et le

⁵ Etat des lieux – Bassin du Rhône et des cours d'eau côtiers méditerranéens – Adopté par le Comité de Bassin du 4/03/2005.

secteur proche d'aquifère rendu sensible par le prélèvement. Un PPC est composé de trois périmètres de protection :

1. LE PERIMETRE DE PROTECTION IMMEDIAT (PPI) :

Il doit éliminer tout risque de contamination directe de l'eau captée et correspond souvent physiquement à la parcelle cadastrale sur laquelle se situe l'ouvrage de captage. Il est obligatoirement acquis en pleine propriété par le maître d'ouvrage (la collectivité) et doit être clôturé. Toute activité y est interdite autre que celles nécessaires à la gestion, l'exploitation et l'entretien de l'ouvrage de prélèvement.

2. LE PERIMETRE DE PROTECTION RAPPROCHE (PPR) :

Il vise à protéger le captage des migrations de substances polluantes. Sa superficie dépend du type d'aquifère exploité et des activités pratiquées dans l'aire d'alimentation du captage. Ce périmètre fait l'objet d'application de servitudes en contrepartie d'indemnités : les activités (construction, rejets, dépôts, épandages....) qui peuvent nuire à la qualité des eaux sont susceptibles d'être interdites ou réglementées.

3. LE PERIMETRE DE PROTECTION ELOIGNE (PPE)

Facultatif, il a une emprise très variable. Seules des dispositions visant à renforcer la réglementation générale peuvent y être mises en place. Il correspond souvent à la zone d'alimentation du point d'eau. Au sein de ce périmètre sont également réalisées des actions de communication et de sensibilisation.

Un nouvel outil réglementaire est en train d'être appliqué sur les 507 captages

grenelle⁶ les plus menacés par la pollution diffuse, il s'agit de l'aire d'alimentation de captages « AAC » (article L.211-3 du code de l'environnement, modifié par la loi sur l'eau et les milieux aquatiques du 31 décembre 2006). Cet outil désigne la zone de surface sur laquelle l'eau qui s'infiltre ou ruisselle alimente le (s)captage(s). Il a pour principal objectif la lutte contre la pollution diffuse agricole en mettant en place des programmes d'actions volontaires avec possibilité de passer à des programmes obligatoires après un délai de trois ans. En effet, le préfet peut rendre obligatoire le programme d'action si la souscription par les agriculteurs n'est pas satisfaisante.

Difficulté de mise en place et d'évaluation des instruments de protection des captages d'eau potable.

Lorsque la qualité de l'eau brute est dégradée, il faut engager des actions de restauration en luttant contre les pollutions diffuses (suppression des sources, augmentation du temps de transfert...) tout en continuant, transitoirement, à s'appuyer sur des solutions curatives. De nombreuses collectivités ont préféré s'engager dans l'approche curative par souci de rapidité, d'efficacité et de maîtrise des actions et/ou par peur des difficultés liées aux actions de restauration de la ressource qui sont longues, difficiles, risquées politiquement, tout en négligeant les conséquences environnementales. Cependant les traitements peuvent être coûteux et la ressource brute tend à se dégrader sous l'effet des contaminants. Ainsi, entre 1998 et 2008, 4811 captages ont été abandonnés, dont 878 abandons étaient liés à une

dégradation de la qualité de l'eau vis-à-vis des nitrates et/ou pesticides (WHO 2012).

Aujourd'hui, à peine 45 % des captages d'eau potable sont dotés de périmètres de protection satisfaisant la réglementation nationale de 1988, et ce, 22 ans après sa publication (CGDD 2011). Les procédures pour la mise en place des prescriptions (mesures de protection) dans le cadre de l'approche préventive (les PPC ou AAC) connaissent en général des problèmes d'acceptabilité de la part des différents acteurs, ce qui pose un problème majeur pour l'aboutissement des procédures. Cette problématique de non-aboutissement des procédures de protection des points de captages d'eau potable est directement liée à la non prise en compte du volet financier et économique dans cette procédure. En effet, les PPC sont définis par des hydrogéologues agréés, seulement sur la base de critères hydrogéologiques.

