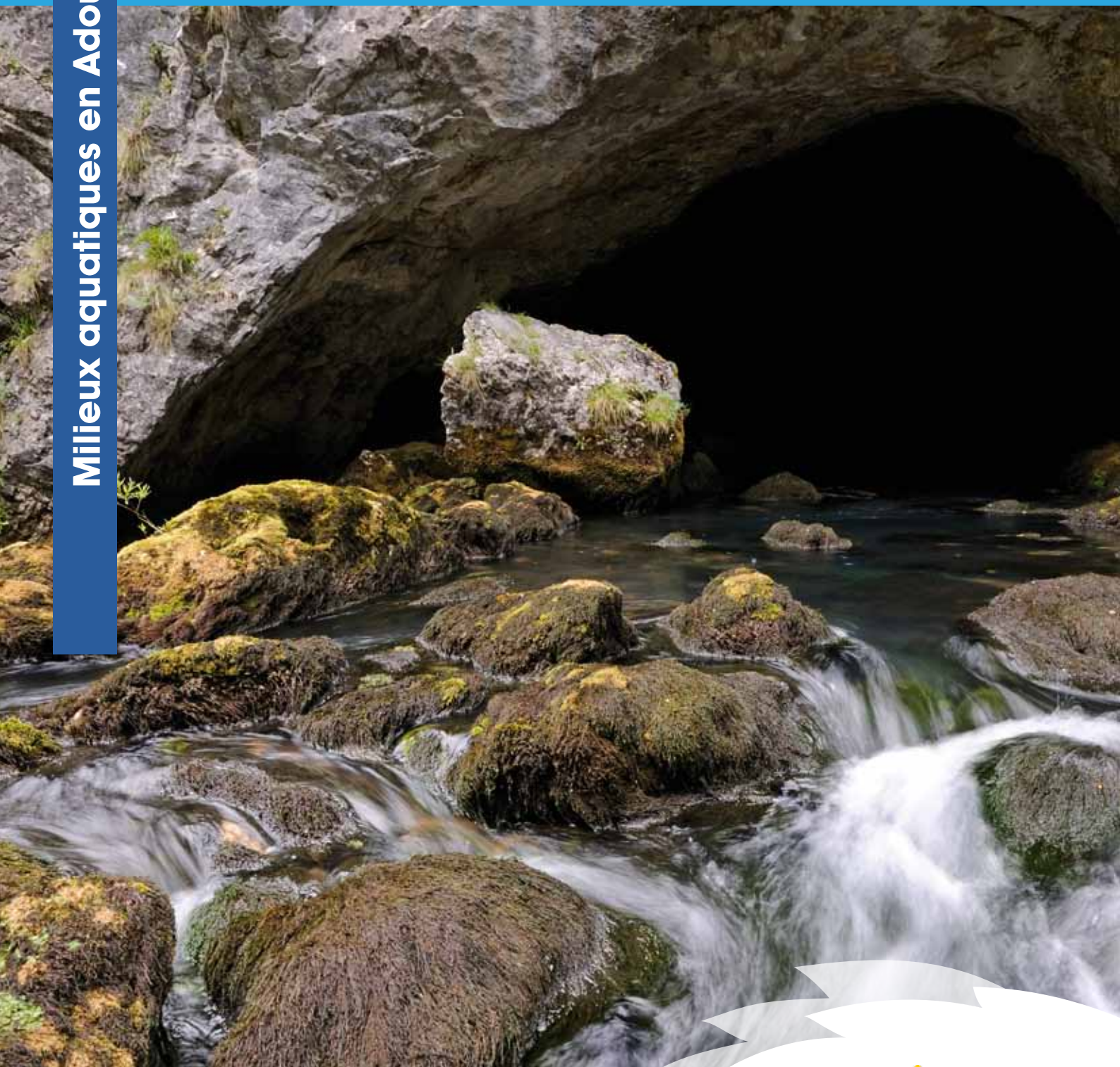


Stratégies de protection des ressources karstiques utilisées pour l'eau potable

Guide pratique





Ce guide technique a été réalisé par Philippe Muet et Edith Vier du Bureau d'études GINGER Environnement, sous le pilotage de l'Agence de l'eau Adour-Garonne ; trois autres intervenants ont apporté une expertise complémentaire : Philippe Crochet et Bruno Marsaud d'ANTEA, Paul-Henri Mondain de CALLIGEE.

La réalisation du guide a été suivie et validée par un Comité de pilotage composé notamment des Agences de l'eau Adour-Garonne et Rhône Méditerranée & Corse, de représentants des Ministères en charge de l'Environnement et de la Santé, et du BRGM ; la liste complète des participants est fournie en annexe 1.

Photo de couverture : Goule noire Massif du Vercors - Photo Philippe CROCHET

Sommaire

INTRODUCTION

Objectifs du guide
Les spécificités des aquifères karstiques et de leur protection
Champ d'application du guide
Principales difficultés rencontrées dans les procédures de protection
des captages en milieu karstique
Genèse du guide
Rappel du cadre réglementaire
Contenu du guide

I.	PRESENTATION DE LA TYPOLOGIE DES SYSTEMES KARSTIQUES	p 21
II.	OBJECTIFS DE LA PROTECTION	p 23
III.	ENCADREMENT DE LA PROCEDURE AU NIVEAU DEPARTEMENTAL	p 25
IV.	DEROULEMENT DE LA PROCEDURE DE PROTECTION DES CAPTAGES : ELABORATION D'UNE STRATEGIE DE PROTECTION	p 27
	Etape de lancement de la procédure Portage de la procédure de protection Contenu des études préalables / Diagnostic Contenu des études préalables / Définition de la stratégie de protection	

LISTE DES ANNEXES

p 73

1. Liste des membres du Comité de pilotage de l'étude
2. Liste des acteurs ayant contribué à la consolidation des préconisations
3. Trames de cahiers des charges par type de captage, avec notice et logigrammes
4. Liste bibliographique



Introduction

Les terrains carbonatés occupent environ 30% de la surface du territoire national métropolitain ; le domaine karstique est particulièrement étendu sur les bassins Rhône-Méditerranée et Adour-Garonne, et dans une moindre mesure en Seine-Normandie. La ressource en eau que renferment ces aquifères est considérable mais difficile à cerner ; leur exploitation est certainement très modeste en regard des volumes en jeu, du fait essentiellement d'un manque de connaissance, de certaines difficultés d'exploitation et de gestion et de leur particulière sensibilité à la pollution. Cette sensibilité doit cependant être relativisée, car ces aquifères présentent l'avantage de se renouveler très rapidement.

Cette ressource est souvent dans certaines régions l'unique recours possible pour l'alimentation en eau des populations. Son intérêt se trouve renforcé du fait de l'augmentation générale des besoins en eau. Toutefois, l'occupation croissante des zones karstiques, conjuguée à leur vulnérabilité, impose la mise en place de politiques de protection adaptées.

De telles politiques de protection passent obligatoirement par la mise en place des périmètres de protection des captages d'eaux destinées à la consommation humaine. Cette procédure se heurte dans le cas des aquifères karstiques à de nombreuses difficultés ; en outre, elle peut s'avérer insuffisante pour garantir le respect des limites de qualité fixées par la réglementation pour les eaux utilisées pour l'approvisionnement en eau potable.

Les procédures de protection en milieu karstique se différencient des procédures « classiques » essentiellement sur deux points :

- des études hydrogéologiques préalables spécifiques, c'est-à-dire utilisant des méthodes particulières adaptées aux aquifères karstiques, sont nécessaires ;
- la superficie des bassins d'alimentation est souvent importante, ce qui constitue une difficulté pour les études et surtout pour la définition et l'application des mesures de protection.

Cette question de la protection des ressources en eau souterraine en milieu calcaire concernant particulièrement les bassins Adour-Garonne et Rhône-Méditerranée & Corse, les deux Agences de l'eau ont mené conjointement une démarche visant :

- dans un premier temps à établir un bilan de la mise en œuvre des procédures de protection des captages AEP en milieu karstique ; ce bilan a apporté des éléments sur l'existant (état des lieux, analyse des diverses causes du retard ou au contraire des stratégies « gagnantes ») ; il a abouti à des préconisations pour améliorer la situation.
- dans un second temps, la démarche a été poursuivie par l'approfondissement des préconisations, donnant lieu à l'élaboration du présent guide.

(Lire pour plus de détails le résumé de la genèse du guide page n° 13).



Objectifs du guide

Ce document a pour but de guider en priorité **les collectivités gestionnaires des captages en milieu karstique destinés à l'alimentation en eau potable**, mais aussi les assistants à maîtrise d'ouvrage, maîtres d'œuvre, bureaux d'études, administrations, ainsi que tous les acteurs impliqués dans la mise en place des procédures réglementaires de protection des captages en milieu karstique, et plus généralement dans la protection des ressources karstiques captées pour l'approvisionnement en eau potable.

Il s'adresse ainsi aux acteurs qui doivent s'engager dans une telle procédure, notamment pour la mise en service d'un nouveau captage ou la régularisation d'un captage existant.

La démarche préconisée dans ce guide étant spécifique aux aquifères karstiques, la première question qui se pose est de savoir si l'aquifère sollicité par le captage est effectivement le siège de circulations karstiques fonctionnelles ; l'objet du chapitre suivant est d'aider à répondre à cette question.

Définition et caractéristiques

Lorsqu'elles ne sont ni fissurées, ni fracturées, les roches carbonatées peuvent être généralement considérées comme des roches imperméables à porosité faible. C'est l'apparition de la karstification qui engendre leur bonne qualité aquifère. La karstification est un phénomène physico-chimique lié à la dissolution du calcaire par le gaz carbonique dissous dans l'eau circulant dans les discontinuités du massif rocheux (failles, diaclases, joints de stratification...). La porosité et la perméabilité créées par la karstification ne sont pas uniformément réparties et présentent même une très forte hétérogénéité.

L'originalité de l'aquifère karstique réside dans la hiérarchisation des vides, de l'amont vers l'aval, aboutissant à un drainage progressif des eaux d'infiltration vers une source souvent unique. Ainsi les écoulements souterrains s'organisent en système karstique d'une façon assez similaire à celle d'un réseau hydrographique de surface, où les petits ruisseaux confluent pour former en aval un cours d'eau unique.

Une approche globale de l'étude des aquifères karstiques, par analogie avec les réseaux fluviaux, conduit à définir le système karstique comme « **l'impluvium au niveau duquel les écoulements de type karstique s'organisent pour constituer une unité de drainage** »

(A. Mangin, 1975). Ainsi défini, un système karstique peut se développer en totalité dans le massif calcaire, sans apport extérieur ; on est alors en présence d'un système unaire. Mais bien souvent, des écoulements superficiels provenant de zones non karstiques alimentent l'aquifère karstique au niveau de pertes localisées sur des contacts géologiques. Cette partie non karstique de l'impluvium est alors à inclure dans le système karstique ; on est alors en présence d'un système binaire.

L'aquifère karstique, comme tout aquifère, possède une zone non saturée appelée « zone d'infiltration » et une zone saturée appelée « zone noyée ».

La zone d'infiltration : la partie supérieure de la zone non saturée, constituée d'une couche altérée pouvant faire plusieurs mètres d'épaisseur, présente une perméabilité plus importante et surtout plus homogène que le massif calcaire sous-jacent. Cette partie appelée épikarst permet aux eaux de pluie de disparaître rapidement dans le sous-sol et de rester temporairement stockées avant de s'infiltrer plus en profondeur.

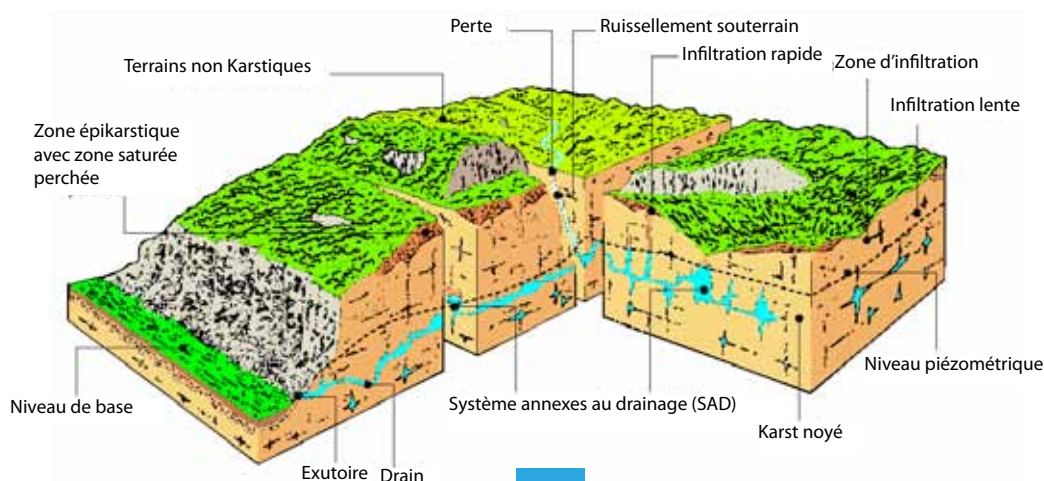
L'infiltration verticale de l'eau vers la zone noyée se fait suivant deux modalités. L'une rapide parcourt des fissures élargies ; l'autre lente (ou retardée) correspond à un écoulement diphasique dans des fissures faiblement ouvertes. Une autre structure, appelée ruissellement souterrain permet l'évacuation rapide de l'eau de la zone non-saturée. Cette structure, d'une transmissivité hydraulique pratiquement infinie, peut être en relation avec des « pertes » de cours d'eau drainant des zones non calcaires.

La zone noyée : le karst noyé comprend une structure drainante (drains) qui évacue vers l'exutoire l'eau de la zone saturée, elle-même alimentée par l'eau transitant à travers la zone non saturée. Latéralement aux structures de drainage et dans la partie de l'aquifère proche de l'exutoire, sont situées les zones capacitives de l'aquifère appelées systèmes annexes au drainage. Selon le degré d'organisation des écoulements, ces systèmes annexes au drainage peuvent être constitués par des fissures élargies saturées ou de véritables cavités représentant des volumes importants.

Cette organisation est très particulière puisque les fonctions de stockage et de drainage de l'aquifère sont séparées, au moins dans la zone noyée, et sont assurées par des éléments distincts de la structure.

Ce schéma fonctionnel induit un compartimentage hydraulique responsable de très fortes hétérogénéités.

REPRÉSENTATION CONCEPTUELLE DE L'AQUIFÈRE KARSTIQUE (d'après A. Mangin, 1975)

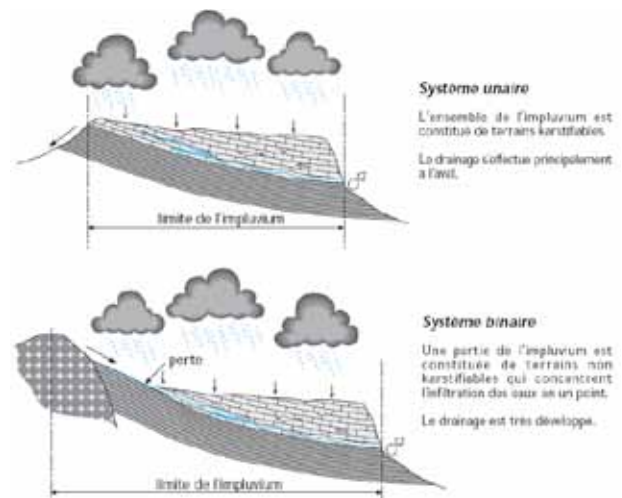


SYSTÈMES UNAIRE ET BINAIRE, D'APRÈS BRUNO MARSAUD, 1996

Cette notion de système karstique liée à l'organisation interne des écoulements est fondamentale. Elle permet la mise en œuvre de nombreuses méthodes dérivant de l'analyse des systèmes hydrologiques ou physiques. Ces méthodes fondent la connaissance du fonctionnement du système karstique sur l'analyse des sorties du système (débits, chimie, biologie, restitution de traceurs...), et permettent d'en déduire la structure de l'aquifère. De plus, l'impluvium du système karstique coïncide avec l'Aire d'Alimentation du Captage (AAC) dès lors que celui-ci exploite l'exutoire du système.

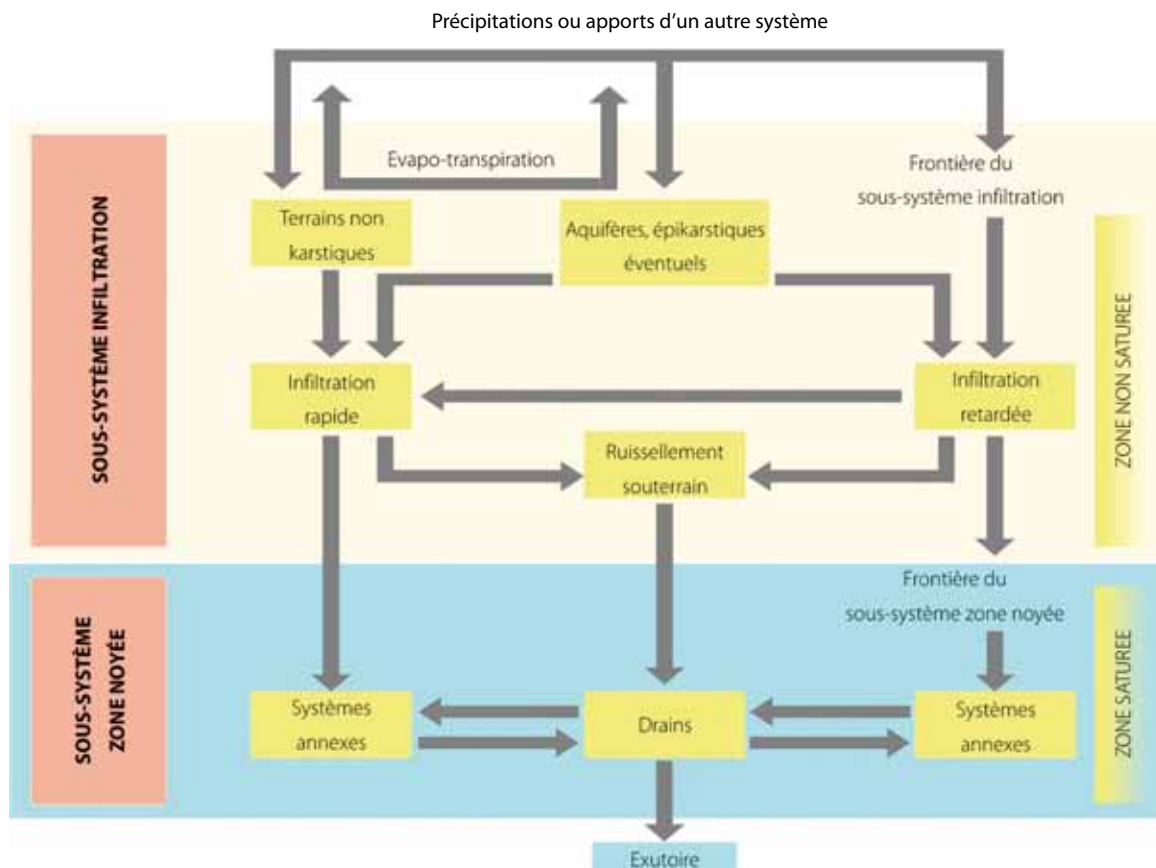
La structure d'un système karstique se rapporte toujours au schéma décrit précédemment. Toutefois, dans la nature, tous les stades d'organisation existent : depuis les systèmes peu évolués où les structures capacitives prédominent sur les structures drainantes, jusqu'aux systèmes très bien drainés où le stockage de l'eau d'infiltration est pratiquement inexistant.

La mise en place d'un système karstique est très rapide par rapport à l'échelle des temps géologiques. Sa structure, loin d'être figée, peut évoluer en fonction des mouvements tectoniques, des changements climatiques, et/



ou des variations de niveau de base (altitude des cours d'eau recoupant ou limitant un massif karstique). Un karst est donc presque toujours polyphasé. Ce polyphasage des structures karstiques apporte un niveau supplémentaire de complexité dans la description des systèmes karstiques.

SCHÉMATISATION DE L'AQUIFÈRE KARSTIQUE (d'après A.Mangin, 1975)



Evolution de la conceptualisation du karst

d'après « Eaux destinées à la consommation humaine. Guide pour la protection des captages publics. Départements du Gard et de l'Hérault », DDASS 30 et 34, BRGM, octobre 2007

Plusieurs schémas ont été proposés pour conceptualiser le karst, correspondant à des approches et/ou des observations particulières, parfois caractéristiques d'un contexte régional :

- agencement de conduits reliant des pertes de rivières de surface à une résurgence, comme le représente la vision initialement et intuitivement imposée par l'exploration spéléologique ;
- ensemble régulier de fractures élargies drainant des eaux stockées dans des blocs constituant une matrice assimilable à un milieu poreux à porosité de fractures ou de fissures ;
- structure organisée à l'échelle d'un massif, avec une hiérarchisation des écoulements souterrains analogue à celle des réseaux hydrographiques de surface. L'unité de drainage qui en résulte correspond au karst sensu stricto.