En général, les PPC et/ou AAC se trouvent essentiellement dans des zones agricoles. En effet, 66%⁷ des captages grenelle sont des zones à vocation agricole (Barrez et al. 2012). Les mesures agro-environnementales sont l'outil le plus utilisé suite à l'instauration des PPC-AAC, pour maintenir et/ou réduire la pollution diffuse d'origine agricole. Dans le cas d'une pollution par les produits phytosanitaires, l'objectif de ces mesures est la réduction de l'indice de fréquence de traitements phytosanitaires « IFT »), cet indicateur de pression se base seulement sur la réduction de la quantité de l'utilisation des produits phytosanitaires pour la ramener à une norme régionale prédéfinie. Cependant, pour répondre à cet objectif, les agriculteurs changent les produits phytosanitaires déjà utilisés par des

⁶ Liste des captages prioritaires Grenelle
www.sante.gouv.fr/IMG/pdf/LISTE_CAPT_GRENELLE_030809.pdf

⁷ 82% si on prend en considération la surface en forêt.

produits plus performants qui peuvent être plus toxiques pour l'environnement et leur santé. Dans ce cas, une exploitation peut répondre à l'objectif de la MAE (réduction de l'IFT) mais, en même temps, elle peut davantage polluer l'environnement, et les produits utilisés suite à la contractualisation de la MAE seront plus toxiques pour la santé de l'agriculteur et des ouvriers (santé applicateur). Ceci nous amène à poser la question de la pertinence de l'indicateur d'évaluation des mesures agro-environnementales dont l'objectif est la simple réduction des quantités de produits phytosanitaires utilisées.

Les prescriptions mises en place dans le cadre des instruments de protection des captages d'eau potable induisent des coûts et bénéfices (impacts) pour les acteurs assujettis à ces prescriptions, ces impacts peuvent être d'ordres financiers, économiques et/ou sociaux. Il est donc important de connaître ces impacts et d'être en mesure de les quantifier, l'utilisation de l'évaluation économique peut fournir des informations utiles à la problématique de non aboutissement de nombreuses procédures de PPC due essentiellement à l'acceptabilité des prescriptions. L'évaluation économique mesure la variation d'utilité produite sur l'ensemble des acteurs concernés par un projet par rapport à une situation témoin (CGDD 2011).

4. METHODES

L'Analyse coûts bénéfices (ACB) classe les projets publics en fonction du surplus économique qu'ils procurent à la collectivité. Ses fondements théoriques sont liés au courant de pensée néo-classique (économie du bien-être) qui cherche à expliquer les conditions d'amélioration du bien-être des individus. L'ACB compare les

gains et les pertes associés à un projet ou une politique. Les gains et les pertes sont étroitement liés à l'accroissement et à la diminution du bien-être humain (ou de l'utilité). Cette variation du bien-être est évaluée par la volonté de payer pour un gain ou le consentement à recevoir pour une perte. Dans le cas d'une ressource en eau, les mesures de protection engendrent différents coûts et bénéfices pour divers usages (eau potable, agriculture, etc.). En effet, la protection engendre des prescriptions et des restrictions sur différents acteurs, principalement : l'agriculture, l'industrie, les ménages et les collectivités.

Agriculture : les prescriptions mises en place imposent la réduction de la fertilisation et celle des produits phytosanitaires. En général, l'outil le plus utilisé est les MAE. Cette réduction d'intrants engendre des coûts directs et indirects.

Industrie : les prescriptions induisent des coûts directs : réhabilitation et/ou création d'installations répondant aux normes de rejets en vigueur.

Ménages : les prescriptions engendrent des coûts directs, par exemple l'obligation de se raccorder au réseau d'assainissement public ou la réhabilitation/création d'assainissement autonome, la réhabilitation/fermeture de puits privés. Coûts liés à la réduction des pesticides dans leurs jardins, etc.

Collectivités : les prescriptions induisent de fortes contraintes sur le foncier : interdiction de construire ou construction très coûteuses (répondant aux normes).

Ces acteurs sont aussi touchés par ce qu'on peut appeler le coût de l'incertitude (CI) « ou de l'information » par rapport aux paramètres hydrogéologiques, il est lié aux

erreurs potentielles lors de la délimitation des PPC. En effet, la surface du PPR dépend essentiellement des données hydrogéologiques. On peut évaluer ce coût par rapport au manque à gagner lié aux restrictions et/ou interdictions induites pour l'utilisation des terres agricoles et/ou développement des activités (industrielles, artisanales etc.).

$$CI = \sum_i Z_i . S + \sum_i Z_i . N$$

Z_i : coût (manque à gagner des terres et/ou activités induit par une restriction ou une interdiction).

S : surface des terres impactées par les interdictions et/ou restriction.

N : Nombres d'activités (unités) impactées par les interdictions et/ou restrictions

La législation européenne, à travers la Directive Cadre sur l'Eau, encourage l'utilisation de l'analyse économique pour évaluer les coûts, les bénéfices et la rentabilité des solutions lors de la prise de décision pour le choix de projets en relation avec les milieux aquatiques. Les Etats membres peuvent recourir à plusieurs méthodes et outils économiques. Cependant, le moyen le plus utilisé pour la prise de décision est l'analyse coûts bénéfices (Bartlett et al. 2014).

Le modèle conceptuel que nous avons élaboré pour l'évaluation économique d'un scénario de protection préventive d'une ressource en eau se base sur cette méthode. Les avantages de l'utilisation de cette approche sont : i) les modèles Coûts bénéfices permettent de tenir compte des compromis entre les acteurs concernés par les actions de protection, et ii) ces modèles sont relativement simples à construire et faciles à comprendre.

Dans notre modèle, la sélection d'une solution de protection pourra se faire soit par le choix d'acteurs (coûts/bénéfices par acteur) soit par celui de prescriptions (coûts/bénéfices par prescription). Néanmoins, cette méthode présente des limites pour l'évaluation économique des impacts environnementaux (Dorfman 1996),(Heinzerling et al. 2002), ce problème se pose en particulier pour l'évaluation des impacts des mesures agroenvironnementales, car ceux-ci sont difficilement quantifiables du fait du caractère diffus des pollutions d'origine agricole. Pour répondre à ce problème, nous proposons l'utilisation de la notion d'efficacité pour l'identification des différents impacts des MAE, ces derniers peuvent être utilisés par la suite dans une analyse coûts bénéfices.

5. RESULTATS

Pour élaborer le modèle conceptuel d'évaluation des mesures de protection préventives sur les activités agricoles et non agricoles, une démarche est mise en œuvre (Figure 1 : Pollution d'origine agricole, Figure 2 : Pollution d'origine non agricole) :

5.1 Pollution d'origine agricole :

Le modèle se décline en quatre étapes :

- Etape 1 : a) Estimation et répartition des pressions diffuses d'origines agricoles.
b) Mesures correspondant à la vulnérabilité spécifique et aux systèmes de cultures.
- Etape2 : Choix des mesures : élaboration du plan d'action.
- Etape 3 : Coûts financiers et économiques du plan d'action.

Etape 1 : a) Estimation et répartition des pressions diffuses d'origines agricoles.

L'objectif de cette étape est d'établir un diagnostic des pressions diffuses d'origines agricoles (Nitrates, Pesticides) exercées sur la

ressource. Ce dernier permettra la détermination et la spatialisation de la vulnérabilité spécifique de la ressource vis-à-vis des pollutions diffuses d'origines agricoles et des systèmes de cultures pratiqués dans ces zones. Le diagnostic portera sur l'occupation du sol (cultures pratiquées, rendement...), les activités et les pratiques agricoles (rotations, épandages, pratiques phytosanitaires....).

La vulnérabilité spécifique est le terme utilisé pour définir celle d'une eau souterraine à un polluant particulier ou à un groupe de polluants (Schnebelen N. 2002). Dans le cas d'activités agricoles, nous distinguons principalement :

- Vulnérabilité spécifique aux Nitrates.
- Vulnérabilité spécifique aux Pesticides.
- Vulnérabilité spécifique aux Nitrates + Pesticides.

La spatialisation de la vulnérabilité spécifique permettra de délimiter les zones vulnérables qui présentent des teneurs en Nitrates ou/et Pesticides supérieures aux normes. Cette délimitation nous permettra d'obtenir la surface potentielle de mise en œuvre des mesures de protection.

Etape 1 : b) Mesures correspondant à la vulnérabilité spécifique et aux systèmes de cultures.

➤ **Typologie des mesures :** En général, pour réduire la vulnérabilité spécifique d'origine agricole sur les captages d'eau potable, on utilise des mesures (prescriptions) issues du Programme de développement rural et hexagonal pour la période 2007-2013. On peut distinguer quatre groupes d'instruments qui sont mis en place pour réduire les impacts de la pollution diffuse : Mesures agro-environnementales nationales, Mesures agro-environnementales territorialisées à enjeux Directive cadre eau, Plan de modernisation des bâtiments d'élevages et Plan végétal environnement. A ces instruments s'ajoutent l'instrument de la gestion foncière et

l'indemnisation directe des exploitants et propriétaires.