Si la première conceptualisation est aujourd'hui abandonnée par les hydrogéologues car elle ne prend pas en compte les réserves en eau contenues dans les zones non accessibles à l'homme, les deux autres approches ont parfois été opposées. Or, elles ne sont pas complètement incompatibles si on considère les deux propriétés fondamentales qui résultent du processus de karstification :

- le degré d'évolution du karst : la karstification correspond à une évolution, au cours de laquelle certains vides du milieu fissuré originel s'élargissent, alors que d'autres se colmatent, pouvant aboutir à terme à la création d'une structure de drainage organisée et isolée du milieu fissural originel ;
- la fonctionnalité du karst : l'existence d'un comportement karstique des écoulements résulte de la conjonction d'une structure organisée et d'un fort potentiel hydraulique aux limites du système. Si l'un de ces éléments manque, comme cela peut être le cas lors d'une remontée du niveau de base, il n'y a plus de comportement karstique d'un point de vue hydraulique et le système n'est plus fonctionnel, ce qui n'exclut cependant pas la présence de réserves pouvant être importantes et la possibilité de les exploiter.



Lapiaz (Hérault) - Photo Philippe CROCHET

Ainsi, en fonction du degré d'évolution atteint par les systèmes karstiques, des différents événements intervenant au cours du processus de karstification et des différentes configurations possibles (présence ou non d'un impluvium non karstique, système jurassien ou vauclosien), il existe une multitude d'aquifères formant un continuum à partir de l'aquifère carbonaté originellement fissuré. Ils ont été regroupés en trois grands types de systèmes karstiques :

- Les systèmes carbonatés fissurés et karstifiés :

il s'agit des systèmes en cours d'évolution dont l'organisation n'est pas encore perceptible et qui peuvent être assimilés d'un point de vue de leur comportement hydraulique à des aquifères fissurés. Ce type englobe également les réservoirs présentant une porosité matricielle (craie, dolomies) drainée par des fractures karstifiées ou non.

- Les systèmes karstiques au sens strict :

ce sont les systèmes karstiques fonctionnels dans lesquels vides et écoulements sont organisés. Il en résulte des caractéristiques qui les rendent spécifiques par rapport aux autres milieux, dont les plus importantes sont : la dissociation systématique des fonctions capacitives (zone de stockage constituées par les systèmes annexes) et transmissives (relation au sein du karst noyé par le drain) ;

l'existence de forts contrastes de vitesse.

- Les systèmes karstiques non fonctionnels :

ils renferment des vides organisés, mais ceux-ci ne conditionnent pas les écoulements souterrains en raison des conditions hydrauliques extérieures (conditions aux limites), suite par exemple à la remontée du niveau de base. Le système karstique n'est plus fonctionnel, mais il s'agit d'un karst noyé avec réserves qui, lorsqu'elles existent, occupent des réservoirs discontinus et hétérogènes (appelés systèmes annexes), constitués d'ensembles indépendants les uns des autres, mais qui sont tous en relation avec le drain. Il en résulte un comportement assimilable à celui des milieux poreux à l'échelle globale.

Le guide que vous avez entre les mains est destiné aux systèmes karstiques au sens strict. Pour les autres types de systèmes karstiques, on peut se référer au guide technique publié en 2009 par le Ministère en charge de la Santé : « Protection des captages d'eau : Acteurs et stratégies ».

Vulnérabilité des aquifères karstiques - Spécificités et analogies

La vulnérabilité d'un aquifère est la possibilité qu'a un contaminant de percoler et de diffuser depuis la surface jusqu'au réservoir d'eau dans des conditions naturelles.

Définition de la vulnérabilité

Vulnérabilité intrinsèque : terme utilisé pour représenter les caractéristiques géologiques et hydrogéologiques naturelles qui déterminent la sensibilité des eaux souterraines à la contamination par les activités humaines. Elle se définit comme un déficit de protection ou de défense naturelle de l'eau souterraine contre des menaces de pollution, en fonction des conditions hydrogéologiques locales. Son évaluation s'apprécie par le croisement de deux critères :

- la facilité et la rapidité suivant lesquelles des matières polluantes d'origine superficielle peuvent atteindre l'eau souterraine et dégrader ses qualités (caractéristiques du sol et de la zone comprise entre le sol et l'aquifère, présence d'une couverture imperméable, lithologie dominante) ;

- la difficulté et la lenteur de la régénération des qualités de l'eau souterraine, de l'effacement de l'impact après arrêt du fait polluant, qui dépend davantage des conditions hydrodynamiques de l'aquifère - à l'instar du « pouvoir auto-épurateur » d'un cours d'eau (recharge de l'aquifère, temps de renouvellement, types d'écoulement, perméabilité, échanges avec les cours d'eau et les zones humides, alimentation par des masses d'eau voisines).

Vulnérabilité spécifique : terme utilisé pour définir la vulnérabilité d'une eau souterraine à un contaminant particulier ou à un groupe de contaminants. Elle prend en compte les propriétés des contaminants et leurs relations avec les divers composants de la vulnérabilité intrinsèque.

Il est couramment admis que **les aquifères karstiques sont très vulnérables aux pollutions de toutes sortes du fait :**

- du faible rôle filtrant de la zone d'infiltration,

- du faible effet de la dispersion et de la dilution liée à l'organisation des écoulements,
- des temps de séjour courts limitant les processus épuratoires au sein de l'aquifère.



Blagour de Chasteaux (Corrèze) - Eaux turbides à la suite de crues
Photo Philippe CROCHET

Ainsi la structure particulière de l'aquifère karstique concourt à une variabilité temporelle importante de la qualité des eaux aux exutoires des systèmes karstiques. Ces variations sont le plus souvent naturelles comme par exemple les variations brusques de turbidité¹ qui posent fréquemment des problèmes importants aux collectivités pour l'exploitation de telles ressources. Mais ces variations ont, dans certains cas, une origine anthropique.



*Gouffre sur lapiaz en contexte de montagne (Hérault)
Photo Philippe CROCHET*

En contrepartie, certaines caractéristiques de l'aquifère karstique sont intéressantes en termes de protection :

- élimination rapide des pollutions accidentelles touchant le réseau de drainage,
- effets retardateurs généralement réduits (adsorption, dispersion),
- effets cumulatifs d'un cycle à l'autre très réduits du fait des temps de séjour globalement courts, d'où une amélioration rapide de la qualité des eaux après réduction à la source des causes de pollution.

Dans le détail, ces généralités doivent être modulées en fonction de la particularité de chaque aquifère karstique. Les facteurs pouvant limiter la vulnérabilité sont par exemple :

- la présence d'un aquifère épikarstique² dont les caractéristiques physiques et hydrodynamiques favorisent les processus d'atténuation de la pollution (par dilution, échanges ioniques, adsorption, stockage temporaire),
- l'existence de terrains de couverture (limons, altérites et/ou alluvions) retardant l'infiltration des polluants et réduisant les quantités susceptibles d'atteindre la zone noyée (processus épuratoires),

- la prédominance des structures capacitives par rapport aux structures de drainage qui limite les transits rapides et augmente les phénomènes de dilution et de dispersion,
- les impluviums de grande taille, qui induisent une dilution importante, réduisant ainsi les risques de dégradation de la qualité des eaux.

Il faut souligner que la vulnérabilité d'un aquifère karstique n'est en rien comparable à celle d'un aquifère de milieu poreux ou de milieu fissuré où seules l'adsorption, la dilution et la dispersion sont à prendre en compte.

En revanche, sur le plan de la structure, du fonctionnement et de la vulnérabilité, il apparaît une certaine analogie entre aquifère karstique et cours d'eau de surface. Cette analogie comporte toutefois une limite importante : les écoulements sont souterrains donc invisibles et beaucoup plus complexes à connaître et surtout, ils se développent dans les trois dimensions du réservoir aquifère. La localisation géographique et la hiérarchisation des zones vulnérables sont donc difficiles à déterminer.

Ainsi la protection des ressources captées en milieu karstique va donc suivre une logique plus proche de celle de la protection des eaux de surface que celle des aquifères continus voire fissurés. Toutefois, si la logique est la même, ne pas pouvoir accéder aux écoulements contraint à développer des méthodes originales, en particulier pour la cartographie de vulnérabilité.



*Source de la Buèges (Hérault)
Photo Philippe CROCHET*

¹La turbidité désigne la teneur d'un liquide en matières qui le troublent. Dans les eaux issues des systèmes karstiques, la turbidité élevée traduit une teneur importante en matières fines en suspension, généralement suite à un épisode pluvieux ayant provoqué le lessivage des sols (transfert direct des particules érodées depuis la surface).

²L'épikarst ou la zone épikarstique rassemble l'eau d'infiltration dans un aquifère perché local et discontinu, drainé vers le bas soit par les vides les plus larges en un ruissellement souterrain rapide, soit par les vides de petites dimensions, en une infiltration lente.

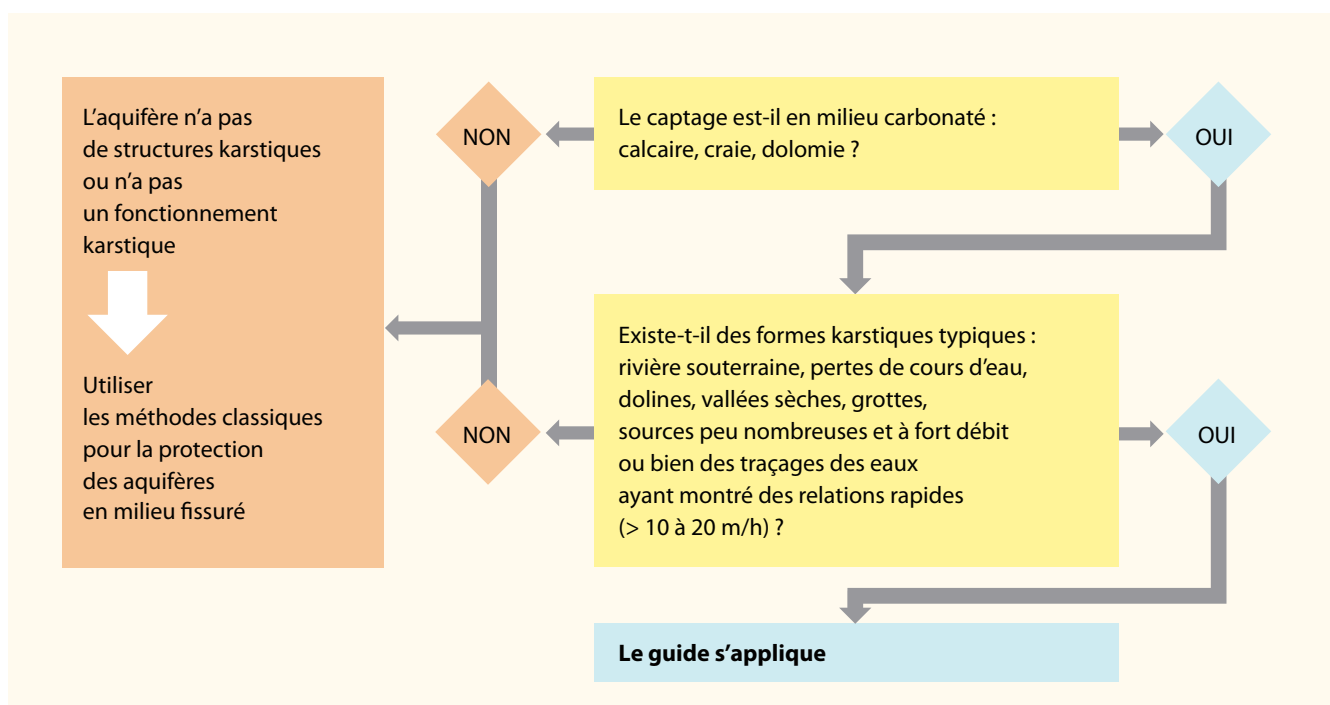
Champ d'application du guide

Les experts nationaux de la protection des aquifères karstiques et les hydrogéologues spécialistes du karst s'accordent pour dire que les aquifères fissurés carbonatés non karstifiés sont rares. Autrement dit, tout massif calcaire soumis à l'infiltration des eaux météoriques présente, à des degrés divers, des caractéristiques karstiques. Si la fonctionnalité karstique d'un système est faible, la vulnérabilité est moindre et surtout les méthodes d'études peuvent se rapprocher des méthodes classiques de l'hydrogéologie de milieux continus ou équivalents.

Ce guide est destiné aux captages dont la ressource, au-delà de la morphologie karstique, présente un

fonctionnement karstique, c'est-à-dire se caractérise par une organisation fonctionnelle des écoulements. Autrement dit, chaque fois que l'on pourra employer des méthodes d'études classiques de l'hydrogéologie en milieu continu, ce guide ne s'appliquera pas (on peut se référer au guide technique publié en 2009 par le Ministère en charge de la Santé : « Protection des captages d'eau : Acteurs et stratégies »).

Le logigramme suivant schématise la réflexion à conduire pour déterminer si un captage relève bien du champ d'application de ce guide. Le raisonnement est fondé sur deux questions.



Il convient d'abord de s'assurer que le captage se situe dans un milieu carbonaté (calcaire, craie, dolomie). On ne se trouve pas pour autant systématiquement en présence d'un aquifère au fonctionnement karstique.

Il faut dans un second temps vérifier :

- s'il existe des formes karstiques typiques telles que rivières souterraines, pertes de cours d'eau, vallées sèches, grottes, sources peu nombreuses et à fort débit,
- ou bien si l'on dispose de résultats de traçages avec des vitesses de transit importantes (supérieures à 10 ou 20 m/h).

Si aucune de ces deux dernières conditions n'est vérifiée, le guide ne s'applique pas.

Si les conditions sont vérifiées, il existe alors une bonne probabilité pour que l'on soit en présence d'un aquifère karstique.

Cependant l'existence d'une fonctionnalité karstique (c'est-à-dire d'écoulements souterrains conditionnés par la structuration du karst) ne peut être complètement démontrée que sur la base d'observations précises du comportement hydrodynamique de l'aquifère. Ces analyses sont à réaliser dans la première phase des études hydrogéologiques préalables (voir logigramme page 19).

Principales difficultés rencontrées dans les procédures de protection des captages en milieu karstique

Organisation et stratégie départementale

Très peu d'outils ou de moyens visant spécifiquement les démarches de protection des captages en milieu karstique sont mis en place. Le manque de cadrage et d'outils au niveau départemental, mais aussi plus globalement au niveau national, se traduit notamment par une hétérogénéité des procédures entre les départements voire au sein d'un même département.

Mise en place et déroulement des procédures

- Objectif des procédures de mise en place des périmètres de protection des captages

Il est fréquent que les objectifs attribués aux périmètres de protection visent la protection de la ressource, et non seulement du captage. Les périmètres de protection n'ont pourtant pas vocation à protéger efficacement contre toutes les pollutions potentielles produites dans le bassin d'alimentation, en particulier lorsqu'il s'agit de pollutions diffuses.

En domaine karstique en particulier, les procédures qui visent de façon inappropriée la protection totale de la ressource peuvent aboutir à des propositions de périmètres de protection très étendus et, par voie de conséquence, à des contraintes socioéconomiques difficilement acceptables.

- Etudes préalables à l'établissement des périmètres de protection

L'absence fréquente de cahiers des charges type induit une assez grande variabilité du contenu des études préalables. Le plus souvent, elles s'attachent essentiellement à la caractérisation de l'aquifère karstique, les autres volets étant alors insuffisamment développés.

L'évaluation de la vulnérabilité est souvent incomplète, et il est très rare qu'une cartographie soit établie. L'insuffisance des approches en matière de vulnérabilité s'explique avant tout par l'absence d'une méthodologie, reconnue et standardisée, adaptée aux systèmes karstiques.

Les études peuvent ainsi apparaître déconnectées de la problématique de définition des périmètres. La réflexion sur les solutions complémentaires ou alternatives (traitement, dispositif d'alerte, interconnexion, ressource alternative) est souvent absente.

- Définition des périmètres

L'absence de méthode de référence pour définir les périmètres de protection en milieu karstique constitue un inconvénient notable.

A défaut, les hydrogéologues agréés utilisent des critères de définition qui leur sont propres ; le manque d'argumentaire pour justifier la délimitation des périmètres et le choix des prescriptions est souligné.

La prise en compte d'objectifs trop larges de protection de la ressource, ou l'utilisation de méthodes inadaptées au karst pour déterminer les périmètres, conduisent à des zonages surdimensionnés.

En revanche, le recours aux périmètres de protection satellites institués par la réglementation pour protéger les zones de forte vulnérabilité (avens, dolines, bétoires), s'avère particulièrement bien adapté aux spécificités des captages en milieu karstique.

- Prescriptions dans les périmètres de protection

Les mesures de protection visent généralement tous les types de pollution : accidentelle, chronique, ponctuelle et diffuse. Une critique récurrente est que les prescriptions sont trop générales et répètent les mesures de la réglementation en vigueur.

Quelquefois, les prescriptions sont au contraire jugées trop strictes, induisant des contraintes socioéconomiques trop fortes pour les collectivités concernées, surtout lorsqu'elles s'appliquent à de grands périmètres ; ce type de difficultés est à l'origine de la plupart des situations de blocage des procédures.

Les prescriptions spécifiques aux aquifères karstiques sont peu nombreuses ; on peut citer principalement les aménagements des pertes et points d'infiltration rapide.

Pour conclure, les problèmes mis en exergue ne sont pas tous spécifiques aux procédures de protection en milieu karstique ; mais **certains facteurs tendent à exacerber les difficultés en domaine karstique** : aquifères karstiques concernés souvent mal connus, analyse de la vulnérabilité et des risques plus délicate du fait de la complexité de la structure et du fonctionnement des aquifères, de la taille des bassins d'alimentation, et donc du nombre de collectivités concernées.



Blagour de Chasteaux (Corrèze)
Photo GINGER

Les Agences de l'eau Adour-Garonne et Rhône-Méditerranée ont réalisé en 2005 une étude : « Bilan et analyse de la mise en œuvre des procédures de protection des captages en milieu karstique »³, basée sur des recherches bibliographiques et des études de cas ; cette première démarche a consisté à :

- dresser un état des lieux des stratégies adoptées, en France, ces dix dernières années pour mettre en place les périmètres de protection autour des captages en milieu karstique,
- identifier et analyser les difficultés qui font obstacle à la mise en œuvre des périmètres de protection dans le karst,
- repérer et analyser les solutions qui ont fait la preuve de leur efficacité, en tenant compte des spécificités naturelles et socio-économiques,
- formuler des préconisations à proposer aux maîtres d'ouvrage, à l'administration et aux hydrogéologues agréés ; ces propositions concernent toutes les étapes des procédures et tous leurs aspects : organisationnels, administratifs, méthodologiques, réglementaires et techniques.

Cette première étude concluait par ailleurs sur la nécessité d'élaborer des outils dans le but de renforcer le cadrage méthodologique des démarches de protection. Entre 2007 et 2010, des guides techniques ont ainsi été élaborés pour les thèmes suivants :

- Guide méthodologique présentant les outils de l'hydrogéologie karstique pour la caractérisation de la structure, du fonctionnement et de l'évaluation des ressources des systèmes karstiques ; (méthodes de caractérisation, traçages de reconnaissance et traçages de simulation, etc.), ONEMA, BRGM, Mars 2010 ;
- Guide méthodologique relatif à la cartographie de la vulnérabilité intrinsèque des aquifères karstiques – méthode PaPRIKa (ONEMA, BRGM⁴, octobre 2009).

En parallèle, suite au « bilan des procédures de protection des captages en milieu karstique », un travail de consolidation et de développement des 27 préconisations issues de cette première démarche a été mené, dans le cadre d'une mission pilotée par l'Agence de l'eau Adour-Garonne, comportant :

- 1) l'évaluation de l'intérêt et de la pertinence de chacune des préconisations grâce au recueil des réactions d'une quarantaine d'acteurs (voir liste en annexe 2) ;
- 2) l'approfondissement des préconisations retenues, intégrant les avancées liées aux guides techniques récemment parus, et aboutissant à l'élaboration du présent document.

A noter par ailleurs la parution en 2009 d'un guide technique élaboré par le Ministère en charge de la Santé : « Protection des captages d'eau : Acteurs et stratégies ». Ce document destiné aux services de l'Etat vise à « fournir un cadre pour l'action des hydrogéologues agréés en matière d'hygiène publique ».

Ce guide n'est pas spécifique aux captages en milieu karstique mais aborde les particularités de la procédure de la mise en place des périmètres de protection pour ce type de captages, notamment dans son annexe 8.



Guide Méthodologique

Les outils de l'hydrogéologie karstique pour la caractérisation de la structure et du fonctionnement des systèmes karstiques et l'évaluation de leur ressource – BRGM/RP - 58237 - FR - Mars 2010



Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque des aquifères karstiques – Guide méthodologique de la méthode PaPRIKa
BRGM/RP-57527-FR – Octobre 2009



Protection des captages d'eau
Acteurs et stratégies

³La synthèse de cette étude est disponible en version électronique sur le site internet de l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée & Corse à l'adresse suivante : www.eaurmc.fr/espace-dinformation/guides-acteurs-de-leau sous le thème « préserver l'eau destinée à la consommation humaine ».

⁴ONEMA : Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques ; BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières

Réglementation relative aux périmètres de protection des captages

L'instauration des périmètres de protection qui concerne tous les points de prélèvement destinés à prélever de l'eau potable destinée au public (eaux souterraines et eaux superficielles) est devenue obligatoire en application des lois du 16 décembre 1964 et du 3 janvier 1992. La réglementation relative à la procédure de protection des captages est codifiée essentiellement dans

le Code de la Santé Publique, en particulier aux articles L. 1321-2, R. 1321-6 et R. 1321-13.

Ces textes prévoient la mise en place pour chaque captage de trois périmètres de protection définis comme suit :

Article L 1321-2 du Code de la Santé Publique

« En vue d'assurer la protection de la qualité des eaux, l'acte portant déclaration d'utilité publique des travaux de prélèvement d'eau destinée à l'alimentation des collectivités humaines détermine autour du point de prélèvement un périmètre de protection immédiate dont les terrains sont à acquérir en pleine propriété, un périmètre de protection rapprochée à l'intérieur duquel peuvent être interdits ou réglementés toutes activités et tous dépôts ou installations de nature à nuire directement ou indirectement à la qualité des eaux et, le cas échéant, un périmètre de protection éloignée à l'intérieur duquel peuvent être réglementés les activités, installations et dépôts ci-dessus visés ».