- **Mesures agro-environnementales (MAE) :** Au cours des dernières décennies et sous l'impulsion de la PAC, les pouvoirs publics français ont encouragé les agriculteurs à adopter des pratiques respectueuses de l'environnement. Ce sont essentiellement des MAE dont l'objectif est de maintenir et/ou améliorer la qualité des eaux (souterraine et de surface), des sols et de la biodiversité. Les agriculteurs perçoivent des aides financières en les adoptants pour un engagement d'une durée minimale de cinq ans.
- **Plan de modernisation des bâtiments d'élevage (PMBE) :** depuis 2005, la mise en place de ces plans vise à conforter les exploitations sur le plan économique et à réduire le risque de pollutions accidentelles et diffuses liées aux rejets des élevages. En 2004, l'institut d'élevage a estimé que le coût de modernisation sur 20 ans serait de l'ordre de 20 milliards d'euros pour les différentes filières d'élevages. Le PMBE mobilise, chaque année, une enveloppe qui avoisine les 120 millions d'euros (50% Etat, 50% fonds européens).
- **Plan végétal environnement (PVE) :** C'est un mécanisme d'aide aux investissements à vocation environnementale pour le secteur végétal qui s'applique à tout le territoire. Il s'inscrit dans la programmation du plan de développement rural (2007-2013) et répond aux engagements pris dans le cadre du Grenelle pour l'environnement.
- **Gestion foncière :** c'est la possibilité d'acquérir des terrains par les collectivités au sein des zones les plus vulnérables.

Figure 1: Cadre conceptuel solution préventive pollution diffuse d'origine agricole

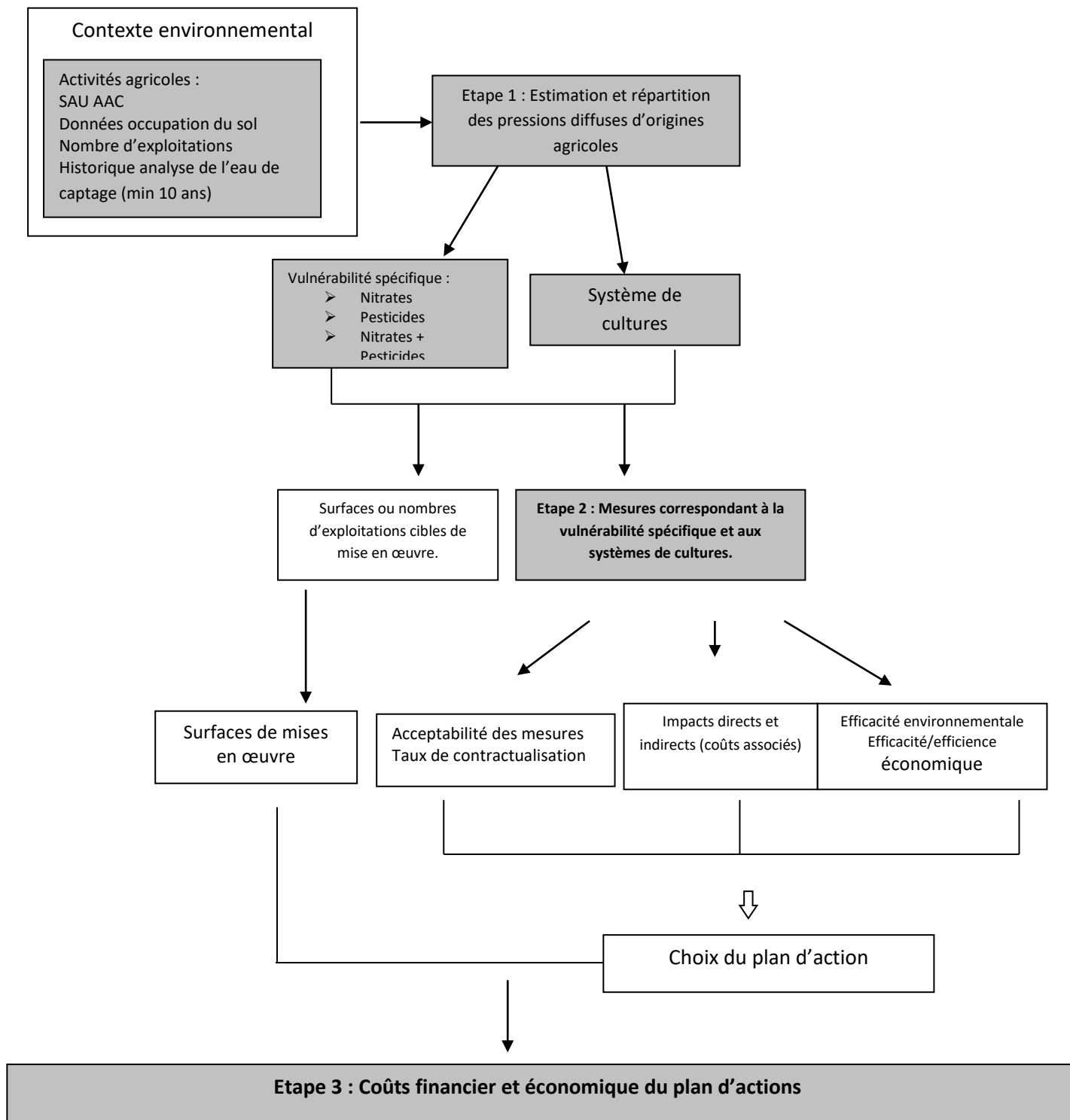
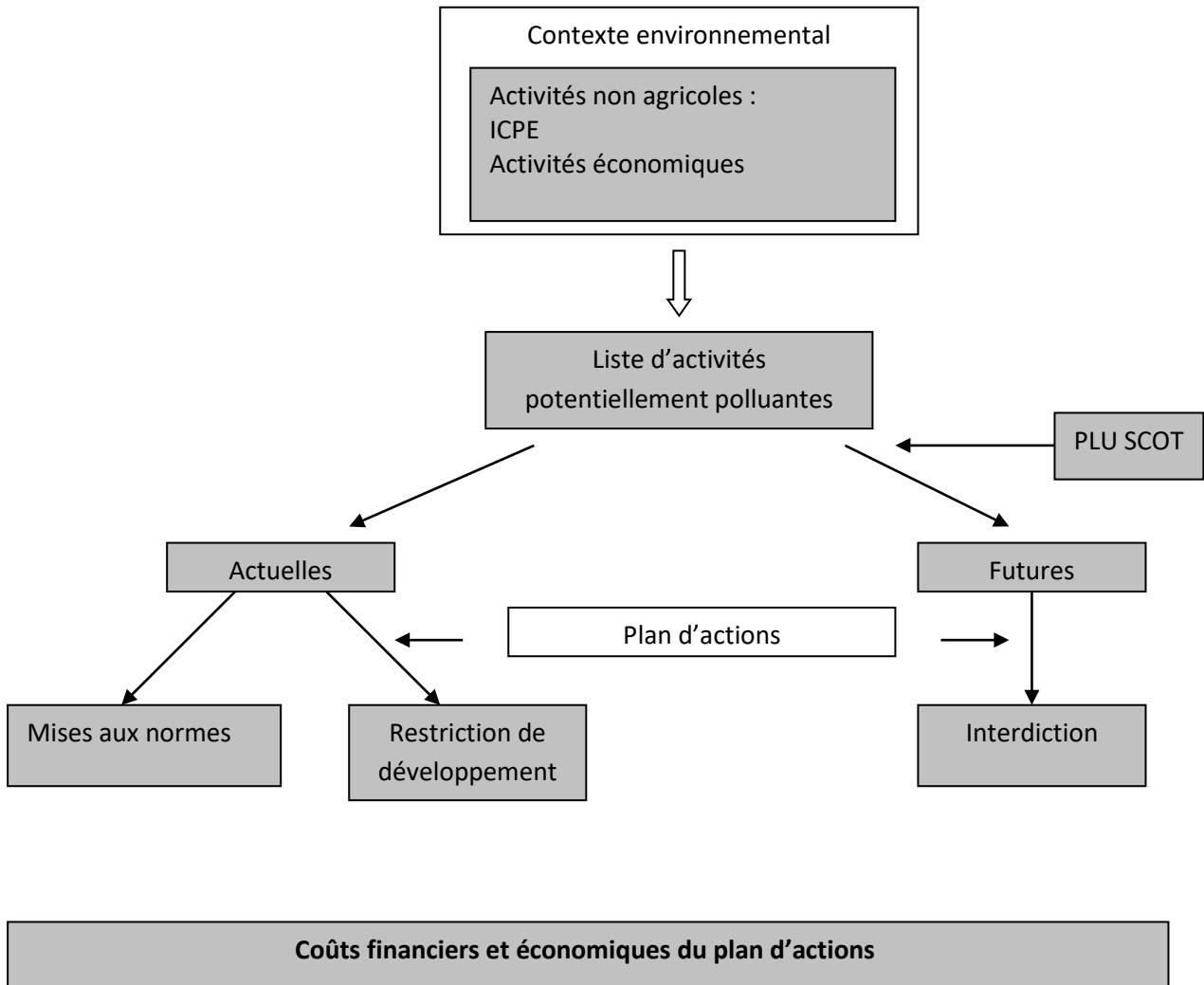


Figure 2 : logigramme étapes pour le calcul du coût financier servitudes non agricoles



Etape 2 : choix des mesures.

Le choix des mesures du plan d'action est fonction de :

- L'efficacité environnementale des mesures.
- Leur efficacité technique et environnementale.
- Leurs coûts directs et indirects.
- Leur acceptabilité sociale.

Efficacité environnementale.

Barrez et Domange (2012) définissent l'efficacité environnementale d'une mesure agro-environnementale comme l'évolution potentielle, à moyen-long terme, de la qualité de l'eau résultant de la mise en place de la mesure sur tout ou une partie du bassin versant.