Le Code de l'Urbanisme (articles L. 126-1 et R. 126-1 à R. 126-3) impose que les servitudes attachées aux périmètres figurent en annexe des plans locaux d'urbanisme.

La Circulaire du 24 juillet 1990 précise les modalités de mise en œuvre de la procédure. Elle présente les périmètres de protection comme « une protection complémentaire dont l'objectif est de préserver les points de prélèvement des risques de pollution provenant des activités exercées à proximité ».

Parmi les textes les plus récents, il convient de se référer :

- à la loi du 9 août 2004 relative à la politique de santé publique qui facilite la maîtrise foncière, simplifie la procédure en supprimant l'obligation de publication des servitudes aux hypothèques et permet à la collectivité d'utiliser son droit de préemption urbain afin d'acquérir plus facilement les terrains ;
- à l'arrêté du 20 juin 2007, relatif à la constitution du dossier de demande d'autorisation d'utilisation d'eau destinée à la consommation humaine, et sa circulaire d'application du 26 juin 2007 ; ces deux textes relayant notamment les modifications instaurées par le décret du 11 janvier 2007 relatif à la sécurité sanitaire des eaux destinées à la consommation humaine.

La réglementation relative à la mise en place des périmètres de protection concerne tous les captages et s'applique par conséquent aux captages en milieu karstique. Il n'existe pas de textes visant exclusivement la protection des captages en milieu karstique ; néanmoins, il existe quelques dispositions particulières ciblant ce type de captages :

- Parallèlement à une meilleure compréhension des phénomènes hydrogéologiques en domaine carbonaté apparaissent dans la législation les termes dérivés du mot « karst ». La circulaire du 12 juillet 1924 envisage la première d'avoir recours aux procédés épuratoires des eaux captées, en particulier pour les « milieux fissurés », afin de limiter la surface des périmètres de protection.
- L'article 21 du décret du 3 janvier 1989 autorise la définition de « **périmètres satellites** », à savoir de zones protégées sur des terrains disjoints. Cette mesure importante, bien qu'applicable à l'ensemble des aquifères, a été prise pour répondre à la problématique des pertes ou points d'engouffrement en zone karstique (gouffres, bétoires, dolines, etc.).

- La circulaire du 24 juillet 1990 (annexe 1) prévoit que pour les systèmes aquifères de type « roches compactes présentant des fissures ouvertes (roches cristallines, gréseuses et surtout calcaires) », la protection des captages soit rapprochée, dans ses principes, de celle des eaux superficielles. L'analogie entendue entre karsts et réseaux hydrographiques de surface conduit donc à considérer, par le biais d'une démarche commune, leur vulnérabilité vis-à-vis de sources potentielles de pollution.
- L'arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine fixe une limite de qualité sur la turbidité de 1 NFU (au point de mise en distribution), spécifique aux eaux provenant de prises en eau de surface et de milieux fissurés présentant une turbidité importante supérieure à 2 NFU.
- Enfin, l'arrêté du 20 juin 2007 reconnaît aux Préfets le pouvoir d'imposer une analyse complémentaire à celle exigée en application de l'article 1er du même arrêté « lorsque les conditions climatiques, environnementales ou le contexte hydrogéologique sont susceptibles d'influencer de manière significative la qualité de l'eau, et notamment dans le cas de nappes alluviales ou d'eaux d'origine karstique ».

La réglementation en vigueur témoigne donc d'une certaine **reconnaissance des karsts en tant que milieux aquifères spécifiques**. De manière implicite, elle tend à surimposer des mesures et recommandations propres à la protection des aquifères en domaine carbonaté, sans pour autant proposer une procédure particulière.



Abîme de Bramabiau (Gard) - Photo Philippe MUET

Réglementation relative à la protection des eaux souterraines

Parallèlement au renforcement de la réglementation relative aux périmètres de protection, celle intéressant la protection des ressources en eau s'est considérablement développée ces 40 dernières années ; l'évolution de cette réglementation générale a été jalonnée par des textes fondamentaux, qui ont chaque fois marqué une avancée importante dans les politiques de préservation des ressources : loi du 16 décembre 1964, loi sur l'eau du 3 janvier 1992 ; le dernier jalon déterminant est la directive cadre du 23 octobre 2000 sur l'eau, dont l'objectif central est la protection à long terme des milieux aquatiques et des ressources en eau ; cette directive a été transposée notamment par la loi sur l'eau du 30 décembre 2006.

Avant la directive cadre et les lois sur l'eau, l'essentiel de la réglementation relative aux eaux souterraines était axé sur la protection de l'usage AEP ; les principaux textes intéressant prioritairement les eaux souterraines ont émané d'initiatives européennes :

- directive du 17 décembre 1979 (transposée en droit français par l'arrêté du 10 juillet 1990) concernant la protection des eaux souterraines contre la pollution causée par certaines substances dangereuses ;
- directive du 12 décembre 1991 sur la protection des eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricole.

La directive cadre sur l'eau a marqué une avancée fondamentale pour la protection des ressources en eau, notamment souterraines, en fixant les objectifs suivants :

- Prévenir la détérioration de l'état de toutes les masses d'eau souterraine.
- Obtenir en 2015 un **bon état chimique et quantitatif** des masses d'eau souterraines (sauf dérogations pour un report à 2021 ou 2027).
- Inverser toute tendance à la hausse, significative et durable, de la concentration de tout polluant.
- Réduire progressivement la pollution due aux substances prioritaires et arrêter ou supprimer progressivement les émissions, les rejets et les pertes de substances dangereuses prioritaires.

La directive cadre impose par ailleurs le classement dans le registre des zones protégées de tous les points de captages fournissant plus de 10 m³/jour ou desservant plus de 50 personnes ; elle fixe dans ces zones protégées un objectif d'atteinte du bon état en 2015. En outre, elle demande que soit assurée la protection nécessaire pour les masses d'eau recensées afin de prévenir la détérioration de leur qualité de manière à réduire le degré de traitement de purification nécessaire à la production d'eau potable. Les États membres peuvent établir à cette fin des zones de sauvegarde pour ces masses d'eau.

Les SDAGE et les Programmes de mesures relaient l'ensemble de ces objectifs et définissent les actions et les mesures de gestion à mettre en œuvre pour les satisfaire.

La directive du 22 novembre 2006 sur la protection des eaux souterraines contre la pollution et la détérioration, définit les critères pour l'évaluation du bon état chimique des eaux souterraines et pour l'identification et l'inversion des tendances à la hausse significatives et durables.

L'arrêté du 17 décembre 2008 établit les critères d'évaluation et les modalités de détermination de l'état des eaux souterraines et des tendances significatives et durables de dégradation de l'état chimique des eaux souterraines. Il fixe les normes de qualité des eaux souterraines pour les nitrates, les substances actives des pesticides, ainsi que les métabolites et produits de dégradation et de réaction pertinents (annexe I), et définit les valeurs seuils maximales pour 7 autres paramètres (annexe II).

Il est apparu nécessaire, pour atteindre les objectifs fixés par la directive cadre, de conduire une politique volontariste de reconquête des ressources destinées à la production d'eau potable dans les zones atteintes par les pollutions. A cet effet, la France a complété son dispositif réglementaire, notamment via l'article 21 la loi sur l'eau du 30 décembre 2006, qui renforce les dispositifs de gestion de la ressource en créant des **zones de protection des aires d'alimentation des captages**, sur lesquelles sont mis en œuvre des programmes d'actions visant notamment la lutte contre les pollutions diffuses d'origine agricole.

Les modalités de mise en œuvre de ce dispositif figurent dans le décret du 14 mai 2007 relatif à certaines zones soumises à contraintes environnementales et modifiant le code rural (art. R. 114-1 à R. 114-10) ; ces modalités sont précisées dans la circulaire du 30 mai 2008.

Ce nouvel outil « donne la possibilité à l'autorité administrative, en concertation avec les différents acteurs au niveau local, de délimiter des zones de protection des aires d'alimentation des captages (AAC). Au sein de ces aires d'alimentation, sont établis des programmes d'actions visant à restaurer ou préserver l'état de la ressource en eau par la modification des pratiques agricoles sur le territoire, de manière à atteindre les objectifs de quantité et de qualité des eaux superficielles et souterraines ».

Ce dispositif réglementaire doit contribuer à la mise en œuvre des Programmes de mesures et des orientations du Grenelle de l'environnement.

Modalités de mise en œuvre des programmes d'actions dans les zones de protection des aires d'alimentation des captages

Décret du 14 mai 2007 relatif à certaines zones soumises à contraintes environnementales et circulaire du 30 mai 2008

Les dispositions introduites par le décret du 14 mai 2007 peuvent être utilisées pour tous les territoires où l'importance des enjeux environnementaux concernant notamment la protection des aires d'alimentation de captages ainsi que les caractéristiques de la situation locale justifient la mise en œuvre d'une action spécifique de nature réglementaire, concernant notamment l'activité agricole.

La circulaire précise qu'il sera nécessaire de hiérarchiser les actions en portant d'abord l'effort sur les zones prioritaires définies dans les divers programmes nationaux ou locaux, en particulier : contentieux européens et situations présentant un risque de contentieux, aires d'alimentation de captages identifiées comme prioritaires dans le cadre de l'élaboration des SDAGE et du Grenelle de l'Environnement).

La mise en œuvre des programmes d'actions doit se faire, autant que possible, dans un cadre négocié et contractuel ; le passage à une modalité d'application obligatoire ne constitue qu'une possibilité. Tout ou partie du programme d'actions peut être rendu obligatoire en cas de mise en œuvre insuffisante par les acteurs concernés, au regard des objectifs et de l'échéancier de réalisation initialement fixés. Le délai au terme duquel certaines mesures du programme d'actions peuvent être rendues obligatoires est de 3 ans ; dans le cas des ressources souterraines, le délai est ramené à un an en cas d'autorisation d'utiliser une ressource non conforme aux limites de qualité des eaux brutes pour la production d'eau destinée à la consommation humaine.

La circulaire précise dans son annexe C que lorsque la procédure vise la protection d'une ressource dont les eaux brutes ne sont pas conformes aux exigences de qualité (arrêté du 11 janvier 2007), la délimitation de la zone d'action et la définition du programme d'action font l'objet d'une seule consultation et d'un seul arrêté préfectoral.

La délimitation de la zone d'action implique la réalisation de plusieurs étapes :

- la délimitation de l'AAC, définie sur des bases hydrogéologiques ;
- l'analyse de la vulnérabilité intrinsèque de l'AAC ; pour les systèmes karstiques ces travaux doivent s'appuyer sur le guide méthodologique du BRGM « Délimitation des bassins d'alimentation des captages et cartographie de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses », septembre 2007 et pour la cartographie, sur le guide : Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque des aquifères karstiques - Guide Méthodologique de la méthode PaPRIKa (ONEMA, BRGM, octobre 2009). La mise à jour à venir en 2010-2011 du guide BRGM de 2007 inclura la référence à cette méthode, publiée après sa sortie.
- le diagnostic territorial des pressions, notamment agricoles, à l'échelle de l'AAC ;
- la délimitation de la zone de protection (ZPAAC) qui correspond à la zone d'application du programme d'actions.

La délimitation de la zone de protection vise à protéger tout ou partie de l'AAC vis-à-vis des pressions polluantes ; la circulaire indique que dans le cas des aquifères karstiques, la protection de la totalité de l'AAC peut être difficile à mettre en œuvre du fait d'une taille importante. La zone de protection au sein de l'AAC doit être déterminée en fonction de la contribution à l'alimentation du captage et en fonction de la vulnérabilité croisée avec les pressions, de façon à identifier la zone qui contribue de façon importante à la dégradation de la qualité des eaux du captage.

Le contenu du guide obéit à deux principes :

1) Il présente les modalités de mise en œuvre des procédures de protection et les recommandations associées pour les étapes successives de ces démarches :

- l'étape amont concernant l'organisation et les stratégies départementales adoptées pour mettre en œuvre les périmètres de protection, l'étape de procédure, comportant principalement les études préalables et aboutissant aux périmètres de protection réglementaires et éventuellement à des actions dans l'aire d'alimentation du captage.

2) Il propose chaque fois que c'est pertinent une adaptation de certaines recommandations en fonction d'une typologie des captages en milieu karstique, présentée dans le chapitre suivant.

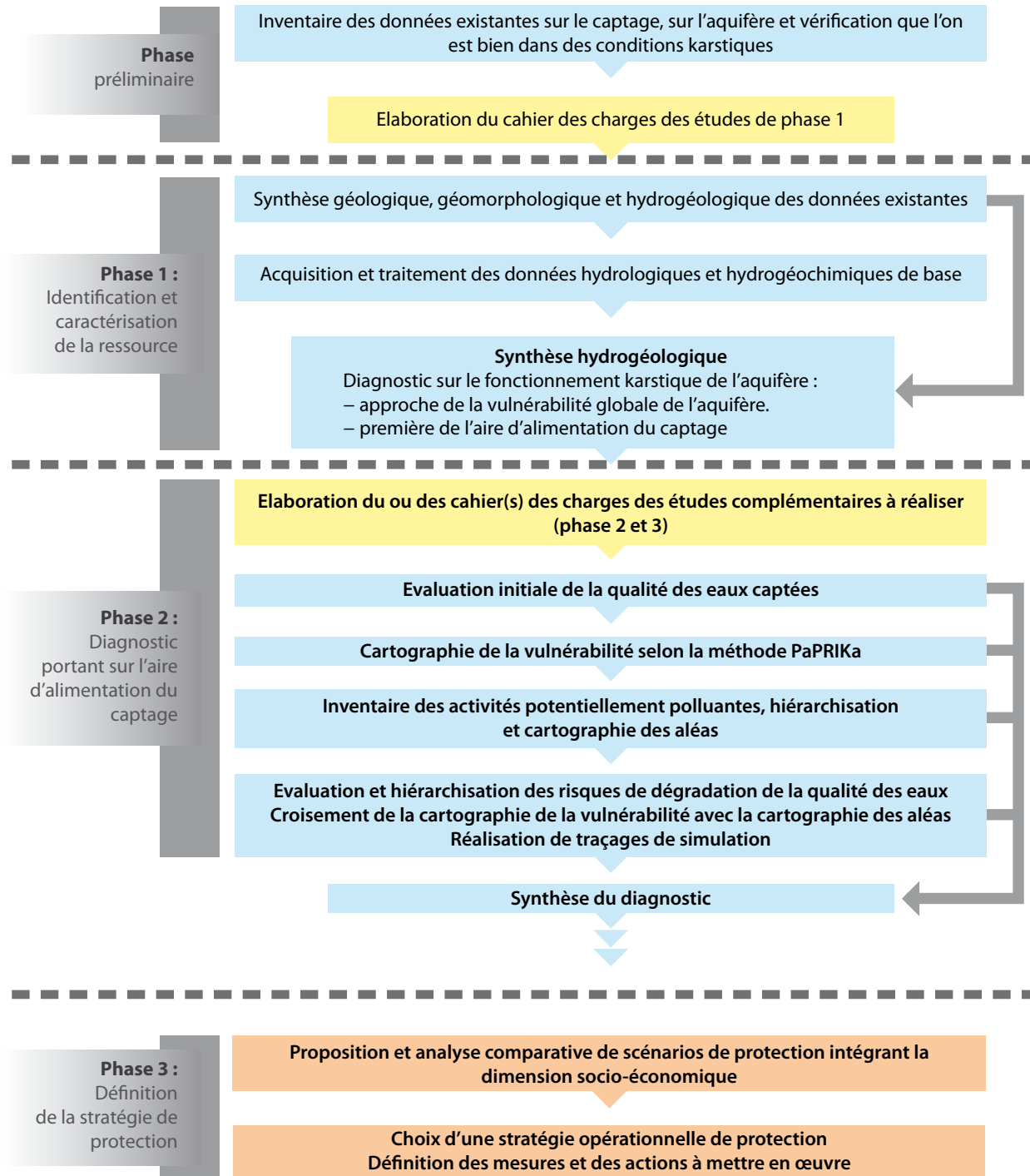
La majeure partie du guide est consacrée au contenu des études préalables. Il est donc fréquemment fait référence aux différentes phases des études préalables. La trame présentée ci-contre fournit le déroulement complet des études préalables, et peut servir de fil conducteur à la suite du guide.

Des cahiers des charges types sont proposés en annexe 3, pour chaque type de captage. Ces documents détaillent le contenu des études préalables et déclinent les adaptations pertinentes pour chaque type de captage. Ils ont pour vocation de servir d'appui aux Maîtres d'ouvrage pour l'élaboration des cahiers des charges des études préalables aux procédures de protection des captages en karst.



Source du Bouillon (Loiret)
Photo Philippe MUET

DÉROULEMENT DES ÉTUDES PRÉALABLES





I. Présentation de la typologie des systèmes karstiques

Une typologie des captages en aquifère karstique a été établie dans le cadre de l'étude « Bilan et analyse de la mise en œuvre des procédures de protection des captages en milieu karstique », sur la base d'une analyse bibliographique et de la consultation d'experts nationaux. Elle a pour objectif de guider la collectivité dans les études préalables à réaliser et d'identifier des stratégies de protection adaptées à chaque type de captages.

Trois types de captages ont été définis en fonction de deux critères simples, identifiables dès les premières approches, à partir des connaissances disponibles en amont des procédures :

- la position du captage par rapport à la structure du système karstique. Elle permet de distinguer les captages (gravitaires, par pompage ou par forage) placés sur les axes de drainage (source, galeries en amont des sources) et les captages (le plus souvent forages) dans les systèmes annexes au drainage ;
- la superficie de l'impluvium du système karstique capté, directement proportionnelle aux débits moyens de la source exutoire du système. Un seuil de l'ordre 10 km² est proposé.

CLASSIFICATION TYPOLOGIQUE DES CAPTAGES

CRITÈRES		SUPERFICIE DE L'AIRE D'ALIMENTATION	
		< 10 km ² / débit moyen annuel faible	> 10 km ² / débit moyen annuel fort
POSITION DU CAPTAGE	Captage de source, forage sur axe de drainage, pompage en source	Type A • Souvent systèmes karstiques peu évolués ou peu fonctionnels pour avoir un débit suffisant en étiage • Surfaces à protéger plus réduites • Meilleure maîtrise du foncier • Motivation plus importante car périmètre à proximité de la zone alimentée • Etudes hydrogéologiques préalables plus simples et moins coûteuses Stratégie de protection simple	Type B • Surfaces à protéger plus ou moins importantes et souvent éloignées du captage • Vitesses de transit pouvant être élevées (vulnérabilité) • Difficulté de motivation car protection loin de la population alimentée • Etudes hydrogéologiques préalables, longues et complexes • Nécessité d'une forte expertise du bureau d'études et de l'hydrogéologue agréé Stratégie de protection de plus difficile à définir, fonction des résultats des études préalables (fonctionnalité, vulnérabilité,...)
	Forage hors des principaux axes de drainage	Type C • Aire d'alimentation souvent réduite, pas ou peu d'influence des sources de pollution lointaines • Surface à protéger souvent réduite par rapport au type B (dépend du débit de pompage) • Meilleure maîtrise du foncier • Motivation plus importante car périmètre à proximité de la population alimentée • Etudes préalables différentes des autres types, principalement basées sur les pompages d'essai Stratégie de protection différente des types A et B	

Ces deux critères permettent de déterminer trois types de captages :

■ ■ ■ **Type A** : Ces captages concernent le plus souvent des sources à faible débit dont le débit d'étiage est néanmoins suffisamment soutenu pour qu'il présente un intérêt pour l'approvisionnement en eau potable de la collectivité. Cette caractéristique induit généralement une vulnérabilité assez faible. De plus, la taille réduite du bassin d'alimentation rend plus simples et moins coûteuses les études hydrogéologiques préalables. La protection est plus facile à mettre en place. La collectivité maîtrise mieux le foncier et la mobilisation des acteurs locaux est souvent meilleure car les personnes concernées par les mesures de protection sont aussi celles qui consomment les eaux captées.



*Captage de la source du Bournac (Lot)
Captage de type A - Photo GINGER*

■ ■ ■ **Type B** : Ces captages représentent la grande majorité des ouvrages actuellement protégés ou en cours de protection. Ils nécessitent des études hydrogéologiques préalables spécifiques, souvent lourdes. Les stratégies de protection pour les captages de type B se situent entre celles utilisées pour les eaux de surface et celles employées pour les milieux hétérogènes de type fissurés.



*Captage de la source du Lez (Hérault)
Captage de type B - Photo Philippe CROCHET*

■ ■ ■ **Type C** : Ces captages sont certainement les moins nombreux car l'idée selon laquelle il peut exister des réserves exploitables importantes entre les drains est récente. Ces captages ont pourtant beaucoup d'avantages puisqu'ils présentent généralement des aires d'alimentation moins grandes et permettent donc des stratégies de protection plus simples. De plus, la qualité des eaux est souvent plus stable.

Il est en général facile de déterminer la classe du captage concerné, en particulier pour les types A et B; cela peut être plus délicat pour les captages de type C. Dans ce cas, la classification typologique devra être confirmée à l'issue de la première phase des études préalables, sur la base des résultats d'un pompage d'essai réalisé dans les règles de l'art.



*Forages d'Entrecors (Corrèze)
Captage de type C - Photo Philippe CROCHET*

II. Objectifs de la protection

L'objectif des périmètres de protection des captages en karst consiste essentiellement à limiter les risques de pollution rapide du captage ; en milieu karstique, les périmètres de protection contribuent au respect des limites de qualité des eaux destinées à l'alimentation en eau, mais ne suffisent pas à eux seuls à atteindre cet objectif, compte tenu des vitesses de transit très importantes.

La fixation d'objectifs trop ambitieux et inappropriés ou la confusion entre objectif de protection du captage et objectif de protection de la ressource constituent un des principaux écueils dans le déroulement des procédures en milieu karstique.

Il est donc utile de réaffirmer les objectifs des périmètres de protection tels que définis par la réglementation :

- Les périmètres de protection ont pour principal objectif de renforcer la réglementation générale en matière de protection des eaux de façon à assurer la pérennité de la qualité des eaux distribuées et à garantir la santé publique.
- Ils sont destinés à protéger les points de captage et le secteur proche du captage mais ne visent pas la protection globale de la ressource captée.
- L'instauration des périmètres vise à protéger les captages des pollutions de proximité de type ponctuel chronique et/ou accidentel. Cette protection est mise en place uniquement au titre de la préservation de la santé publique.

L'étendue des périmètres doit être calculée de manière à assurer un temps de transfert des pollutions accidentelles jusqu'au captage suffisamment long pour que puisse être déclenchée l'alerte. Mais pour les aquifères de type karstique, ce concept de temps de transfert pose problème du fait que les substances polluantes peuvent rejoindre rapidement le réservoir souterrain sans subir de filtration et à des vitesses beaucoup plus élevées que dans les milieux poreux.

Il est largement reconnu que la procédure de mise en place des périmètres de protection n'est pas l'outil adapté pour lutter contre les pollutions diffuses, notamment de type agricole. Il n'en reste pas moins

qu'une fois les limites des périmètres définies sur la base de considérations de temps de transfert de pollutions ponctuelles et accidentelles jusqu'au captage, il peut être nécessaire de réglementer l'utilisation des pesticides dans ces périmètres, en cohérence avec les mesures éventuellement prises ou à prendre dans l'aire d'alimentation.

Enfin, pour les captages en karst, les périmètres de protection sont peu efficaces vis-à-vis de la turbidité et des contaminations bactériologiques ; ces deux paramètres sont ceux qui posent le plus souvent problème dans les eaux karstiques, les mauvais résultats en bactériologie étant souvent associés aux pics de turbidité.

Il faut donc souligner que **les périmètres de protection ne constituent pas un instrument unique et suffisant pour assurer la protection de la qualité des eaux destinées à la consommation humaine** ; ceci est particulièrement vrai pour les ressources karstiques.

Si l'on considère l'objectif de santé publique, c'est-à-dire de protection de la qualité des eaux distribuées, des outils techniques complémentaires doivent être mobilisés : aménagement du captage, équipements de traitement, mise en place de dispositif d'alerte en cas de pollution accidentelle, stockage d'eau brute ou traitée, recours à une ressource alternative.

En particulier, la mise en œuvre d'un traitement de la turbidité est indispensable pour respecter la limite de qualité réglementaire pour les eaux distribuées⁵.

⁵L'article R. 1321-37 du Code de la Santé Publique fixe une limite de qualité de 1 NFU en distribution pour les eaux souterraines de milieu fissuré présentant une turbidité périodique importante et supérieure à 2 NFU ; cette contrainte impose de mettre en place un traitement adapté (filtration latérale, coagulation, floculation, ultrafiltration, etc.), et des mesures éventuelles de gestion complémentaire, comme par exemple, le by-pass momentané des eaux trop turbides.

Si l'on considère l'objectif plus général de maintien ou d'amélioration de la qualité de la ressource captée, l'outil périmètres de protection n'est pas adapté ; la réglementation générale, qui s'est considérablement renforcée suite à la directive cadre sur l'eau, aux lois sur l'eau, aux SDAGE et aux Programmes de mesures 2010 – 2015, prévoit un panel de dispositions, parmi lesquelles la définition de zones de protection des aires d'alimentation des captages au sein desquelles sont établis des programmes d'actions visant à restaurer ou préserver l'état de la ressource en eau.

Ce dernier dispositif issu de l'article 21 de la loi sur l'eau rejoint l'objectif de santé publique dans la mesure où il vise la protection des ressources captées pour l'alimentation en eau potable, à l'échelle des aires d'alimentation des captages, en ciblant principalement la lutte contre les pollutions diffuses d'origine agricole en amont des captages.

Cette démarche peut être mise en œuvre de façon complémentaire à la procédure réglementaire de protection du captage, mais elle demeure distincte. Elle peut s'avérer particulièrement intéressante pour les captages sollicitant des ressources karstiques, dans la mesure où les aires d'alimentation sont souvent étendues et vulnérables.

Les situations pour lesquelles il est recommandé de mettre en œuvre un dispositif de protection à l'échelle des AAC sont décrites au chapitre «Evaluation initiale de la qualité de la ressource».

Le renforcement de la réglementation en matière de protection générale des eaux souterraines et la création du nouveau dispositif relatif à la prévention des pollutions dans les AAC permettent de clarifier les objectifs respectifs des différents outils et de recentrer la procédure réglementaire de mise en place des périmètres de protection sur son objectif originel, circonscrit à la protection rapprochée du captage contre les risques de pollution ponctuelle dus aux activités implantées à proximité. Cette notion de proximité doit être entendue non seulement du point de vue géographique mais aussi du point de vue temporel, en termes de temps de transit des polluants.

Dans le guide technique élaboré par le Ministère en charge de la Santé : « Protection des captages d'eau : Acteurs et stratégies », il est proposé que le temps de transfert minimum à prendre en compte pour la définition des périmètres de protection soit de 2 à 3 heures pour les circulations les plus rapides en cas de fort débit.

III. Encadrement de la procédure au niveau départemental

Il est recommandé de mettre en place un comité de pilotage départemental qui puisse s'appuyer sur un hydrogéologue compétent en domaine karstique.

Le défaut de cadrage et d'outils au niveau départemental nuit au bon déroulement des procédures de protection en karst et se traduit notamment par une hétérogénéité des démarches adoptées quant aux objectifs de protection, aux modes de définition des périmètres et aux prescriptions.

Il est recommandé en particulier pour les départements où les ressources karstiques sont exploitées ou susceptibles de l'être dans le futur, de mettre en place

un comité de pilotage départemental, si celui-ci n'existe pas encore.

Ce comité de pilotage départemental est constitué a minima de représentants des services déconcentrés de l'Etat en charge de la Santé et de la Police de l'Eau et du Conseil général. Il contribue à la mise en œuvre et au suivi du plan d'action départemental de protection des captages, dont l'élaboration est pilotée par le service de l'Etat en charge de la Santé.

Plan d'action départemental de protection des captages

La circulaire DGS/SD7A no 2005/59 du 31 janvier 2005 relative à l'élaboration et à la mise en œuvre d'un plan d'action départemental de protection des captages indique les actions à effectuer par les services déconcentrés de l'Etat en charge de la Santé pour améliorer la protection des captages servant à la production d'eau destinée à la consommation.

Ce plan vise l'amplification de la dynamique d'instauration des périmètres de protection, afin d'atteindre les objectifs du PNSE en 2008 et 2010 et de contrôle de l'effectivité de la mise en œuvre et du respect des mesures relatives aux prescriptions sur ces zones protégées.

Le plan départemental de protection des captages doit inclure :

- des objectifs annuels de protection des captages quantifiés de 2005 à 2010, en priorisant les captages desservant une population importante ou/et dont les indicateurs de la qualité des eaux justifient prioritairement des mesures de protection des risques au niveau des ressources ;
- l'identification, l'établissement des rôles et missions des partenaires associés ;
- l'identification et la planification des moyens à mobiliser : formation, information, contrôle et inspection des périmètres de protection, etc ;
- les modalités d'évaluation de l'atteinte des objectifs : mission de pilotage, méthodes et calendrier de l'évaluation ;
- un tableau de bord de suivi.

Les attributions du comité de pilotage départemental comportent :

- la programmation départementale des procédures, l'élaboration d'un cahier des charges type pour les études préalables, adapté aux caractéristiques du karst dans le département, et la validation des cahiers des charges élaborés pour chaque nouvelle procédure,
- la dynamisation et la sensibilisation de l'échelon

local, le soutien technique et réglementaire auprès des acteurs locaux (voir chapitre suivant relatif au comité de suivi local),

- le suivi et le bilan annuel de l'avancement des procédures (indiquant notamment pour chaque captage le type d'aquifère capté),
- la capitalisation et la valorisation des expériences tirées des procédures.

Le bilan réalisé en 2005 sur les procédures de protection en milieu karstique a montré que les départements qui disposent d'un comité de pilotage intégrant un hydrogéologue ayant des compétences en domaine karstique ont une approche plus pertinente ; dans ces départements, les procédures se déroulent mieux et les blocages sont plus rares. Cet hydrogéologue compétent en karst peut appartenir à un service de l'Etat ou du département ; il est vrai que la présence d'un hydrogéologue dans ces services n'est pas fréquente. Il faut néanmoins insister sur l'intérêt pour le comité de pilotage départemental de s'attacher les services d'un hydrogéologue ayant une expérience suffisante en hydrogéologie karstique pour aider au pilotage de ces procédures.

En aucun cas, cet hydrogéologue ne peut être un hydrogéologue agréé en matière d'hygiène publique dans le département concerné. En particulier, la fonction de coordonnateur ne recouvre pas la mission

d'appui technique auprès du comité de pilotage départemental (Cf. guide technique élaboré par le Ministère en charge de la Santé : « Protection des captages d'eau : Acteurs et stratégies »).

Il est recommandé que les membres du comité de pilotage départemental soient formés sur les spécificités et la protection des milieux karstiques.

Il ne s'agit pas d'envisager des formations poussées mais plutôt une information de base sur les caractéristiques et le fonctionnement d'un aquifère karstique, les particularités de ce milieu et surtout les techniques pertinentes qui permettent d'arriver à une protection satisfaisante de la ressource captée.

Cette formation / sensibilisation peut être réalisée par le biais de séminaires sur le sujet, ou via la formation continue⁶.

Il est recommandé de réaliser des études générales de connaissance des grands ensembles karstiques, sous maîtrise d'ouvrage des collectivités territoriales : syndicats départementaux d'eau potable, départements, régions, EPTB⁷, Parcs Naturels régionaux et nationaux.

La réalisation, au niveau départemental ou régional, **d'études générales de connaissance des grands ensembles karstiques** constitue un préalable particulièrement intéressant pour les procédures réglementaires de protection ; ces études peuvent permettre :

- de caractériser la structure et le fonctionnement des systèmes karstiques,
- d'identifier les aires d'alimentation des captages,
- de connaître les temps de transfert des pollutions en prenant en considération les questions d'échelle et d'hétérogénéité,
- de cibler ainsi les zones particulièrement vulnérables où la création de nouveaux captages est à éviter, du fait des contraintes de protection.

Ces études générales peuvent être portées par les collectivités territoriales : départements, régions, EPTB⁷ (établissements publics territoriaux de bassin), Parcs Naturels régionaux ou nationaux, etc., avec le soutien des DREAL et des Agences de l'eau.

■ En Aveyron, le Parc naturel régional des Grands Causses a pris la maîtrise d'ouvrage des études hydrogéologiques générales réalisées sur les Grands Causses ; elles ont fourni une base solide de connaissances, facilitant la mise en œuvre des procédures réglementaires de protection des captages.

■ En Normandie, l'Agence de l'eau Seine-Normandie et le BRGM ont réalisé une étude visant à répertorier les bêttoires et les marnières sur l'ensemble du karst de la craie.

■ Dans le Lot, le Parc naturel des Causses du Quercy a pris la maîtrise d'ouvrage d'études hydrogéologiques visant à délimiter les aires d'alimentation des captages et des sources karstiques. Il a participé activement à la réalisation de tests de la méthode PaPRIKa de cartographie de la vulnérabilité.

⁶Le BRGM propose des stages dans le domaine de l'hydrogéologie en général, de la protection des captages et de la délimitation des AAC et de la cartographie de la vulnérabilité. Des formations à la carte sont possibles. D'autres formations existent, par exemple sur les traçages des eaux souterraines ; ces formations sont ouvertes à tout public et visent, outre la connaissance générale de la méthode, l'aide à la rédaction de cahiers des charges (ENGEE ; OIEau ; CETRAHE ; INERIS ; ...).

⁷Etablissement Public Territorial de Bassin

IV. Déroulement de la procédure de protection des captages : élaboration d'une stratégie de protection

■ Etape de lancement de la procédure

Il est recommandé de constituer, au démarrage de chaque procédure, un comité de suivi local composé, outre la collectivité Maître d'ouvrage du captage, de l'assistant au maître d'ouvrage (AMO) le cas échéant, de représentants des acteurs locaux, et d'au moins un des membres du comité de pilotage départemental.

Le représentant du comité de pilotage départemental sera si possible choisi en fonction de sa pratique des procédures en milieu karstique.

Les représentants des activités et usages présents sur l'aire d'alimentation du captage peuvent être associés au comité de suivi (Chambre d'Agriculture, organismes consulaires, coopératives ou association d'agriculteurs, associations, représentants d'autres communes, etc.). La structure de gestion de la ressource concernée (syndicat de bassin ou de nappe), si elle existe, peut également être conviée aux travaux du comité de suivi local.

Dans le cas d'un captage situé sur un périmètre où il existe un SAGE approuvé ou en cours d'élaboration, il est souhaitable qu'un représentant de la Commission Locale de l'Eau soit également associé.

Le comité de suivi a un rôle consultatif ; sa fonction est d'apporter **un appui technique et une aide à la décision** à la collectivité Maître d'ouvrage dans le suivi des études, la définition et la mise en œuvre de la stratégie de protection. Un comité de suivi unique est constitué pour l'ensemble des procédures d'une même collectivité.

Ce comité local accompagne la procédure dès son engagement ; ses missions comportent :

- la définition des objectifs de protection ;
- la validation du cahier des charges des études préalables ;
- le contrôle et la validation technique des études préalables ;
- l'analyse des différents scénarios de protection proposés par les études préalables et le choix de la stratégie de protection ;

- la validation technique de la définition des prescriptions dans les périmètres de protection et le cas échéant des actions dans la zone de protection de l'aire d'alimentation du captage (ZPAAC).

Suite à la mise en place des périmètres et mesures de protection, le comité de suivi local assure :

- l'appui à la définition des moyens techniques et financiers nécessaires à la réalisation des mesures de protection (choix des outils contractuels, plans de financement, etc.) ;
- le suivi de la mise en œuvre des prescriptions dans les périmètres de protection et le cas échéant des actions dans la ZPAAC ;
- la gestion des éventuels conflits liés aux mesures de protection ;
- le bilan des actions réalisées et l'évaluation de leurs impacts, en regard des objectifs de protection fixés.

Le comité de suivi est piloté par la collectivité Maître d'ouvrage, qui décide de son fonctionnement et de la planification des réunions ; le secrétariat du comité est assuré par un ingénieur ou technicien agent de la collectivité ou par l'AMO.

La collectivité peut éventuellement désigner un assistant à maîtrise d'ouvrage ; cet AMO peut être le département via le SAT (Service d'Assistance Technique), une collectivité territoriale ou encore un bureau d'études privé. Il est rappelé en particulier que dans certaines conditions (communes rurales dont le potentiel financier par habitant est, pour l'année n-1, inférieur à 1,3 fois celui des communes de moins de 5000 habitants ; Etablissement public de coopération intercommunale (EPCI) de moins de 15 000 habitants),

les communes et les EPCI peuvent bénéficier d'une assistance technique par les SAT, dans des conditions déterminées par convention avec le département⁸, pour définir les mesures visant la protection des aires d'alimentation des captages d'eau potable.

Il est recommandé à la collectivité de faire appel aux compétences d'un AMO (public ou privé), en priorité en cas de personnel et de moyens techniques manquants ou insuffisants au sein de la collectivité maître d'ouvrage.

Un **état des connaissances hydrogéologiques** et des données disponibles sur la qualité est à établir au début de la procédure, pour permettre de bien identifier les investigations complémentaires à mener dans le cadre des études préalables.

Cette phase préliminaire identifiée dans le logigramme page 19 présentant le déroulement des études préalables, a en effet pour principal objectif de faire le bilan des connaissances disponibles sur le captage et l'aquifère sollicité, de façon à pouvoir élaborer le cahier des charges des études et investigations complémentaires à mener pour la Phase 1 - Identification et caractérisation de l'aquifère karstique. Elle permet de vérifier que le captage concerne bien un aquifère karstique et de préciser de quel type de captage il s'agit, en référence à la classification typologique présentée au chapitre I.

Des trames de cahiers des charges correspondant à chaque type de captages en milieu karstique (A, B ou C) sont jointes en annexe 3 du présent guide.

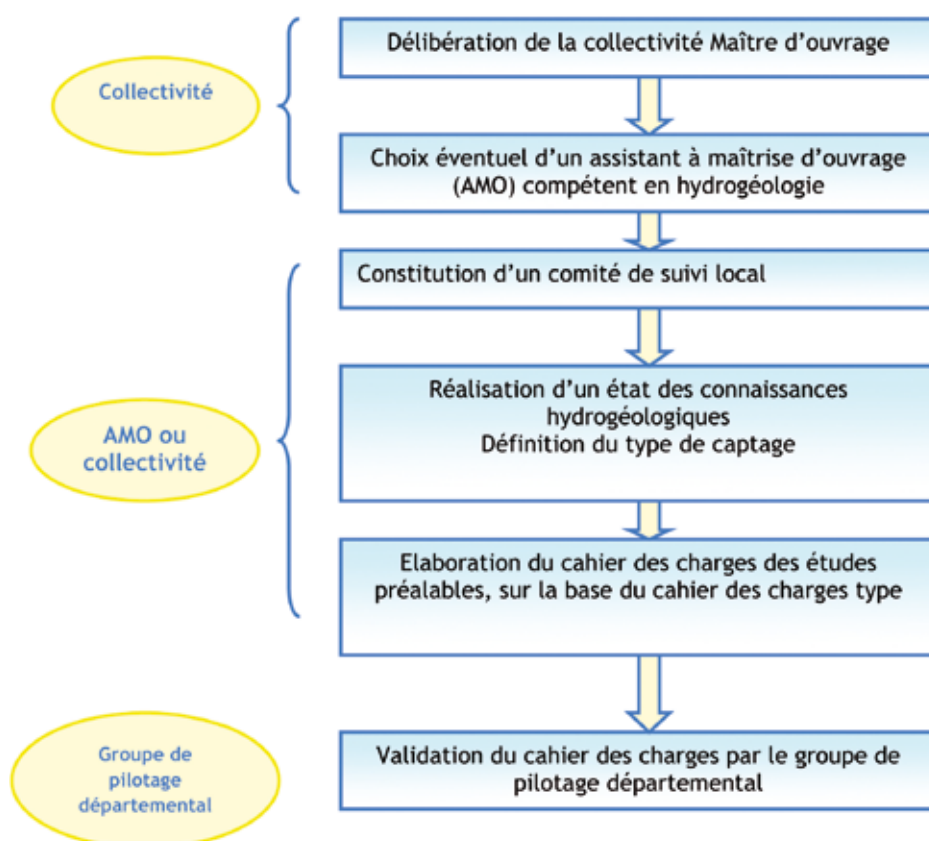
Il est recommandé de se baser sur ces cahiers des charges – types et de les adapter aux spécificités locales des aquifères karstiques pour élaborer le cahier des charges des études préalables.

Les trames de cahiers des charges sont accompagnées d'une notice et de logigrammes, qui présentent les différentes étapes des études préalables. Toutes les étapes ne sont pas systématiquement nécessaires, certaines pouvant être allégées, en fonction des caractéristiques locales connues (occupation des sols, qualité actuelle de la ressource captée, etc.).

On se référera aussi aux guides techniques suivants, déjà cités dans l'Introduction au chapitre Genèse du guide :

- Guide méthodologique présentant les outils de l'hydrogéologie karstique pour la caractérisation de la structure, du fonctionnement et de l'évaluation des ressources des systèmes karstiques (méthodes de caractérisation, traçages de reconnaissance et traçages quantitatifs, etc.), (ONEMA, BRGM, 2010) ;
- Guide méthodologique relatif à la cartographie de la vulnérabilité intrinsèque des aquifères karstiques – méthode PaPRIKa (ONEMA, BRGM, octobre 2009).

DÉROULEMENT PRÉCONISÉ POUR L'ÉTAPE DE LANCEMENT DE LA PROCÉDURE



⁸ Cf. articles L.3232-1-1 et R. 3232-1 du Code général des collectivités territoriales

Portage de la procédure de protection

La collectivité Maître d'ouvrage du captage définit sa stratégie opérationnelle de protection, dans le cadre des études préalables, et en concertation avec le comité de suivi local. Une délibération de la collectivité entérine la stratégie de protection retenue.

Après avoir choisi le cas échéant un AMO, constitué un comité local de suivi de la procédure et élaboré un cahier des charges adapté pour la réalisation des études préalables, la collectivité suit et valide la réalisation de ces études, avec l'appui du comité de suivi local. Les études préalables établissent un **diagnostic**, puis présentent et comparent des scénarios alternatifs pour la protection du captage et de la ressource.

L'analyse comparative des scénarios aboutit au choix par le maître d'ouvrage, avec l'appui du comité de suivi local, d'une **stratégie opérationnelle de protection et d'un programme d'actions**, qui, une fois validé, fait l'objet d'une délibération de la collectivité Maître d'ouvrage du captage. Le contenu des différentes étapes des études préalables aboutissant à la définition de la stratégie de protection est précisé dans les chapitres suivants.