Les MAE engendrent des obligations de moyens, dont découlent les montants d'indemnités liées à leur mise en place et non de résultats en termes d'impacts environnementaux. Ces derniers dépendent des facteurs suivants (Barataud et al. 2013) :

- La causalité entre pratiques spécifiées et effet environnemental,
- La localisation des surfaces contractualisées,
- Le taux de contractualisation dans les zones d'intérêt,
- Le respect des cahiers des charges par les contractants,
- La pérennité des pratiques avec ou sans renouvellement des contrats,
- Le comportement économique des agriculteurs,

- Les aspects institutionnels relatifs à l'élaboration et à la mise en œuvre des mesures.

Le critère d'efficacité n'est ni documenté ni quantifié dans les programmes mis en œuvre, ce qui pose un problème pour l'évaluation coûts-bénéfices des programmes d'actions.

L'efficacité d'une mesure est le ratio entre l'état initial (t-1) et celui estimé après l'introduction de la mesure (t), les deux systèmes étant à l'équilibre.

$$\text{Efficacité (\%)} = \left| \frac{VAR_t - VAR_{t-1}}{VAR_{t-1}} \right|$$

VAR_t est une variable mesurée lors d'une expérimentation ou simulée après mise en place de la mesure et VAR_{t-1} est mesurée sur un site de référence, sur un bassin ou simulée avec la pratique habituelle.

Cet indicateur peut être estimé par l'utilisation d'un modèle biophysique de transfert de nitrates et pesticides.

Impacts directs et indirects des mesures.

Les mesures engendrent des impacts marginaux et structuraux à moyen et long terme sur les exploitations agricoles et les collectivités. Les effets marginaux sont le résultat de mesures qui n'occasionnent pas de changements importants au niveau de l'exploitation agricole, elles ne nécessitent pas d'investissements supplémentaires en matériels ; ce sont des mesures qui impactent les différents postes (rendement, intrants, main d'œuvre...) de calcul de la marge brute globale de l'exploitation. Les impacts structuraux sont le résultat de mesures qui peuvent avoir des impacts profonds sur la structure et l'organisation de l'exploitation (réalisation d'investissement, changement de système de culture, ...).

Les impacts induisent des coûts directs et indirects sur l'exploitation agricole, « la typologie des coûts directs ou indirects se fait par rapport à l'action mise en œuvre. Ainsi, les coûts directement imputables à la mise en œuvre d'une mesure visant à maîtriser les pollutions diffuses sur des aires d'alimentation des captages sont des coûts directs, alors que la diffusion d'effets monétaires le long des filières d'amont et d'aval sont des coûts indirects, de même que certains effets associés à l'adaptation à un nouveau mode de fonctionnement interne de l'exploitation agricole » (Loubier et al. (2009).

Coûts directs :

- La variation du produit d'une culture donnée sous l'influence d'une baisse des rendements ou bien sous celle d'une variation du prix de vente due à une modification de la qualité du produit.
 - La variation du revenu de l'exploitation suite à l'acquisition foncière, amiable ou non, d'une partie de la SAU de l'exploitant.
 - L'achat en semences de cultures non rémunérées comme les cultures pièges à nitrates.
 - La variation de main-d'œuvre nécessaire à l'activité agricole. Celle-ci peut être positive (coût supplémentaire pour l'agriculteur) ou négative (réduction du coût associé à la main-d'œuvre qui peut, tout ou partie, être transféré à la collectivité selon le régime d'indemnisation).
 - La variation du coût des intrants : simple réduction de la dose ou bien substitution de tout ou partie d'un intrant par un autre engrais minéral par des engrais organiques par exemple).
- La variation du coût en carburant et lubrifiant, lorsqu'une mesure modifie les fréquences de passage dans les parcelles (fractionnement des apports d'engrais par exemple ou bien semis directs).
 - Les besoins d'investissements en matériels nouveaux et en plantations nouvelles.
 - Les charges supplémentaires associées à la réalisation et l'entretien de fossés, haies, bandes enherbées...
 - Les coûts supportés pour entrer dans le régime de qualité : cotisation annuelle de participation au régime et coût des contrôles visant à vérifier le respect par le bénéficiaire des obligations liées au dit régime de qualité (coût de la certification par exemple).