Contenu des études préalables / Diagnostic

Le diagnostic englobe les deux premières phases des études préalables (voir logigramme sur le déroulement des études préalables page 19) :

- Phase 1 : Identification et caractérisation de l'aquifère capté ; c'est la phase de diagnostic général du fonctionnement de la ressource karstique ;

- Phase 2 : Diagnostic ciblant l'aire d'alimentation du captage, et comportant principalement la définition de l'aire d'alimentation du captage, l'analyse de la vulnérabilité et des risques de dégradation de la qualité des eaux captées.

Principes généraux pour l'établissement du diagnostic

Le diagnostic est fondé en premier lieu sur les investigations demandées par la réglementation en vigueur relative à la demande d'autorisation d'utilisation d'eau en vue de la consommation humaine : articles R. 1321-6 à R.1321-12 et R. 1321-42 du code de la santé publique, arrêté du 20 juin 2007 et sa circulaire d'application du 26 juin 2007, relayant notamment les modifications instaurées par le décret du 11 janvier 2007 relatif à la sécurité sanitaire des eaux destinées à la consommation humaine. Ces textes indiquent notamment :

- le contenu de l'étude préalable, obligatoire lorsque le débit maximal de prélèvement est supérieur à 8 m³/heure (annexe III de l'arrêté du 20 juin 2007) ;
- les objectifs de l'évaluation initiale de la qualité de l'eau et le contenu des analyses à réaliser (annexes I et II de la circulaire du 26 juin 2007) ;
- les informations à prendre en compte pour l'évaluation des risques de dégradation de la qualité de l'eau de la ressource utilisée (annexe III de la circulaire du 26 juin 2007).

Des recommandations complémentaires spécifiques aux captages en milieu karstique et fondées sur le retour d'expérience sont formulées dans ce chapitre pour certains volets des études préalables.

Quatre principes essentiels doivent présider à l'établissement du diagnostic de la ressource karstique utilisée :

1) Identifier l'aire d'alimentation du captage ; la définition de l'AAC est un élément technique primordial de la procédure de mise en place des périmètres de protection en milieu karstique du fait de l'organisation des écoulements.

2) Réaliser systématiquement les études préalables à l'échelle de l'aire d'alimentation du captage ; en particulier, l'analyse de la vulnérabilité intrinsèque et

l'évaluation des risques de dégradation de la qualité de la ressource doivent être réalisées sur toute l'aire d'alimentation du captage.

3) Etablir une cartographie de la vulnérabilité intrinsèque selon une méthode standardisée : la méthode préconisée est PaPRIKa (Cf. Guide méthodologique relatif à la cartographie de la

vulnérabilité intrinsèque des aquifères karstiques – méthode PaPRIKa, ONEMA, BRGM, octobre 2009).

4) Evaluer les risques de contamination à partir d'une analyse croisée entre la cartographie des sources potentielles de pollution et celle de la vulnérabilité (COST 620).

Identification et caractérisation hydrogéologique de la ressource

La caractérisation géologique et hydrogéologique de la ressource doit s'appuyer sur le Guide méthodologique les outils de l'hydrogéologie karstique pour la caractérisation de la structure, du fonctionnement et de l'évaluation des ressources des systèmes karstiques (méthodes de caractérisation, traçages de reconnaissance et traçages quantitatifs, etc.), réalisé en 2010 par le BRGM sous le pilotage de l'ONEMA.



La réglementation actuellement en vigueur ne fournit pas d'indications précises quant aux méthodes à utiliser pour cette première étape du diagnostic.

La Phase 1 des études hydrogéologiques préalables a pour objectif de décrire la ressource captée, de la replacer dans son environnement hydrogéomorphologique, d'identifier les études complémentaires à mener pour délimiter l'aire d'alimentation du captage et enfin de vérifier sa fonctionnalité karstique et donc la vulnérabilité globale de la ressource captée.

Dans le cadre d'un nouveau captage, les études d'identification et de caractérisation de la ressource existent au moins en partie.

Les études hydrogéologiques spécifiques aux procédures de protection sont à réaliser sur la base de ces connaissances

Dans le cas des captages existants nécessitant une régularisation de la procédure de mise en place des périmètres de protection, les phases d'identification et de caractérisation de la ressource captée sont rarement disponibles au démarrage des procédures. Il est alors nécessaire de les réaliser, afin de connaître avec exactitude la structure de l'aquifère, et le fonctionnement hydrodynamique et hydrochimique du système karstique.

La caractérisation de la ressource demande de l'expérience dans le maniement des méthodes issues de l'hydrologie de surface ou de l'hydrochimie (captages de type A et B) ou dans l'interprétation des pompages d'essais et des variations piézométriques (ouvrages de type C).

L'approche de la fonctionnalité karstique nécessite en règle générale d'avoir à sa disposition des don-

nées hydrologiques et/ou hydrochimiques fiables sur des périodes assez longues (au moins un cycle hydrologique⁹).

Si ces données n'existent pas il faut les acquérir. La connaissance du fonctionnement de l'aquifère permet avant tout de quantifier les réserves et les capacités de production du captage, mais également de qualifier la vulnérabilité de la ressource à l'échelle du système karstique. Elle a donc une importance pour guider l'ampleur et le contenu des études spécifiques à la définition des périmètres et mesures de protection. Au terme de cette analyse il peut parfois s'avérer que la ressource captée n'a pas un fonctionnement karstique. Il faut alors recourir aux méthodes classiques utilisées pour la protection des aquifères en milieu fissuré ou poreux équivalent.

Selon le type de captages les données à collecter et les méthodes d'interprétation sont différentes.

■ ■ ■ Cas des captages de types A et B

Ces captages exploitent des sources ou des drains à proximité immédiate de sources. Les paramètres permettant de qualifier le degré d'évolution karstique de l'aquifère sont par ordre de pertinence :

- les débits naturels du (ou des) exutoire (s) du système karstique,
- la conductivité¹⁰ de l'eau au point d'émergence,
- la température de l'eau au point d'émergence,
- la turbidité,
- les éléments chimiques majeurs.

Les méthodes présentées dans le « guide méthodologique présentant les outils de l'hydrogéologie karstique pour la caractérisation de la structure, du fonctionne-

⁹ Période allant d'un étiage à l'autre

ment et de l'évaluation des ressources des systèmes karstiques » demandent au minimum de disposer d'observations sur un cycle hydrologique.

Pour les captages de type B, c'est sur cette base qu'il faudra travailler, car ce sont des ressources importantes et souvent complexes à protéger. Pour les captages de type A, on pourra se satisfaire de 6 mois de mesure intégrant la fin des basses eaux et le début des hautes eaux. Des méthodes simplifiées, également développées dans le guide peuvent alors être appliquées.

L'interprétation des résultats des traitements hydrologiques ou hydrochimiques nécessite la réalisation d'une synthèse des données géologiques et hydro-morphologiques du réservoir capté. Cette synthèse pourra dans la plupart des cas être réalisée à partir des cartes géologiques existantes et des études antérieures.

La visualisation des photographies aériennes et des reconnaissances de terrain viendront si nécessaire compléter les données bibliographiques. Dans bien des cas, ces investigations de terrain relativement sommaires sont suffisantes. Pour les régions tabulaires où la zone noyée se trouve à faible profondeur, des cartes piézométriques pourront compléter cette synthèse.

De plus, cette synthèse sera la base de la cartographie des limites de l'aire d'alimentation du captage. Elle doit permettre de cibler les secteurs où la géologie (ou la piézométrie) ne permet pas, à elle seule, de déterminer la limite de l'aire d'alimentation du captage. Dans ces secteurs des propositions de traçages seront faites pour valider leur appartenance ou non à l'aire d'alimentation du captage.



*Station limnimétrique du Sorpt (Corrèze)
Photo GINGER*

¹⁰ La conductivité traduit la capacité de l'eau à conduire le courant électrique ; elle est directement proportionnelle à la quantité de sels minéraux dissous dans l'eau.

Méthodes de caractérisation du fonctionnement d'un aquifère karstique

Captages de types A et B

Les méthodes de traitement des chroniques de débits sont celles qui apportent les informations les plus pertinentes car elles sont semi-quantitatives. Les méthodes utilisables sont notamment :

- « **L'étude des courbes de récession** » qui permet à partir de la forme de la décrue (paramètre i) et de la courbe de tarissement (paramètre k) de classer un système karstique entre un aquifère où les écoulements sont totalement organisés et un aquifère plus complexe où il existe des retards dans l'alimentation. En outre, cette méthode permet de savoir si l'on se trouve en domaine karstique ou purement fissuré. Lorsque k est supérieur à 0,5, on peut estimer que l'on n'a pas affaire à un aquifère karstique mais à un aquifère fissuré ou karstique non fonctionnel. Cette méthode n'est vraiment pertinente que si l'on dispose de plusieurs épisodes de crues et de décrues suffisamment longues, réparties sur un ou plusieurs cycles hydrologiques complets.
- « **L'analyse corrélatrice et spectrale** » qui consiste à traiter le signal des chroniques d'entrée et de sortie du système (pluies-débits). A partir de 4 paramètres issus de ce traitement (Effet mémoire, Fréquence de coupure, Temps de régulation, Réponse impulsionnelle) et, par comparaison avec un catalogue de résultats sur des systèmes connus, on peut également qualifier le degré de karstification de l'aquifère capté. Comme pour l'analyse des courbes de récession, cette méthode nécessite de disposer de données journalières sur au minimum un cycle hydrologique complet.
- « **L'analyse des courbes des débits classés** » permet de vérifier si l'exutoire capté est unique ou si le système est alimenté par un autre système aquifère en fonction des variations de conditions aux limites. La présence d'un trop-plein ou d'une alimentation temporaire par un autre système est un élément témoignant d'une fonctionnalité karstique. Toutefois, l'absence de trop-plein ou d'alimentation temporaire, ne signifie pas que l'on n'a pas affaire à un aquifère karstique. Cette méthode revêt un intérêt particulier pour l'établissement du bilan hydrique et la définition de l'aire d'alimentation.
- « **L'établissement du bilan hydrique** » permet d'évaluer la superficie de l'impluvium du système capté. Cette méthode ne permet pas de qualifier l'état de karstification de l'aquifère. Elle nécessite également un minimum d'un cycle hydrologique. Elle permet de juger de la validité de l'aire d'alimentation du captage définie à partir des données géologiques et des résultats de traçages.

- « **L'indice de variabilité** » est le rapport entre le débit naturel instantané maximum et minimum observé. Ce paramètre, bien que grossier, permet de qualifier le degré de karstification de l'aquifère. Un indice supérieur à 10 montre un fonctionnement de type karstique. Cette méthode est utilisable principalement pour les captages de type A où les données de débit sont obtenues sur des durées plus courtes.

Parfois, en particulier dans les régions tabulaires ou côtières, il est difficile d'obtenir des débits fiables car les émergences sont proches voire sous le niveau de base des écoulements (rivière, mer, lacs...). Dans ce cas, le traitement des données hydrogéochimiques permettra d'apprécier le degré de karstification de l'aquifère. Ces méthodes peuvent également être utilisées en complément du traitement des chroniques des débits. On peut citer :

- « **L'étude des distributions de fréquences de conductivité** » qui permet, par un traitement statistique simple sur des chroniques d'un ou plusieurs cycles hydrologiques, de visualiser la sortie de plusieurs familles d'eau à l'exutoire. Plus la gamme de conductivité est étendue avec des modes bien différenciés et plus le système est karstifié. A contrario, lorsque la gamme de conductivité est peu étendue, avec un mode unique, on peut estimer que l'aquifère n'a pas un fonctionnement karstique et qu'il peut-être considéré comme un aquifère de milieu fissuré ou homogène à l'échelle d'observation correspondant à l'aire d'alimentation du captage. On peut réaliser des courbes de distributions de fréquence avec d'autres paramètres que la conductivité comme la turbidité ou le calcium. Toutefois, la conductivité reste un paramètre facile à mesurer in situ qui intègre toute la minéralisation de l'eau. Pour cette raison, c'est le paramètre le plus intéressant à étudier.
- « **L'étude des variations de la conductivité, de la température et de la turbidité** » permet, même pour des suivis inférieurs à un cycle hydrologique, de vérifier s'il existe ou non un fonctionnement karstique. Il faut toutefois garder en mémoire que ces méthodes restent des approches grossières qui ne tiennent pas compte de la variabilité du fonctionnement du système au cours du cycle mais qui peuvent s'avérer suffisantes pour caractériser un captage de type A. Notamment, des mesures à un pas hebdomadaire ou bimensuel peuvent suffire pour apprécier l'amplitude de variation de la minéralisation. De même un suivi en continu de certains paramètres hydrochimiques en période de crue et de décrue permet de vérifier dans quelle proportion varie la minéralisation des eaux de l'exutoire.

■ ■ ■ Cas des captages de type C

Pour les captages par forage l'approche est différente. Le pompage d'essai réalisé dans les règles de l'art et son interprétation constitueront la base du diagnostic

Dans le cas des aquifères karstiques, les forages ne sont pas tous implantés dans le même type de structures karstiques. Lorsque le forage est placé sur un drain à proximité d'un exutoire, on se retrouve dans le cas d'un captage de type A ou de type B. En revanche, lorsque l'exutoire est éloigné du captage, il n'est pas facile de savoir si l'eau captée provient :

- de la partie drainante de l'aquifère où la transmissivité¹¹ est infinie,
- de la partie capacitive de l'aquifère correspondant à un système annexe au drainage constitué de vides importants, mais de volumes limités en relation plus ou moins difficile avec le drain,
- de la partie capacitive de l'aquifère constituée par un système de fissures ou de fractures peu élargies mais en continuité hydraulique.

Le pompage d'essai réalisé et interprété selon les règles de l'art, rappelées dans la norme NF X10-999, doit permettre de lever cette indétermination. Les cas suivants peuvent apparaître :

- Le pompage d'essai peut être interprété avec les lois classiquement employées en hydrogéologie des milieux continus équivalents ou discontinus présentant une homogénéité régionale. Le milieu peut alors être considéré comme non karstique. Dans ce cas il est possible, moyennant quelques précautions, de calculer des paramètres hydrodynamiques équivalents. La définition des périmètres de protection pourra être réalisée à partir du calcul des isochrones basés sur des transmissivités équivalentes.
- Le pompage d'essai montre que le captage se fait dans un milieu de transmissivité infinie. Cela se traduit par une stabilisation immédiate du rabattement correspondant à la perte de charge de l'ouvrage de captage. Le débit de l'exutoire peut être affecté par le pompage. Dans ce cas, le captage intéresse une structure drainante de l'aquifère, et on se retrouve dans le cas d'un captage de type A ou B.
- Le pompage d'essai montre que l'on vidange une cavité de dimension finie plus ou moins réalimentée. La courbe de rabattement est linéaire en fonction du temps aussi bien en pompage que lors de la remontée. En fonction du débit de pompage et/ou du niveau du rabattement, on peut détourner une partie des eaux d'un drain proche, ce qui se traduit par une stabilisation. Ce cas correspond aux captages de type C au sens strict.

Délimitation de l'aire d'alimentation du captage

L'aire d'alimentation du captage doit être systématiquement délimitée.

La détermination des limites de l'aire d'alimentation du captage doit-être réalisée pour les trois types de captages ; les méthodes à appliquer sont sensiblement différentes selon ces types.

Le document méthodologique de base est le guide « Délimitation des bassins d'alimentation des captages et cartographie de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses » (BRGM, septembre 2007). Les méthodes et techniques à utiliser spécifiquement pour le karst sont décrites dans le « Guide méthodologique- les outils de l'hydrogéologie karstique pour la caractérisation de la structure, du fonctionnement et de l'évaluation des ressources des systèmes karstiques » (ONEMA, BRGM, 2010). Des préconisations complémentaires sont fournies ci-après pour chaque type de captage.



¹¹La transmissivité permet d'évaluer le débit que peut capter un forage. C'est un paramètre qui régit le débit d'eau qui s'écoule par unité de largeur de l'aquifère, sous l'effet de du gradient hydraulique, incluant l'épaisseur de l'aquifère.

■ ■ ■ Pour les captages de type A

La synthèse hydrogéologique et la réalisation de quelques traçages ciblés permettent de déterminer de façon suffisamment robuste les limites de l'AAC. Il n'est pas nécessaire de rechercher une grande précision dans la délimitation puisque les aires d'alimentation sont des territoires de taille modeste et que les erreurs éventuelles ne portent que sur de petites surfaces.

Il n'est pas pertinent d'évaluer le bilan hydrique puisque dans la plupart des cas les débits ne sont pas connus. Toutefois, il est nécessaire de vérifier la cohérence de la surface obtenue pour l'AAC, par exemple en utilisant les débits spécifiques connus sur des bassins versants locaux de dimension comparable ; on obtient alors un ordre de grandeur de débit, dont on peut apprécier la cohérence avec celui de l'exutoire.



Source des Monges (Lot)
Photo GINGER



Grotte du Boundoulaou en crue (Aveyron)
Photo Philippe CROCHET



Source du Blagour de Chasteaux colorée par la fluorescéine (Corrèze)
Photo Pierre MARCHET

■ ■ ■ Pour les captages de type B

Les résultats de la caractérisation géologique constituent la base de la délimitation de l'AAC. Le bilan hydrique, lorsqu'il peut être évalué, permet dès le début des investigations de caler des limites probables.

Une ou plusieurs campagnes de multi-traçages de reconnaissance peuvent s'avérer utiles, voire indispensables, pour affiner les limites. Les points d'injection peuvent être des points naturels d'infiltration (pertes, gouffres, grottes) ou des points artificiels (forages, grattages tractopelle...). Ces investigations peuvent s'avérer assez lourdes et faire l'objet d'un marché d'études séparé. Il est possible de les engager immédiatement après la réalisation de la synthèse hydrogéologique, avant que le suivi sur un cycle hydrologique soit terminé.

Dans le cas des captages de type B, la fiabilité et la précision des limites définies pour l'AAC sont importantes. En effet, les aires d'alimentation peuvent être très étendues ; si les études sont insuffisantes et les investigations incomplètes, il existe un risque d'occulter des surfaces importantes qui contribuent à l'alimentation du captage.

Toutefois, il est généralement difficile de connaître parfaitement les limites d'un système karstique. Il faut viser une précision suffisante mais raisonnable en regard du coût et de la durée des investigations, et prendre en compte une certaine marge d'incertitude de façon à couvrir la plus grande partie de l'aire d'alimentation.

■ ■ ■ Pour les captages de type C

La détermination de l'aire d'alimentation est plus complexe. Elle peut être approchée grâce à des données piézométriques, s'il existe des piézomètres ou des regards sur la zone noyée (gouffre, grottes, trop-plein...). Dans certains cas, et lorsque les épaisseurs de zones non-saturées ne sont pas trop importantes, la réalisation de quelques piézomètres peut s'avérer nécessaire.

Une seconde approche est envisageable par le biais de traçages. Ces traçages nécessitent un pompage permanent sur l'ouvrage jusqu'à la fin de la restitution. Les points d'injection peuvent être des points naturels d'infiltration (pertes, gouffres, grottes...) ou des points artificiels (forages, grattages tractopelle...).



*Forages d'Entrecors (Corrèze)
Photo GINGER*

Forages du Tréboulou

SIAEP de l'IFFERNET

Les forages de la vallée du Tréboulou, exploités par le SIAEP de l'IFFERNET, captent l'aquifère karstique alimentant la Fontaine des Chartreux (Cahors – Lot). Ces captages sont des captages de type C.

L'aire d'alimentation de ces captages a été déterminée à l'aide de traçages. Les points d'injection ont été répartis à des distances croissantes en amont et en aval des forages dans l'axe de la vallée du Tréboulou.

Les traçages ont été réalisés pendant un pompage en continu de pratiquement un mois sur l'ensemble des forages.

Associés aux résultats des traçages précédemment réalisés, ces expériences ont permis de définir avec une bonne précision les limites de l'aire d'alimentation dans l'axe de la vallée du Tréboulou, zone la plus vulnérable de l'aquifère capté.



*Captage de la vallée du Tréboulou (Lot) - Captage de type C SIAEP de l'Iffernet
Photo Pierre MARCHET*

Evaluation initiale de la qualité de la ressource

Un état initial fiable de la qualité de la ressource karstique doit être établi, aussi bien sur l'eau brute qu'après un éventuel traitement, et sur la base d'analyses réalisées sur un cycle hydrologique complet, de façon à intégrer les variations de la qualité des eaux en fonction des conditions hydrologiques.

Suite à l'évaluation initiale de la qualité des eaux captées, il est recommandé d'analyser l'opportunité et l'intérêt de mettre en place un dispositif de protection de l'aire d'alimentation du captage.

L'évaluation initiale de la qualité de la ressource a notamment pour but de vérifier que les eaux brutes utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine respectent bien les limites de qualité fixées par l'arrêté du 11 janvier 2007 (annexe II).

Elle permet également de connaître, sur les plans physico-chimique et microbiologique, les caractéristiques essentielles de l'eau, informations indispensables pour la définition et l'adaptation du ou des traitements à appliquer pour obtenir une eau distribuée conforme aux exigences de qualité fixées pour l'eau destinée à la consommation humaine.

L'arrêté du 20 juin 2007 prescrit le nombre minimal d'analyses à réaliser ; pour les eaux brutes souterraines, une analyse de première adduction est requise a minima. Lorsque les caractéristiques de l'eau sont susceptibles de varier de manière importante, ce qui est le cas pour les ressources karstiques, les services de l'Etat peuvent imposer des analyses supplémentaires sur certains paramètres.