Parmi les coûts indirects, on trouve :

- La perte de primes PAC en cas de changement d'assolement (substitution de prairie à du maïs par exemple) est un coût pour l'exploitant mais demeure neutre du point de vue de la collectivité.
- Les coûts associés au non usage ou au moindre usage de certains équipements, en particulier lorsque certains équipements sont en propriété collective.
- Les coûts associés à la recherche d'un emploi de substitution en cas de réduction du besoin en travail.
- L'ensemble des coûts (et bénéfices) induits supportés par les filières d'amont et d'aval.
- Les coûts associés à la déstructuration de l'organisation de l'exploitation.
- Les coûts associés à la recherche de terres à louer ou à acquérir, lorsqu'une

fraction de la SAU de l'exploitation a été réduite volontairement ou non, les coûts administratifs associés (notaires).

- Des changements profonds au sein de l'exploitation peuvent également avoir des effets sur le "bien-être" des personnes affectées. Ces effets psychologiques, sociaux ou culturels sont difficilement quantifiables.
- Une réduction importante du recours à la main-d'œuvre peut également avoir des effets en termes d'aménagement du territoire (fermetures de classes ou d'écoles, moindre utilisation d'équipements collectifs, fermeture de commerces...) et de fiscalité locale.

Loubier S (2009) propose un indicateur de calcul des coûts supportés par une exploitation agricole suite à la mise en place d'une mesure :

$$CT = \sum_i \sum_{t=1}^T \frac{MB_{i,t}S_i - MB_{is,t}S_{is}}{(1+a)^t} + \sum_j I_j(1+a)^{dj-T} \frac{(1+a)^T - 1}{(1+a)^{dj} - 1}$$

i : un indice de type de culture ; is : un indice de type de culture après mise en place de mesures de protection. t : un indice de temps (l'année). t varie de l'année de mise en œuvre de la mesure à, T la période d'étude (l'horizon temporel); j : un indice de type d'investissement ; si : la surface de culture i, MB, marge brute en année t pour la culture i ; a : le taux d'actualisation ; I : le coût de l'investissement "j" en année t. dj : la durée de vie de l'investissement j

On essaiera d'améliorer cet indicateur en prenant en compte la variation des coûts structurels associés aux changements de pratiques, les pertes de primes PAC et les coûts non pris en compte dans le calcul des

indemnités MAE (Apprentissage, coûts de transaction agriculteur.....).

$$CT = \sum_i \sum_{t=1}^T \frac{(MB_{i,t}S_i - MB_{is,t}S_{is}) + (CS_{i,t} - CS_{is}) + (PP_{i,t} - PP_{is}) - \text{ind}}{(1+a)^t} + \sum_j I_j(1+a)^{dj-T} \frac{(1+a)^T - 1}{(1+a)^{dj} - 1}$$

i : un indice de type de culture ; is : un indice de type de culture après mise en place de mesures de protection. t : un indice de temps (l'année). t varie de l'année de mise en œuvre de la mesure à ; T la période d'étude (l'horizon temporel); j : un indice de type d'investissement ; si : la surface de culture i ; MB, marge brute en année t pour la culture i ; CS: Coûts de structures; PP : Primes PAC; Ind : Indemnités perçus; a : le taux d'actualisation ; I : le coût de l'investissement "j" en année t. dj : la durée de vie de l'investissement j ; Autres coûts : coûts liés à l'apprentissage, réorganisation du travail.....

5.2 Pollution d'origine non agricole :

La première étape du modèle vise à identifier les activités actuelles et futures potentiellement polluantes et leur localisation.

La deuxième consiste à appliquer des mesures pour limiter le risque de pollution.

Pour les activités existantes, on distingue deux types de mesures :

- La mise aux normes des installations existantes et/ou la création de nouvelles installations.
- L'interdiction de développement d'activités (augmentation de volume...).

L'objectif de ces mesures est de réduire le risque de pollutions accidentelles. Ce sont essentiellement des mesures (prescriptions) mises en place dans le cadre de l'outil périmètre de protection de captage. Les prescriptions d'utilité publique sont des restrictions de développement ou de mise aux normes des activités actuelles et des interdictions d'activités futures dont le contenu est proposé par l'hydrogéologue. Ces restrictions touchent principalement le périmètre de protection rapproché des captages. Elles trouvent leur justification dans le souci de limiter au maximum l'infiltration, dans le sous-sol, de substances nocives susceptibles de se propager jusqu'au point de captage.

Pour réduire toute source de pollutions futures, les PPC préconisent l'interdiction de toute future activité dans le PPR.

Dans la troisième étape, il s'agit d'identifier les coûts financiers et économiques de chaque mesure. En effet, ces mesures engendrent à la fois des coûts financiers (directs), correspondant à ceux des travaux de mise aux normes et/ou de création d'installations, et des coûts indirects.