Pour les eaux karstiques influencées par les eaux superficielles, la réglementation demande la recherche de *Cryptosporidium* (parasite unicellulaire pathogène pouvant contaminer les eaux).

Pour les captages existants faisant l'objet d'une régularisation réglementaire de la procédure de protection, l'évaluation initiale de la qualité doit porter à la fois sur les eaux brutes et sur les eaux après traitement.

La connaissance de la qualité initiale de la ressource est un élément essentiel à la définition de la stratégie de protection ; elle permet notamment de déterminer si l'on se trouve dans une logique de préservation ou d'amélioration de la qualité. L'évaluation de la qualité initiale de la ressource vise aussi :

- à identifier la nature des contaminations et à cibler ainsi les types d'activités à l'origine de la dégradation des eaux ;
- à évaluer l'impact actuel des divers rejets ponctuels et diffus, après confrontation avec l'inventaire des activités polluantes ;
- à définir des indicateurs de suivi pertinents (bactériologie, nitrates, matière organique...), qui serviront à établir un bilan fiable de l'efficacité des périmètres de protection et le cas échéant des actions dans les aires d'alimentation.

Même si l'intérêt de l'état initial n'est pas spécifique aux aquifères karstiques, il revêt un caractère particulier pour le karst pour les raisons suivantes :

- Les variations de qualité des eaux sont importantes en fonction des conditions hydrologiques (hautes et basses eaux, premières crues du cycle, crues de hautes eaux).
- L'évaluation initiale de la qualité et l'identification des sources de pollution impactantes servent ultérieurement de base à une définition précise et ciblée des mesures dans les périmètres de protection (et le cas échéant des actions dans l'AAC) ; le but est en effet, compte tenu de l'importance des surfaces concernées et des répercussions socioéconomiques des prescriptions, de réduire au strict nécessaire les mesures contraignantes au sein des périmètres et du bassin d'alimentation.

■ ■ ■ Pour les nouveaux captages

L'évaluation initiale de la qualité de l'eau captée est à conduire de façon complète, en conformité avec les exigences réglementaires. Des recommandations complémentaires sont indiquées ci-après par type de captage.

■ ■ ■ Pour les captages de type A

L'état initial de la qualité de la ressource doit respecter le protocole suivant :

- Il est établi sur au moins 6 mois comprenant obligatoirement la fin de l'étiage et le début des hautes eaux.
- Les prélèvements sont référencés ou mieux déclenchés en fonction des variations d'un marqueur pertinent de l'évolution hydrochimique des eaux ; la conductivité est généralement un bon indicateur mais la turbidité peut également être utilisée ; ce marqueur doit être enregistré en continu.
- La liste minimale des paramètres à analyser est fixée par l'arrêté du 11 janvier 2007 ; des paramètres

supplémentaires peuvent être recherchés en fonction des activités présentes à la surface de l'aire d'alimentation.

- Au minimum trois campagnes d'analyses sont à réaliser : basses eaux, hautes eaux, crues de début de cycle.

■ ■ ■ Pour les captages de type B

L'état initial doit être établi sur au moins un cycle hydrologique (d'étiage à étiage).

- Les prélèvements doivent être référencés ou mieux déclenchés en fonction des variations d'un marqueur pertinent de l'évolution hydrochimique des eaux. La conductivité est généralement un bon indicateur mais la turbidité et/ou les débits (ou hauteurs limnimétriques) peuvent également être utilisés. Ce marqueur devra être enregistré en continu.
- La liste minimale des paramètres à analyser est fixée par l'arrêté du 11 janvier 2007 ; des paramètres supplémentaires peuvent être recherchés en fonction des activités présentes à la surface de l'aire d'alimentation.



Mesure de la conductivité à l'exutoire d'une source karstique
Photo GINGER

- Au minimum quatre campagnes d'analyses sont à réaliser : basses eaux, hautes eaux, crues de début et de fin de cycle ; pour une bonne fiabilité de l'état initial, la réalisation d'analyses mensuelles sur une année peut s'avérer nécessaire. Le nombre d'analyses (entre 4 et 12) est à choisir en fonction de la variabilité du marqueur choisi. Les prélèvements ponctuels peuvent être complétés par l'analyse en continu, sur toute la période ou sur quelques semaines comprenant la fin de l'étiage et le début des hautes eaux, des teneurs d'un élément particulier (nitrates par exemple).

■ ■ ■ Pour les captages de type C

Le respect des exigences réglementaires minimales (une analyse portant sur les paramètres fixés par l'arrêté du 20 juin 2007) peut suffire, sauf demandes complémentaires de la DDASS. La variabilité de la qualité est en effet moins importante que pour les autres types de captages, ce qui d'ailleurs confère un intérêt particulier aux captages de type C.

■ ■ ■ Pour les captages existants

On dispose d'un historique de données sur la qualité des eaux captées. La démarche préconisée consiste :

1) Dans un premier temps, à exploiter les données déjà disponibles, issues du contrôle sanitaire, en les analysant en regard des variations des valeurs de conductivité. Il s'agit de déterminer si les données caractérisent bien les différentes conditions hydrologiques. La fréquence des contrôles sanitaires ne suffit généralement pas à bien connaître les variations de la qualité des eaux en période de crue.

2) En fonction de l'analyse des données disponibles, des campagnes de mesures supplémentaires sont éventuellement réalisées.

L'historique de données doit être analysé de façon à mettre en évidence les tendances d'évolution des différents contaminants, en particulier pour les nitrates et les pesticides.

Opportunité de la mise en place d'un dispositif de protection de l'aire d'alimentation du captage

Dans le cadre de l'élaboration des SDAGE et des programmes de mesure, et suite aux travaux du Grenelle de l'environnement, des captages prioritaires ont été identifiés, sur lesquels le dispositif réglementaire de protection des aires d'alimentation doit être mis en œuvre. La liste établie en 2009 recense 507 captages parmi les plus menacés par les pollutions diffuses, notamment les nitrates et les produits phytosanitaires¹².

Il s'agit, pour chacun de ces captages, de mettre en place un programme d'actions dans la zone de protection de l'AAC d'ici mai 2012. Cette liste de captages pourra faire l'objet de révisions ultérieures.

Pour les captages prioritaires dont la procédure réglementaire de mise en place des périmètres de protection est à engager ou à régulariser, les 2 démarches seront conduites simultanément.

Méthodologie de détermination des captages prioritaires (lettre circulaire du Ministère en charge de l'Environnement et du Ministère en charge de la Santé du 18 octobre 2007)

• **Premier critère** : Sélection des captages dont la qualité de l'eau brute est la plus dégradée, permettant de constituer une première liste.

- contamination par les nitrates : captages pour lesquels la valeur moyenne sur les 5 dernières années et supérieure à 40 mg/l et dont l'évolution est en pente croissante ;

- contamination par les pesticides, en fonction des concentrations individuelles et totales et du nombre de molécules détectées.

• **Deuxième critère** : Sélection dans la première liste des captages les plus stratégiques, en fonction de l'importance de la population desservie et/ou du caractère unique de la ressource prélevée et/ou de l'intérêt stratégique des ressources pour les besoins futurs.

• Ajout éventuel à la liste ainsi obtenue de captages abandonnés pour des raisons de mauvaise qualité de l'eau mais dont la reconquête est stratégique à l'échelle locale.

¹² Liste disponible sur le site internet du Ministère en charge de l'Environnement : http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/LISTE_CAPT_GRENELLE_030809.pdf

La mobilisation du dispositif réglementaire est obligatoire pour les captages prioritaires ; **pour d'autres captages dont la qualité des eaux est dégradée, le dispositif de protection des AAC peut être mis en œuvre dans un cadre négocié et contractuel.**

En effet, les périmètres de protection n'étant pas un instrument suffisant pour assurer la protection de la qualité des eaux captées, en particulier en milieu karstique, **l'application de mesures de réduction des risques de contamination à l'échelle des aires d'alimentation peut constituer un outil complémentaire efficace**, notamment vis-à-vis des pollutions d'origine agricole. En outre, ce dispositif contribue à l'objectif fixé par la directive cadre sur l'eau relatif à l'atteinte du **bon état de toutes les zones protégées**¹³ en 2015.

La circulaire du 30 mai 2008¹⁴ préconise que l'opportunité de mise en œuvre d'un programme d'actions sur l'AAC soit analysée en fonction de :

- l'état actuel et la tendance d'évolution de la qualité de la ressource, notamment vis-à-vis des nitrates et des pesticides ;
- l'importance stratégique de la ressource, en prenant notamment en compte les besoins d'approvisionnement actuels et futurs, le volume de la ressource, l'importance de la population qu'elle alimente, l'existence ou l'absence de ressources de substitution et le cas échéant la volonté de reconquérir la ressource de captages abandonnés.
- l'origine des problèmes de qualité : les modes de gestion des sols et les pratiques agricoles doivent être jugés comme ayant un impact important.

La circulaire du 30 mai 2008 incite notamment à engager ces démarches dans deux types de situation :

1) Dans les cas où il existe une « tendance significative et durable à la hausse » des concentrations en nitrates et pesticides, en référence à la directive 2006/118/CE sur la protection des eaux souterraines contre la pollution et la détérioration ; cette directive prescrit aux Etats membres d'inverser ces tendances à la hausse.

Le point de départ de la mise en œuvre de mesures visant à inverser les tendances à la hausse significatives et durables équivaut à 75 % des valeurs des paramètres relatifs aux normes de qualité des eaux souterraines, soit 37 mg/l pour les nitrates, 0,075 µg/l par pesticide et 0,35 µg/l pour la somme des pesticides. Ces valeurs correspondent aux seuils de qualité dégradée.

2) Dans les cas où les concentrations constatées sont supérieures ou égales aux seuils de qualité dégradée, de façon à répondre à l'objectif de non-dégradation de la qualité des ressources.

Pour des captages dont les concentrations en polluants se situent au-delà des seuils de qualité dégradée et présentent une tendance à la hausse, une zone de protection de l'AAC correspondante et un programme d'action doivent être définis par arrêté préfectoral, en application des articles R.114-1 à R.114-10 du code rural.

Ainsi, un programme d'actions dans la ZPAAC peut être mis en place sur des bases contractuelles, ou bien par arrêté préfectoral, en fonction de la qualité des eaux brutes et de l'existence d'une tendance à la dégradation. En fonction de ces critères, la collectivité concernée peut mobiliser le dispositif réglementaire pour appuyer sa stratégie de protection de la ressource.

En effet, même si la mise en œuvre des programmes d'action doit se faire, autant que possible, dans un cadre négocié et contractuel, par le biais d'un travail de communication et de concertation, le passage à une modalité d'application obligatoire peut constituer un levier utile en cas d'insuffisance de son niveau de mise en œuvre par les acteurs concernés (exploitants agricoles, propriétaires) par rapport aux objectifs initialement fixés.

Articulation de la procédure réglementaire de mise en place des périmètres de protection avec le dispositif de protection des AAC

Les deux démarches, bien que présentant une complémentarité intéressante en vue de protéger les ressources captées, ne doivent pas être confondues, mais considérées comme distinctes et indépendantes. Il faut éviter en particulier que l'élaboration conjointe des 2 démarches ne ralentisse la procédure réglementaire de mise en place des périmètres de protection.

Pour les captages en milieu karstique devant faire l'objet d'une procédure réglementaire de mise en place des périmètres de protection, deux cas de figures sont à envisager : création d'un nouveau captage ou régularisation réglementaire d'un captage existant.

1) Dans le cas d'une création de captage, et si l'intérêt d'un programme d'actions en ZPAAC est démontré (voir critères de la circulaire du 30 mai 2008 explicités plus haut), il est envisageable de mener les deux démarches de façon coordonnée.

2) Dans le cas d'une régularisation de la procédure réglementaire, il est préconisé de déconnecter les deux démarches, et de n'engager le dispositif de protection de l'AAC, si son intérêt est démontré, qu'après la mise en place des périmètres, de façon à ne pas rallonger cette procédure.

¹³ Les points de captages fournissant plus de 10 m³/jour ou desservant plus de 50 personnes pour l'alimentation en eau ont été recensés dans le registre des zones protégées, au titre de la Directive cadre sur l'eau.

¹⁴ Circulaire du 30 mai 2008 relative à la mise en application du décret n 2007- 882 du 14 mai 2007, relatif à certaines zones soumises à contraintes environnementales et modifiant le code rural, codifié sous les articles R. 114-1 à R. 114-10.

Dans tous les cas, la priorité doit être donnée à la procédure de DUP d'établissement des périmètres de protection.

La démarche de mise en place d'un programme d'actions à l'échelle de l'aire d'alimentation du captage en milieu karstique peut intéresser un territoire important en superficie, qui dépasse celui de la collectivité Maître d'ouvrage du captage.

La circulaire du 30 mai 2008 indique que la réussite du programme d'actions repose sur une implication forte des collectivités territoriales concernées et sur l'existence d'une animation spécifique.

La fonction d'animation – concertation revêt un intérêt particulier dans le cas de ressources affectées par des pollutions diffuses (produits phytosanitaires, nitrates) et de bassins d'alimentation étendus (cas des captages de type B).



Fontaine de Labastide - Murat (Lot) - Photo GINGER

Il convient d'identifier un Maître d'ouvrage collectif, qui assurera un rôle de coordination avec les services de l'Etat et l'ensemble des acteurs locaux : il peut s'agir d'une collectivité territoriale, d'un groupement de collectivités ou d'un syndicat mixte. De fait, les structures porteuses de la procédure de mise en place des périmètres de protection et de la démarche en AAC sont le plus souvent différentes.

Etablissement de la cartographie de la vulnérabilité intrinsèque

Une cartographie de la vulnérabilité intrinsèque sur l'aire d'alimentation du captage doit être obligatoirement établie, selon une méthode standardisée bien adaptée au karst.

Dans le cadre de la procédure réglementaire de mise en place des périmètres de protection, la réglementation demande une étude de la vulnérabilité de la ressource. L'annexe III de l'arrêté du 20 juin 2007 précise que l'appréciation de la vulnérabilité doit être réalisée en fonction :

- de la nature de la ressource,
- de la protection naturelle de la ressource et des caractéristiques des formations de recouvrement,
- des échanges possibles entre aquifères et/ou avec les eaux superficielles.

Les textes réglementaires ne fournissent pas de précision quant aux méthodes à utiliser et aux informations à fournir. En domaine karstique en particulier, où la vulnérabilité est très variable spatialement, l'évaluation des risques de pollution des eaux nécessite une analyse croisée entre les cartographies des sources potentielles de pollution et la vulnérabilité intrinsèque. Il est donc indispensable d'établir une cartographie de la vulnérabilité intrinsèque sur l'aire d'alimentation du captage.

Le manque de méthode de référence adaptée au karst pour l'évaluation de la vulnérabilité intrinsèque et la définition des périmètres de protection a constitué une des principales difficultés pour la conduite des procédures de protection en milieu karstique.

Une méthode a été développée pour répondre à ce besoin, dont l'utilisation est recommandée.

La méthode PaPRIKa dont l'acronyme signifie « Protection des aquifères karstiques basée sur la Protection, le Réservoir, l'Infiltration et le degré de Karstification » est une méthode multicritère à index avec système de pondération issue de la méthode EPIK (utilisée en Suisse) et constituant une évolution récente de la méthode RISKE.

La principale évolution de la méthode PaPRIKa par rapport à la méthode RISKE est qu'elle prend mieux en compte les transits rapides locaux liés aux axes de drainage qui constituent une des particularités de l'aquifère karstique.

La méthode doit être systématiquement mise en œuvre à l'échelle de l'aire d'alimentation du captage. En effet, la définition de l'aire d'alimentation est un préalable primordial à la procédure de mise en place des périmètres de protection en milieu karstique du fait de l'organisation des écoulements.

La méthode PaPRIKa a été déclinée en deux versions : PaPRIKa_{ressource} et PaPRIKa_{captage}. Elle permet à la fois de cartographier la vulnérabilité intrinsèque vis-à-vis de la pollution diffuse (PaPRIKa_{ressource}) et vis-à-vis des pollutions ponctuelles et accidentelles (PaPRIKa_{captage}) en tenant compte des temps de transit.

Pour obtenir la carte PaPRIKa_{captage}, il est nécessaire de réaliser dans un premier temps la cartographie de la vulnérabilité intrinsèque de la ressource (PaPRIKa_{ressource}).

Les cartes obtenues répartissent la vulnérabilité en 5 classes, allant de 0 à 4 ; 0 étant la vulnérabilité la plus faible, 4 étant la vulnérabilité la plus forte.

L'échelle de la cartographie doit être adaptée aux objectifs recherchés. Pour les actions à l'échelle des aires d'alimentation, une cartographie au 1/25 000ème est suffisante. En revanche, pour les périmètres de protection (PaPRIKa_{captage}), le rendu cartographique doit

être à l'échelle cadastrale au moins pour les zones les plus vulnérables. En effet, les périmètres de protection doivent être autant que possible adaptés aux limites parcellaires.

La méthode PaPRIKa a été testée sur une dizaine de sites en France correspondant à des contextes géologiques variés (régions tabulaires, montagnes, craie de Normandie...). Elle a pour particularité de permettre d'apprécier la vulnérabilité par rapport à 2 cibles :

- la ressource : vulnérabilité aux pollutions diffuses de la zone saturée au droit des zones d'alimentation, tenant compte uniquement du transit vertical dans la zone non-saturée ;
- le captage : vulnérabilité aux pollutions accidentelles de l'exutoire naturel ou artificiel du système, tenant compte du transit horizontal.



*Doline sur le plateau de Caussols (Alpes-Maritimes)
Photo Philippe CROCHET*

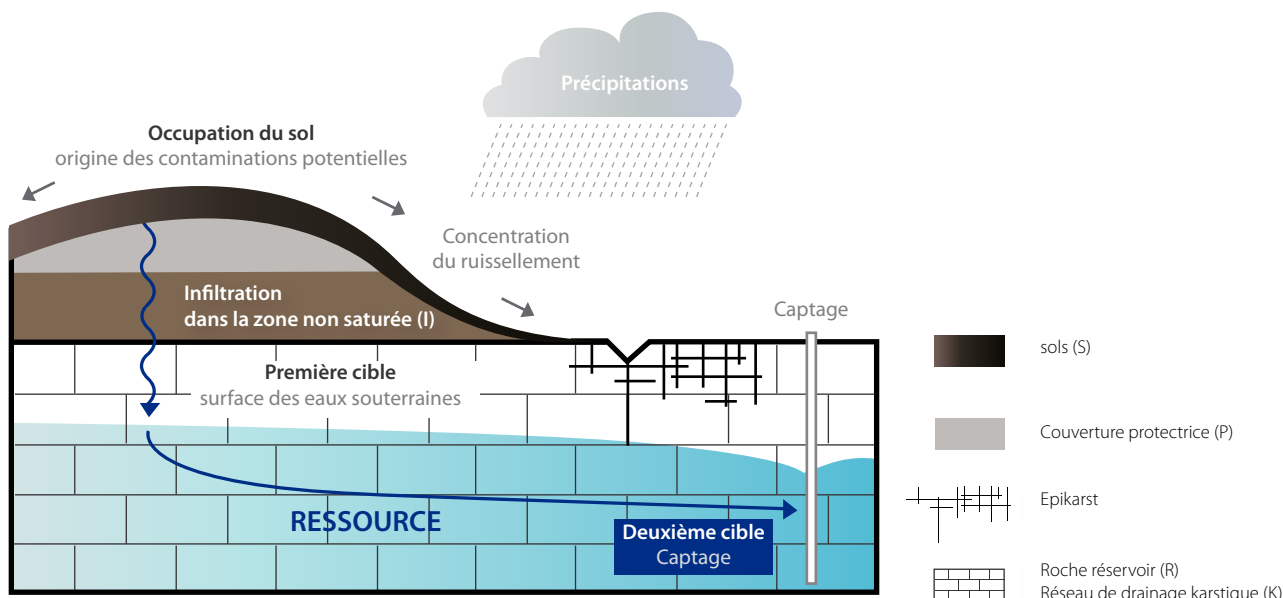
Cette méthode est décrite en détail dans le rapport « Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque des aquifères karstiques – Guide méthodologique de la méthode PaPRIKa » (BRGM, ONEMA, octobre 2009).



La méthode PaPRIka a aussi été retenue comme méthode de référence pour la cartographie de la vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses dans les aires d'alimentation des captages en milieu karstique :

voir guide méthodologique du BRGM « Délimitation des bassins d'alimentation des captages et cartographie de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses », septembre 2007.

SCHÉMA CONCEPTUEL D'UN AQUIFÈRE KARSTIQUE AVEC LE POSITIONNEMENT DES DIFFÉRENTS CRITÈRES (D'APRÈS COST 620, ZWAHLEN ET AL – 2004)

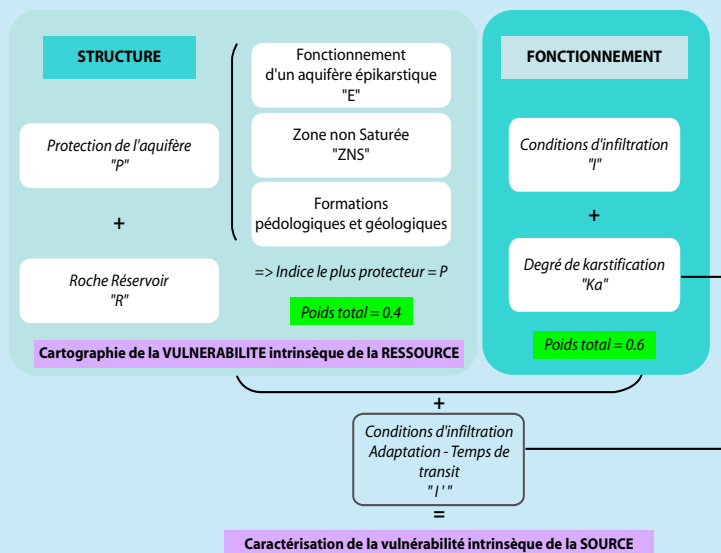


PLUS DE DETAILS SUR LA METHODE PAPRIKA

Cette méthode utilise un modèle conceptuel de l'aquifère karstique pour déterminer 4 critères :

- **P pour couverture Protectrice** : Correspond à la structure la plus protectrice résultant de la combinaison du critère Sol, des caractéristiques de la zone non saturée (lithologie, épaisseur, fracturation) et le fonctionnement épikarstique ;
- **R pour nature du réservoir souterrain** : Caractérise la potentialité de la roche à être karstifiée ;
- **I pour la nature de l'infiltration** : caractérise les conditions d'infiltration diffuse et ponctuelle à partir des pentes et de la cartographie des pertes, dolines et avens, ainsi que la distance aux cours d'eau alimentant la perte ;
- **K pour degré de karstification et de fonctionnement du système karstique** : tient compte du degré d'organisation des écoulements et souligne la position des axes de drainage connus à partir des études hydrogéologiques et/ou reconnus par exploration directe.

Organisation des différents critères de la méthode PaPRIka en fonction de la structure et du fonctionnement des aquifères karstiques (extrait du guide BRGM-ONE-MA, octobre 2009)



La méthode de cartographie comporte 6 étapes :

1) Séparation des bassins des zones karstiques et non-karstiques. En effet chacun de ces sous-ensembles sont traités séparément. Pour la partie karstique tous les critères sont à renseigner alors que pour les parties non karstiques, seuls P et I sont cartographiés.

2) Cartographie de chaque critère à une échelle adaptée. Chaque critère est subdivisé en classes allant de 0 pour l'indice le moins contraignant à 4 pour l'indice le plus contraignant. La cartographie est réalisée à l'aide d'un logiciel SIG à partir des données déjà disponibles sous forme cartographique et de données acquises sur le terrain.

3) Discrétisation des cartes. L'échelle de discrétisation sera, le plus souvent, fonction de la maille disponible pour les modèles numériques de terrain (25X25 ou 50X50).

4) Calcul de l'indice de vulnérabilité globale V_g . A l'échelle de chaque maille, les 4 indices multipliés par le facteur de pondération rattaché à chaque indice, sont additionnés afin d'obtenir un Indice de vulnérabilité globale V_g .

5) Etape de reclassification. L'indice de vulnérabilité globale V_g est subdivisé en 5 classes équidistantes (0 à 4) de vulnérabilité traduisant la sensibilité du milieu.

6) Etape de vérification. Il s'agit de vérifier qu'il existe le moins d'incohérences possibles entre les données de terrain et les cartes de chaque indice et la carte finale.

La méthode définit la façon de noter chaque indice en fonction de critères géologiques, hydrologiques ou morphologiques simples. Le tableau suivant montre à titre d'exemple la définition des diverses valeurs du critère I relatif à la nature de l'infiltration.

**TABLEAU DE DESCRIPTION DES INDICES DU CRITÈRE I « CONDITIONS D'INFILTRATIONS »
(GUIDE BRGM-ONEMA, OCTOBRE 2009)**

INDICE	DESCRIPTION
10	Zones où les pentes sont très fortes (>50%), induisant un ruissellement de l'eau très important (vers d'autres aquifères ou la mer etc.) et une infiltration négligeable voire même nulle.
11	Zones où les pentes sont fortes (15-50%) favorisant grandement le ruissellement.
12	Zones où la pente est moyenne (5-15%) et/ou zones où le ruissellement est limité en terrains carbonatés (ex. vallées sèches, lapiez peu développé verticalement).
13	Zones à pentes faibles (0-5%) où le ruissellement est limité et l'infiltration beaucoup plus forte. Les zones avec dolines et poljés sont prises en compte dans cette classe. De plus, les lapiaz bien développés verticalement avec des cannelures métriques font partie de cette classe.
14	Manifestations de l'infiltration concentrée au niveau des pertes. Ne sont retenues dans la classification "perte" que les pertes situées sur un cours d'eau pérenne ou temporaire. A la perte elle-même est associé le bassin versant du cours d'eau l'alimentant dont l'état de surface est caractérisé à l'aide de P. Celui-ci peut-être calculé à partir du MNT et des outils spécifiques du SIG (fonction bassin versant dans ArcGIS).

Des pondérations à appliquer à chaque indice permettent une certaine latitude pour adapter le résultat dans la phase de vérification.

La cartographie de vulnérabilité PaPRIKa_{ressource} et la cartographie de la vulnérabilité PaPRIKa_{captage} sont élaborées selon une démarche similaire. Pour les cartes P, R et Ka sont inchangées. Seul le critère I est modifié et devient I_{captage}. La carte I de PaPRIKa_{ressource} est conservée en fond de carte mais certaines zones sont surclassées ou déclassées en fonction de leur distance au captage correspondant à un temps de transit le long d'axes de drainage connus. Ce temps de transit doit être choisi en fonction des possibilités de réaction au niveau du captage en cas de pollution.

Une fois la carte I_{captage} créée, l'indice Vg est recalculé de la même manière que pour la vulnérabilité PaPRIKa_{ressource}. Les pondérations répondent aux mêmes règles.



Bétoire (Normandie) – Photo Pierre MARCHET

Exemple de mise en œuvre de la méthode PaPRIKa

Captage de Type B
Systèmes karstiques de l'Ouyse

Les systèmes karstiques de l'Ouyse (nord du Causse de Gramat – Lot) sont captés pour l'alimentation en eau potable par 3 captages de type B :

- le captage de la source de Fontbelle, exutoire
 - d'un système karstique unaire drainant l'ouest du Causse,
 - le captage de la source de Cabouy, exutoire d'un système karstique binaire drainant la partie Est du Causse,
- le captage de Bèdes (nouveau forage des Vitarel-

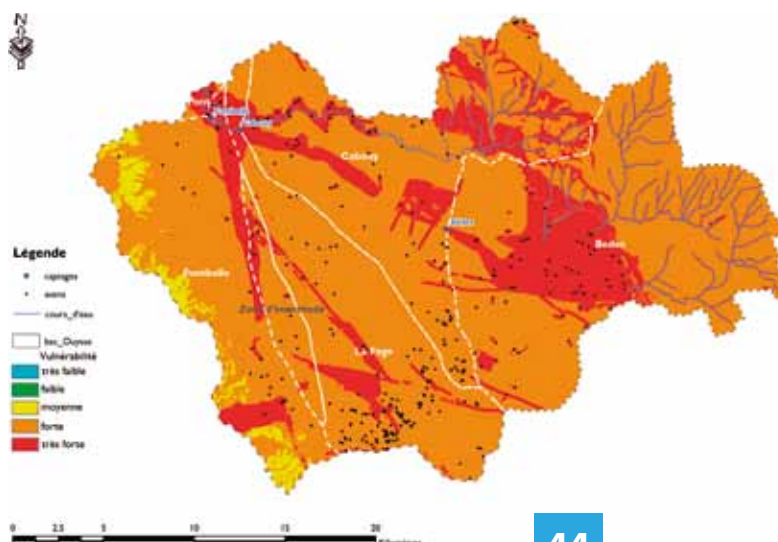
les) recoupant et captant la rivière souterraine des Vitarelles, drain principal du système karstique de Cabouy.

Pour ces trois captages la cartographie de la vulnérabilité a été réalisée à l'aide de la méthode PaPRIKa.

La vulnérabilité globale ou vulnérabilité ressource, fait apparaître que les zones les plus vulnérables sont situées :

- en amont des principales pertes,
- à la verticale des principales vallées sèches ou à écoulement temporaires,
- le long des grands accidents structurant du Causse,
- au droit des principales manifestations karstiques identifiées (gouffres, dolines, rivières souterraines).

SYSTÈMES KARSTIQUES DE L'OUYSE Carte de la vulnérabilité intrinsèque de la ressource



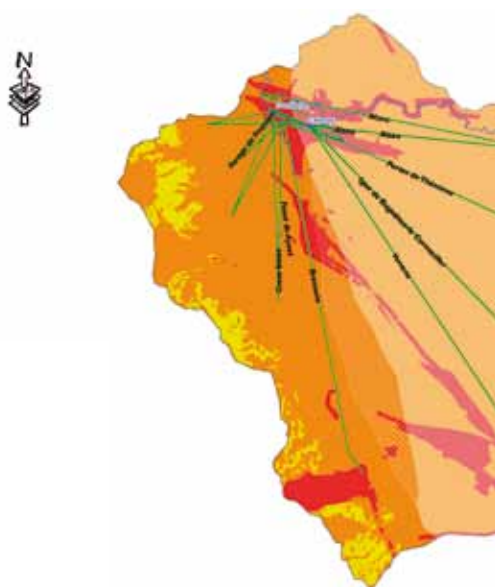
Pour chaque système karstique, une cartographie de la vulnérabilité du captage vis-à-vis de la pollution ponctuelle a été réalisée. Pour tenir compte des installations de traitement en place, des temps de réaction différents ont été choisis pour chaque captage :

- Captage de la source de Fontbelle : 12 h – pas de traitement complet mais existence d'une ressource de substitution sans système d'alerte,
- Captage de Cabouy : 48 h – traitement complet et pas de ressource de substitution,

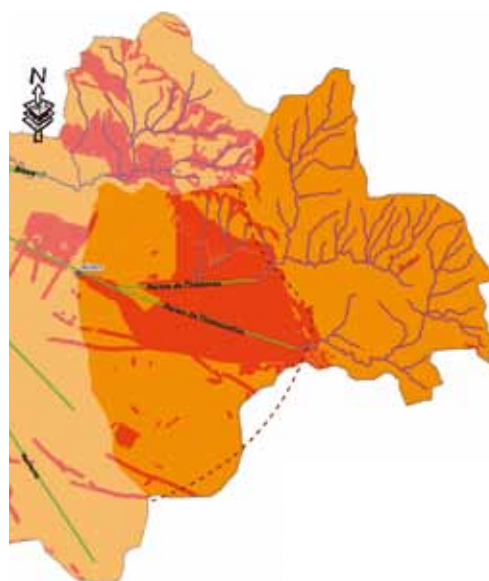
- Captage de Bèdes : 48 h – traitement complet et pas de ressource de substitution.

Les cartographies obtenues montrent que les zones à protéger se concentrent autour des captages et dans des zones éloignées situées à plusieurs kilomètres en amont, qui correspondent le plus souvent à des zones de pertes ou au bassin versant des cours d'eau alimentant ces pertes. Ces zones pourront être placées en périmètres de protection satellite.

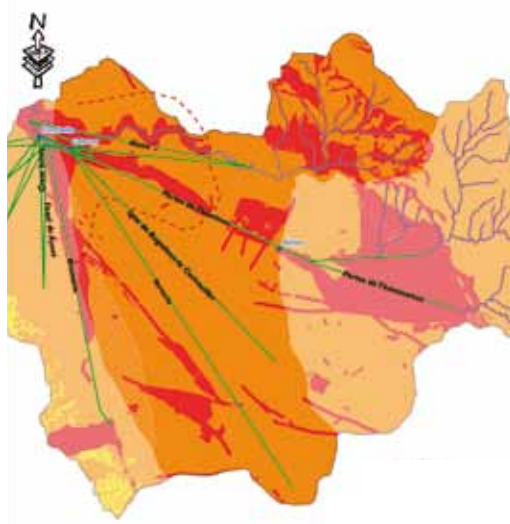
OUISSSE - CAPTAGE DE FONTBELLE
Carte de la vulnérabilité du captage
délai d'intervention 12 heures



OUISSSE - CAPTAGE DE BÈDES
Carte de la vulnérabilité du captage
délai d'intervention 48 heures



OUISSSE - CAPTAGE DE CABOUY
Carte de la vulnérabilité du captage
délai d'intervention 48 heures



Légende

Vulnérabilité	captages
très faible	Traçages
faible	cours d'eau
moyenne	bac Ouisse
forte	captages
très forte	isochrone 48h

L'évaluation des risques de dégradation de la qualité des eaux doit être réalisée à partir d'une analyse croisée entre la cartographie de la vulnérabilité et la cartographie des sources potentielles de pollution (utilisation du SIG à privilégier).

Les modalités d'évaluation des risques de dégradation de la qualité de la ressource utilisée, à réaliser dans le cadre de la procédure réglementaire de protection des captages, sont évoquées à l'annexe II de l'arrêté du 20 juin 2007 et décrites plus précisément dans l'annexe II de la circulaire du 26 juin 2007.

Cette évaluation est fondée, d'une part, sur un inventaire des sources potentielles de pollutions ponctuelle ou diffuse pouvant avoir un impact sur la qualité de l'eau prélevée, et d'autre part, sur une hiérarchisation des risques à prendre en considération pour la protection des captages. L'étude doit être menée dans l'aire d'alimentation du captage, en considérant son extension maximale en raison de l'incertitude portant sur les caractéristiques hydrogéologiques. Ces informations doivent être accompagnées d'une carte localisant précisément les diverses installations susceptibles de porter atteinte à la qualité de l'eau, dont notamment :

- les installations présentant une activité à risque (ICPE, ...) ;
- les installations d'élevage et les épandages des effluents d'élevage ;
- les installations d'assainissement et les rejets d'effluents ;
- les épandages de boues de station d'épuration ;
- les stockages d'hydrocarbures, d'engrais, de produits polluants ou dangereux et de déchets ;
- les captages d'eau existants ;
- l'occupation des sols ;
- etc.,

ainsi que des informations sur le fonctionnement de ces installations et sur les produits polluants qui y sont utilisés. Voir annexe III de la circulaire du 26 juin 2007, qui fournit une liste détaillée des types d'activités à recenser.

Conformément à la réglementation, l'évaluation des risques de dégradation de la qualité des eaux captées doit être menée en deux étapes :

- 1) Inventaire et cartographie des pressions anthropiques.
- 2) Evaluation des risques d'altération de la qualité des eaux.

■ ■ ■ Inventaire et cartographie des pressions anthropiques

La stratégie de protection doit prendre en compte d'une part la pollution accidentelle, d'autre part la pollution chronique ponctuelle ou diffuse, permanente ou périodique (liée aux événements climatiques ou aux activités saisonnières).

Les moyens à mettre en œuvre pour réduire les risques pouvant être différents pour les deux types de contamination, il est nécessaire de les évaluer séparément.

Il est donc préconisé de réaliser deux cartes :

- une carte des pressions anthropiques indiquant les points ou zones de déversement accidentel ou chronique de polluant ;

- une carte des points ou zones de risque de déversement accidentel, hiérarchisés en fonction de la probabilité d'occurrence, ces aléas devant rester d'une probabilité raisonnable et vraisemblable compte tenu du contexte économique.

Pour le recensement exhaustif des sources de pollution potentielle, il est possible de se référer à la liste détaillée en annexe III de la circulaire du 26 juin 2007.

■ ■ ■ Evaluation et hiérarchisation des risques de dégradation de la qualité des eaux

Chacune des deux cartes précédemment établies - carte des pressions anthropiques et carte des risques de pollution accidentelle - doit ensuite faire l'objet d'une analyse croisée avec la carte de la vulnérabilité intrinsèque préalablement élaborée. L'outil SIG est particulièrement recommandé pour cette étape, qui doit aboutir à des cartes du risque de contamination chronique et du risque de contamination accidentelle.

L'analyse du risque doit aussi prendre en compte les facteurs qui ont un effet limitant sur la vulnérabilité du karst : évacuation rapide des pollutions, grâce aux vitesses de

transfert entre le point de contamination et le captage, effets de dilution parfois importants.

Pour être en mesure d'identifier les prescriptions et les actions à mettre en œuvre pour protéger le captage, il est nécessaire de hiérarchiser les risques, ce qui impose d'utiliser une méthode qui permette d'apprécier l'importance de chaque risque.

Par ailleurs, l'appréciation de l'importance des risques est très utile pour définir un éventuel traitement ou mettre en évidence l'intérêt d'une ressource de secours ou de substitution.

Evaluation des risques futurs

L'évaluation des risques concerne non seulement les risques actuels mais aussi les risques futurs, de façon à permettre autant que possible de prévenir ces risques à l'aide des mesures de protection.

Il s'agit d'identifier les modifications de l'environnement qui pourraient provoquer une dégradation de la qualité des eaux. Cette analyse doit être faite sur la base des activités actuelles, des activités limitrophes, des projets des collectivités, et en analysant notamment les documents d'aménagement du territoire (PLU, SCOT).

■ ■ ■ Méthode d'évaluation des risques de dégradation de la qualité des eaux

La cartographie du risque n'a pas fait l'objet d'un développement méthodologique récent en France.

L'action européenne COST 620¹⁵ propose une méthode de cartographie du risque (méthode COP) en croisant une carte de vulnérabilité (classes de vulnérabilité allant de 1 à 5) avec une carte de danger (classes de 1 à 5). Le croisement est fait en multipliant l'indice de vulnérabilité I_v par l'indice de dangerosité N_d . L'indice de dangerosité N_d est défini comme le produit d'un indice H représentant la nature dangereuse intrinsèque du produit ou de l'activité considérée et de deux facteurs de pondération Q_n et R_f représentant respectivement une hiérarchisation du danger pour le produit ou l'activité considérée et une atténuation ou une aggravation en fonction de facteurs techniques ou naturels.

Ainsi le COST 620 propose pour chaque activité pouvant représenter un aléa de pollution un indice H . Cet indice H va de 100 pour les activités nucléaires à 10 pour les excavations et remblais.

La méthode issue du COST 620 permet ainsi une cotation du risque, pour chaque source de pollution identifiée. L'évaluation du risque est ponctuelle et répond bien aux objectifs des périmètres de protection.

Cette méthode a été utilisée pour définir le risque de pollution du système de la Touvre (voir page suivante).



La source de la Touvre (Charente)

La méthode issue du COST 620 est intéressante pour obtenir une hiérarchisation des risques de pollution. Toutefois, elle ne permet pas de quantifier réellement les risques en termes de flux de pollution.

En effet, les méthodes COP et PaPRIKa_{captage} tiennent compte de la notion de distance entre un point considéré et le captage (K fonction du gradient pour COP, I_{captage} fonction du temps de transit pour PaPRIKa_{captage}) mais ne tiennent pas compte de la notion de dilution. On pourrait donc imaginer un coefficient supplémentaire proportionnel à la dilution par unité de masse déduite d'un traçage. Ce coefficient dépend directement de la taille du système et de son degré d'organisation. Cela permettrait d'étalonner le risque au cas particulier du captage étudié.

La cartographie du risque selon la méthode COP fait ressortir comme activités à risque maximum les activités les plus dangereuses situées dans les zones les plus vulnérables. Toutefois, il peut exister des activités à risque moyen situées dans des zones de vulnérabilité moyenne qui pourront faire courir un risque non nul au captage, mais difficile à apprécier selon une méthode de type COP.

Seule la technique par traçage de simulation permet de quantifier et donc de préciser le risque. Il est donc recommandé, en plus du travail de hiérarchisation des risques, et pour les foyers de pollution potentiellement les plus impactants, de réaliser des traçages de simulation afin d'évaluer les flux de pollution qui peuvent affecter la ressource.

¹⁵ COST = Coopération européenne en sciences et technologies. L'action 620 propose une approche globale – la méthode COP : flow Concentration, Overlying layers, Precipitations – visant la protection des eaux souterraines d'origine karstique, comportant une méthode de cartographie de la vulnérabilité et une méthode d'évaluation des risques de pollution.

Exemple d'évaluation des risques de dégradation de la qualité des eaux : la source de la Touvre

Procédure de révision des périmètres de protection de la résurgence de la Touvre (Communauté d'Agglomération du Grand Angoulême, Hydro Invest, 2007)

La source de la Touvre, située en Charente, à quelques kilomètres à l'est d'Angoulême est la seconde source karstique de France par son débit (débit moyen 15 m³/s). C'est un système karstique binaire dont la particularité réside dans un bassin d'alimentation de 1300 km² dont plus de la moitié correspond aux bassins versants des rivières Bandiat et Tardoire. La source de la Touvre est captée pour l'alimentation en eau potable d'Angoulême ; il s'agit d'un captage de type B.

Cette source a fait l'objet de nombreuses études et de travaux universitaires. Des périmètres de protection ont été mis en place ; des systèmes d'alerte biologiques et chimiques ainsi qu'un dispositif de gestion de la ressource en période de crue sont également installés.

Dans le cadre de la révision des périmètres de protection, la COMAGA a engagé des études portant sur l'évaluation de la vulnérabilité et l'appréciation du risque.

La première étape a consisté en un inventaire exhaustif des activités potentiellement polluantes pour les eaux souterraines ; 1325 activités ont été inventoriées sur l'aire d'alimentation du captage. Pour chaque site, une évaluation ponctuelle de la vulnérabilité intrinsèque a été réalisée à l'aide de la méthode COP (COST 620). Ainsi chaque activité potentiellement polluante a été affectée d'un indice de vulnérabilité I_v variant de 1 à 5.

La méthode d'évaluation du risque décrite dans COST 620 à partir du croisement de la vulnérabilité avec la dangerosité N_d a été employée avec succès. Le tableau des valeurs de l'indice H (dangerosité intrinsèque) fourni par la méthode COP a été complété pour couvrir la totalité des activités trouvées sur l'aire d'alimentation. Les deux facteurs de pondération Q_n et R_f représentent respectivement une hiérarchisation du danger pour le produit ou l'activité considérée et une atténuation ou une aggravation en fonction de facteurs techniques ou naturels.