Du fait de la très grande hétérogénéité des activités susceptibles d'altérer la qualité des eaux souterraines, nous avons détaillé les coûts, bénéfices financiers et économiques pour quelques activités « installations » issues de l'analyse de 335 rapports d'hydrogéologues agréés dans le département de l'Hérault. Ce travail montre que les principales installations auxquelles ces prescriptions sont appliquées sont : les infrastructures linéaires (routes), les surfaces urbaines, les décharges, les carrières, les puits et forages, l'assainissement non collectif, l'assainissement collectif, les stations d'épurations, les stockages d'hydrocarbures et l'accès aux sites.

6. CONCLUSION

Nous avons présenté le modèle conceptuel d'évaluation des coûts et bénéfices des mesures (agricoles et non agricoles) de la protection des captages d'eau potable à l'échelle d'un périmètre de protection ou aire d'alimentation de captages d'eau potable. Notre démarche d'évaluation se décline en trois étapes : la première du protocole d'évaluation consiste à estimer et répartir les pressions diffuses d'origine agricole, ceci permettra d'avoir un panel des mesures correspondant à la vulnérabilité spécifique (pesticides ou/et nitrates) et aux systèmes de cultures pratiqués dans la zone de protection ; la deuxième étape propose différents indicateurs pour le choix des mesures du plan d'action de protection, ainsi, pour le choix des mesures, nous proposons de nous baser sur les quatre indicateurs suivants : i) efficacité environnementale des mesures, ii) efficacité technique et environnementale des mesures, iii) coûts directs et indirects des mesures et iv) indicateur d'acceptabilité sociale des mesures. L'analyse des coûts et bénéfices des mesures choisies selon les indicateurs proposés constitue la dernière étape de notre protocole d'évaluation.

Les étapes du modèle conceptuel et méthodologique élaborées dans cette étude répondent aux deux principaux besoins actuels de recherche et développement d'ordre économique pour appuyer les démarches de protection des captages d'eau potables à savoir :

- ✚ La nécessité d'évaluer les coûts des mesures préventives mises en place pour la protection des captages, ceci servira de base pour connaître les moyens financiers à allouer aux actions préventives mais aussi pour faciliter la

comparaison financière de la solution préventive et curative.

- ✚ L'intégration des aspects économiques et d'acceptabilité des prescriptions. Dans ce cadre, la méthode d'évaluation des impacts socio-économiques et d'acceptabilité par les acteurs répond à ce besoin. Elle permettra une évaluation ex-ante de l'acceptabilité des servitudes de protection par les différents acteurs du territoire concerné par la protection.

Les résultats, que nous avons présentés, démontrent que les bénéfices et les coûts des prescriptions agricoles et non agricoles mises en place dans le cadre des périmètres de protection des captages d'eau potable, évalués à l'aide de l'évaluation financière et économique, doivent être inclus dans la procédure de délimitation des PPC-AAC et dans l'évaluation des mesures préventives. Une fois ces éléments quantifiés et évalués, ils faciliteront, d'une part, la comparaison et le choix d'un plan d'action préventif ou/et curatif et, d'autre part, la remédiation des problèmes d'acceptabilité de ces instruments de protection de la ressource en eau.

7. REFERENCES

Barataud, F., A. Durpoix, et al. (2013). Captages Grenelle : au-delà de leur diversité, quels caractères structurants pour guider l'action ?, ONEMA: 12.

Barrez, F. and N. Domange (2012). "Comment la R&D peut appuyer la démarche de protection des captages." Techniques - Sciences - Méthodes **12**: 43-53.

Bartlett, T. W., J. W. N. Smith, et al. (2014). "Quantifying the loss of available groundwater

resource associated with point-source contamination in unused aquifers." Hydrogeology Journal **22**(4): 749-759.

CGDD (2011). Coûts des principales pollutions agricoles de l'eau.

Dorfman, R. (1996). "Why Benefit-Cost Analysis Is Widely Disregarded and What to Do About It." Interfaces **26**(5): 1-6.

Heinzerling, L. and F. Ackerman (2002). "Pricing the Priceless: Cost-Benefit Analysis of Environmental Protection." University of Pennsylvania Law Review **150**(5).

Loubier, S. and H. El Yousfi (2009). L'analyse économique dans la DCE. Convention Cemagref – ONEMA.

Schnebelen N., P. J. P., Le Nindre Y. et Baudry D (2002). Gestion des eaux souterraines en Aquitaine – Année 5. Opération sectorielle – Protection de la nappe de l'Oligocène en région bordelaise. Nouvelles connaissances hydrogéologiques – Cartographie de la vulnérabilité aux pollutions. R. BRGM/RP-51178-FR: 75 p. .

Vernoux, J. F. (2007). Protection des captages d'eau souterraine destinée à la consommation humaine, BRGM.

WHO (2012). Progress on sanitation and drinking-water, World Health Organization.