Le coefficient Q_n varie de 0,8 à 1,2. Il est défini en prenant en compte les quantités maximales et minimales que l'on peut trouver sur le site. Le bureau d'études a du définir des critères pour des activités non listées dans les exemples du COST 620. Par exemple, pour les activités où aucune donnée n'était disponible, il a affecté une valeur de Q_n de 1,2 aux activités soumises à autorisation, de 1 aux activités soumises à déclaration et de 0,8 aux activités non classées ICPE.

Le coefficient R_f varie de 0,8 à 1. Une pondération de 0,8 représente une probabilité minimale de mobilisation du produit alors que pour un coefficient 1 la dangerosité intrinsèque du produit reste inchangée. Dans le cas de la Touvre le bureau d'études a choisi de s'appuyer sur les notions de « potentiel de danger de la source » et « potentiel de mobilisation de la source vers le milieu » issues de la méthode d'Evaluation Simplifiée des Risques (ESR) pour affecter une valeur à ce coefficient.

La hiérarchisation des risques ainsi effectuée a mis en évidence qu'un faible pourcentage d'activités potentiellement polluantes présente un risque moyen pour le captage. Les points identifiés comme à risque se situent le long des rivières Bandiat et Tardoire à proximité des points de perte et sur l'impluvium karstique non loin de l'exutoire.

Des traçages de simulation ont fait suite à la hiérarchisation des risques, afin de préciser l'amplitude du risque à partir des pertes des cours d'eau et de points d'infiltration particuliers sur l'impluvium karstique.

**EXEMPLE D'ÉVALUATION DES RISQUES DE DÉGRADATION DE LA QUALITÉ DES EAUX :
LA SOURCE DE LA TOUVRE LISTE DES ACTIVITÉS POTENTIELLEMENT POLLUANTES**

N°	Danger	Poids H	N°	Danger	Poids H
2.6.6	Site de déchets nucléaires	100		Fabrication de panneaux de bois	40
2.6.5	Site de déchets dangereux	90	1.2.1	Décharge sauvage, dépôt d'ordures	40
1.1.10	Injection des eaux usées dans un puit (illégal)	85	1.2.2	Déchetterie, centre de tri	40
2.1.6	Stocks de matière première dangereuse, en extérieur	85	1.2.2	Stockage et activité de récupération des métaux	40
2.4.5	Raffinerie de pétrole	85	1.4.1	Route, sans ouvrage hydraulique OH	40
2.7.4	Injection des eaux usées dans un puit (illégal)	85	1.4.2	Tunnel de route, sans ouvrage hydraulique OH	40
2.1.5	Mine, uranium	80	1.4.8	Gare de tirage	40
1.1.2	Urbanisation sans assainissement	70	2.3.1	Puits de production	40
2.1.2	Mine, tout autre non métallique	70	2.4.1	Fonderie de métaux	40
2.1.3	Mine, minerai	70	2.4.2	Fer et acérie	40
2.1.4	Mine, charbon	70	2.4.7	Caoutchouc et industrie de pneu	40
2.1.7	Installations de broyage et de minerai	70	2.4.8	Papier et manufacture de pâte à papier	40
2.1.8	Terril	70	2.7.3	Rejets de station d'épuration industrielle	40
2.1.9	Déchets de minerai	70	3.2.3	Stocks de fertilisants et pesticides	40
2.3.2	Puits de réinjection	70		Chaussures	40
2.4.9	Tannerie de cuir	70		Tôlerie	40
2.6.2	Conteneurs de substances dangereuses	70		Casse auto	40
2.6.3	Scories et mâchefers	70		Garage	40
1.3.7	Stockage d'hydrocarbures liquides en cavité souterraine	65		Mécanique générale	40
2.1.10	Drainage de mine	65		Cave coopérative	35
2.1.11	Bassin à stériles	65		Pisciculture	35
2.4.6	Usine chimique	65	1.1.1	Réseaux d'assainissement	35
2.5.3	Centrale nucléaire de protection d'électricité (CNPE)	65	1.1.6	Rejets d'une station d'épuration collective	35
2.7.1	Conduites d'eaux usées	65	1.2.4	Décharge inerte (classe 3)	35
2.7.2	Déposante pour eaux usées industrielles (illégal)	65	1.2.5	Boues de station d'épuration	35
	Peinture, laque, colle - fabrication	65	1.4.3	Dépôt de transporteur routier	35
	Plastiques - fabrication	65	1.4.4	Parking - aire de repos	35
1.1.7	Déposante pour les eaux usées urbaines (illégal)	60	1.4.7	Gare	35
1.3.5	Station de chargement de carburant	60	1.4.9	Aérodrome	35
1.3.6	Station service	60	1.5.4	Terrain de golf	35
1.4.10	Conduites de liquides dangereux	60	1.6.2	Cimetière animalier	35
2.1.1	Mine, sel	60	1.6.3	Locaux de nettoyage à sec	35
2.5.1	Usine à gaz de protection d'électricité	60	1.6.5	Installations militaires actives ou désaffectées	35
2.6.1	Stocks de matières premières et produits chimiques	60		Plate-forme logistique	35
3.2.7	Irrigation d'eaux usées (illégal)	60	1.4.5	Ligne de chemin de fer	30
	Textile	60	1.4.6	Tunnel de chemin de fer sans assainissement	30
	Tréfilerie	55	1.5.1	Village vacances	30
1.1.5	Epandage de boues	55	1.5.2	Terrain de camping	30
1.3.2	Cuve de stockage d'hydrocarbures, souterrain	55	1.6.4	Poste de transformation électrique	30
2.3.3	Station de chargement	55	2.2.2	Gravière ou sablière	30
2.3.4	Conduites de pétrole - Pipelines	55	3.1.1	Grange animale (hangar, abri, porcherie, étable)	30
2.4.4	Traitement par galvanoplastie des métaux	55	3.1.2	Stabulation parc d'engraissement	30
	Chaudronnerie	55	3.1.3	Élevage en batterie, ou intensif	30
	Composants électroniques	50	3.2.4	Secteur d'agriculture intensive (demande fertilisants et pesticides)	30
1.2.3	Centre de stockage des déchets ultimes	50		Centrale hydroélectrique	30
1.3.1	Cuve de stockage d'hydrocarbures en surface	50		Bassin d'orage	25
1.3.3	Stockage d'hydrocarbures en bidons	50	1.5.3	stade de sport à ciel ouvert	25
1.3.4	Réservoir de chantier	50	1.5.5	Terrain de ski	25
2.4.3	Métaux, traitement de surface et finition	50	1.6.1	Cimetière	25
2.5.2	Centrale thermique de protection d'électricité	50	2.2.3	Carrière	25
	Imprimerie	50	3.1.6	Secteur de pâturage intensif	25
	Blanchisserie industrielle	50	3.2.1	Silo ouvert (céréales)	25
	Tuiles, briques, céramique	50		Lavage autos	25
	Four à chaux, cimenterie	50		Béton	25
	Plastiques - transformation	50		Scierie	20
1.1.3	Maisons individuelles sans assainissement	45	3.2.2	Silo fermé (céréales)	20
1.1.4	Fosse septique, fosse d'aisances, latrine	45	3.2.6	Serre	20
1.1.9	Evacuation des eaux usées dans des cours d'eau	45		Usine de recompression du gaz	15
2.4.10	Industrie agroalimentaire	45	3.2.5	Jardin ouvrier	15
	Parfumerie - fabrication	45	2.2.1	Excavation et remblai pour aménagement	10
2.6.4	Stockage de déchets industriels banals	45		Stand de tir	10
3.1.4	Aire à fumier	45		Menuiserie	10
3.1.5	Cuve ou fosse à lisier	45		Taille de pierre	10
	Compostage	45		Station traitement eau potable	5

La nature de l'aquifère karstique nécessiterait en théorie de réaliser un traçage à chaque point où un risque est identifié, ce qui n'est pas envisageable.

Cependant, à l'échelle d'un bassin d'alimentation de captage, les risques identifiés sont souvent peu nombreux. En les hiérarchisant en fonction de leur importance, et en comparant les sources de pollution potentielles avec les types de contaminant identifiés au point de captage (évaluation initiale de la qualité), il est possible de sélectionner quelques points à partir desquels un traçage sera réalisé dans les conditions du rejet ou du déversement. Si le risque est chronique, un seul traçage hors période de crue est suffisant ; si le risque est accidentel, un traçage de hautes eaux et un traçage de basses eaux sont nécessaires.

Ainsi, la cartographie du risque actuel complétée par sa quantification devient un outil de décision pratique permettant de définir les actions à engager au point de contamination, à compléter éventuellement par des actions au niveau du captage avant la distribution.

Dans un traçage de simulation il y a deux paramètres importants :

1. La modalité de propagation du nuage de traceur simulant le polluant,
2. La concentration maximale atteinte au captage, elle-même fonction de la quantité injectée.

L'expérience montre qu'en fonction des conditions hydrologiques, la concentration maximale est moins variable que la modalité de propagation du traceur. Dans le cas d'une pollution accidentelle, en réalisant un traçage en basses eaux et un traçage en hautes eaux, on dispose des deux fonctions de transfert caractérisant les conditions extrêmes. Pour prévoir les moyens de secours à mettre en œuvre en cas de pollution depuis un point d'infiltration particulier, le traçage de basses eaux est important pour connaître le temps maximum pendant lequel le captage sera inutilisable et le traçage de hautes eaux est important pour connaître le temps d'intervention minimum. Les deux simulations sont donc importantes et doivent être réalisées dès lors qu'un risque important a été identifié.

Les traçages de simulation doivent être réalisés dans les conditions de déversement du polluant, à même le sol. Le traçage doit être quantitatif et réalisé suivant les prescriptions du guide « Guide méthodologique- les outils de l'hydrogéologie karstique pour la caractérisation de la structure, du fonctionnement et de l'évaluation des ressources des systèmes karstiques ».



Les traçages de simulation s'avèrent nécessaires prioritairement pour les captages de type B. Ils devraient être exceptionnels pour les captages de type A et C, où, compte-tenu de la taille de l'impluvium, la présence d'activités à risque fort est moins probable.



*Injection de traceurs en amont d'une perte
Photo GINGER*

Précisions sur les traçages de simulation

La quantification du risque nécessite de connaître 3 types d'informations :

1. Les flux de pollution émis au niveau des différentes sources de pollution,
2. Les modalités intrinsèques du transit entre le point de contamination et le captage,
3. Les modalités de transfert du contaminant dans l'aquifère.

Les flux de pollution ponctuelle peuvent être connus ou estimés à partir d'enquêtes auprès de l'Agence de l'eau et des services de l'Etat (services de police de l'eau, services d'inspection des installations classées pour la protection de l'environnement) voire même des responsables des activités polluantes ou susceptible de l'être.

Les informations du point 2 peuvent être approchées par traçage des eaux souterraines. L'injection d'une masse connue de traceur au point de déversement chronique ou d'un éventuel accident permet de décrire les modalités intrinsèques du transit souterrain. Cette expérience permet d'obtenir les paramètres suivants :

- la distribution des temps de séjour (DTS) qui pour une injection instantanée équivaut à une fonction de transfert, paramètre principal pour simuler une contamination (convolution),
- les différents temps caractéristiques de la DTS (t_{min} , t_{modal} , t_{moyen}),
- la courbe de restitution de laquelle on peut déduire la dilution par unité de masse injectée.

Toutefois, ces paramètres sont variables dans le temps et dans l'espace. Un traçage caractérise les modalités de transit entre un point et la source et pour les conditions de débits au jour de l'expérience. Autrement dit, il n'est théoriquement pas possible de transposer les résultats d'une expérience de traçage à un autre point du bassin d'alimentation ni pour le même point, si les conditions hydrologiques diffèrent notablement.

D'après les diverses expériences de traçages menées sur un même système, des orientations peuvent néanmoins être fournies pour extrapoler les résultats :

- pour une même masse injectée, les concentrations entre hautes eaux et basses eaux présentent un rapport bien moindre que celui des débits. Autrement dit les dilutions sont d'un ordre de grandeur souvent assez proche,
- les temps de transit sont beaucoup plus longs en basses eaux qu'en hautes eaux,
- le temps pendant lequel la source révèle la présence de traceur est beaucoup plus long en basses eaux qu'en hautes eaux.

Ainsi, les conséquences d'une pollution chronique sont assez semblables entre les hautes et les basses eaux, puisque les temps d'arrivée et de passage du polluant entrent moins en compte ; la dilution devient prépondérante.

En revanche, pour une contamination accidentelle, il est important de connaître, outre la nature du produit :

- le temps le plus court entre la contamination et son apparition au captage (en condition de hautes eaux) ; ce paramètre permet d'évaluer le temps de réaction nécessaire pour prévenir les effets de la pollution ;
- le temps le plus long (période de basses eaux), pour
- savoir s'il est possible de passer la crise avec une ressource de substitution ou une réserve de secours ;
- la concentration maximale (conditions de basses et de hautes eaux) ; paramètre important pour savoir si
- l'on dépasse le seuil de conformité à la distribution.

Les informations du point 3 sont quant à elles pratiquement impossibles à obtenir par manque de références ou d'études. Les transferts de produits miscibles à l'eau sont souvent les cas les plus défavorables car les phénomènes de piégeage par flottaison ou par décantation n'existent pas. En revanche, les produits piégés pour des conditions piézométriques données peuvent réapparaître de façon aléatoire au captage.

Description des ouvrages de captage et de traitement et des installations d'adduction

La description des ouvrages de captage et de traitement et les informations relatives à la gestion des situations de crise font partie intégrante du diagnostic. Elles permettent d'élaborer une stratégie de protection réaliste et équilibrée, faisant appel, en fonction des risques identifiés, aux mesures de protection dans les périmètres de protection (et le cas échéant sur l'aire d'alimentation) et à des solutions techniques complémentaires, notamment en cas de contamination momentanée.

Informations à fournir pour la description des installations de production et de distribution d'eau. Annexe V de l'arrêté du 20 juin 2007.

1. La liste des collectivités alimentées par le système de production et de distribution d'eau et l'estimation de la population concernée (permanente et saisonnière) ;
2. La description des installations de production et de distribution d'eau accompagnée de plans précisant :
 - l'implantation du ou des captages d'eau (coordonnées géographiques) ainsi que, lorsqu'ils existent, les coupes géologiques et techniques des ouvrages et les résultats des essais de débit ;
 - le débit d'exploitation de l'ouvrage de captage (en m³/heure), les volumes minimal, moyen et maximal journaliers prélevés ainsi que le volume annuel prélevé. Dans le cas d'une source, le débit du trop-plein sera également mentionné lorsque ce dernier existe ;
 - pour les captages d'eau souterraine : le code de la masse d'eau, le code de l'entité hydrogéologique et le code national du dossier de l'ouvrage souterrain au sein de la banque de données du sous-sol du Bureau de recherches géologiques et minières (code BSS) ;
 - la localisation et les principales caractéristiques des installations de traitement, accompagnées de schémas ;
 - l'implantation et les principales caractéristiques du ou des réservoirs de stockage d'eau et le tracé des canalisations principales ;
 - les modalités de gestion du réseau de distribution (traitements éventuels, modélisation, ...) ;
 - la nature des matériaux au contact d'eau utilisés et les preuves du respect des dispositions spécifiques définies en application de l'article R. 1321-48 du code de la santé ;
3. Les possibilités d'interconnexion et d'alimentation de secours.
L'annexe II de la circulaire du 26 juin 2007 précise les informations à fournir sur l'environnement immédiat du captage :
 - description des abords immédiats du captage ;
 - pente du terrain, végétation, zone de stagnation d'eau, mode d'entretien des abords du captage, etc. ;
 - description détaillée des installations de captage : bâtiments, nature des produits stockés et conditions de stockage, clôture, état général, etc. ;
 - schéma d'implantation du captage ;
 - mesures de protection contre les eaux de ruissellement et les inondations.

La conception d'une stratégie de protection d'une ressource captée en milieu karstique nécessite de tenir compte des dispositifs de traitement et des moyens de sécurisation existants. Dans le cas de captages existants, il est particulièrement important de décrire les capacités de traitement et les filières mises en œuvre.

Dans le cas où une unité de traitement est déjà en place, les études préalables permettent de déterminer si la filière doit être améliorée ou complétée, et d'examiner les possibilités d'amélioration. Pour les nouveaux captages ou les captages existants sans dispositif de

traitement, les études statuent sur la nécessité d'un système de traitement des eaux brutes et sur la filière adaptée à leur qualité, de façon à obtenir une eau conforme à la distribution.

Les captages en milieu karstique (types A et B surtout), montrent des variations importantes de la qualité des eaux et en particulier doivent périodiquement faire face à des bouffées de turbidité souvent corrélées à des non-conformités bactériologiques. Il est indispensable que la collectivité prévoie les modalités de gestion de ces périodes de crise, en recourant soit à un traitement soit à une ressource de substitution.

La possibilité du recours transitoire à une ressource de substitution par interconnexion ou par organisation des points de production permet de laisser passer les pics de turbidité fréquents en période de hautes eaux.

Ces conditions particulières d'exploitation doivent être intégrées à la stratégie de protection.

Les études préalables doivent donc permettre de répondre aux questions suivantes :

- existe-t-il une possibilité d'utiliser une ressource de substitution ?
- si oui, pendant combien de temps peut-on utiliser cette ressource et quelles sont les contraintes ?
- si non, y a-t-il possibilité d'organiser l'utilisation d'une ressource de substitution (interconnexion, organisation de la production, bassins tampon), à quel coût et avec quelles contraintes ?

La mise en œuvre de moyens adaptés pour gérer les phénomènes de pollutions liés aux crues peut permettre de limiter l'étendue des périmètres de protection. Par exemple il devient alors inutile d'instaurer un périmètre de protection stricte sur un secteur qui ne peut affecter le captage qu'en période de crue, période où l'exploitation de la ressource est interrompue temporairement.

Remarque : Dans la majorité des cas, les prescriptions sur les périmètres de protection et les actions dans l'AAC n'ont pas d'impact sur la turbidité des eaux ; il existe cependant des exceptions ; ainsi, en Normandie, les actions au niveau des points d'engouffrement permettent de réduire la turbidité et donc de limiter le traitement.

Il faut également envisager les risques de pollution, notamment accidentelle, en période d'étiage, et déterminer les capacités de la ressource de substitution dans cette période. Si ces capacités sont insuffisantes, il est alors nécessaire de prévoir une solution de secours (type bassin de stockage) ou bien de prévoir des mesures de protection strictes pour réduire les risques.

Synthèse du diagnostic

À l'issue des phases 1 et 2 du diagnostic, une synthèse est à réaliser, pour faciliter la validation par la collectivité Maître d'ouvrage et le comité de suivi local et aussi en vue de la constitution ultérieure du dossier destiné à l'hydrogéologue agréé.

Cette synthèse reprend les principaux enseignements des différentes étapes des études préalables, telles que schématisées page suivante.

Il ne s'agit pas dans cette partie de l'étude de réaliser ou de refaire le schéma directeur AEP de la collectivité. Si un schéma AEP a déjà été réalisé, il convient de s'y référer pour décrire les ouvrages de captages, les systèmes de traitement, les éventuels systèmes d'alerte et de secours existants pouvant être utiles dans la définition de la stratégie de protection.

Pour finir, il convient de souligner que certaines situations de non conformité peuvent être résolues par des aménagements simples des ouvrages de captage. Ce phénomène n'est pas spécifique aux aquifères karstiques, mais il s'y trouve accru, du fait des particularités du milieu karstique.

Parmi les problèmes de conception ou de dégradation des ouvrages pouvant être à l'origine de contaminations périodiques des eaux, le mélange entre les eaux superficielles et les eaux souterraines est le problème le plus fréquent, en particulier pour les captages de type A et de type C.

Pour les captages de type A, il existe souvent des difficultés d'isolation de la vasque dans laquelle se fait le captage d'une source. Le risque de mélange avec les eaux de surface est d'autant plus élevé que le débit du captage est faible ; c'est pourquoi le phénomène est moins sensible pour les ouvrages de type B.

Pour les captages de type C, l'étanchéité de la colonne est souvent difficile à obtenir compte tenu de l'hétérogénéité des terrains de la zone non saturée (fractures karstifiées, cavités, ...).



Fontaine des Chartreux - Captage de la ville de Cahors (Lot)
Photo Pierre MARCHET

C'est au niveau de ce travail de synthèse qu'il est souhaitable de fournir quelques informations objectives sur le contexte socioéconomique du territoire concerné, en particulier sur les activités situées en zones vulnérables : caractérisation précise des activités, nombre d'emplois, poids dans l'économie locale, difficultés économiques éventuelles, contraintes liées au parcellaire, etc.

Cette analyse apporte un premier niveau d'évaluation de la faisabilité de la protection et peut permettre de décider s'il convient de poursuivre la procédure ou s'il est préférable d'abandonner le projet d'exploitation du captage. Cette décision doit résulter d'une comparaison entre les coûts de la protection et ceux de la recherche d'une nouvelle ressource.

L'analyse du contexte socioéconomique est utile dans l'étape ultérieure d'élaboration et d'analyse comparative de scénarios de protection, en particulier pour évaluer l'impact socioéconomique et l'acceptabilité des mesures proposées.

Elle est plus ou moins poussée en fonction des enjeux socioéconomiques, notamment ceux liés aux activités agricoles ; elle peut nécessiter un diagnostic spécifique

réalisé par un prestataire spécialisé ; le même intervenant peut alors être chargé de la comparaison des scénarios de protection sur le plan socioéconomique.

La synthèse du diagnostic consiste alors à confronter :

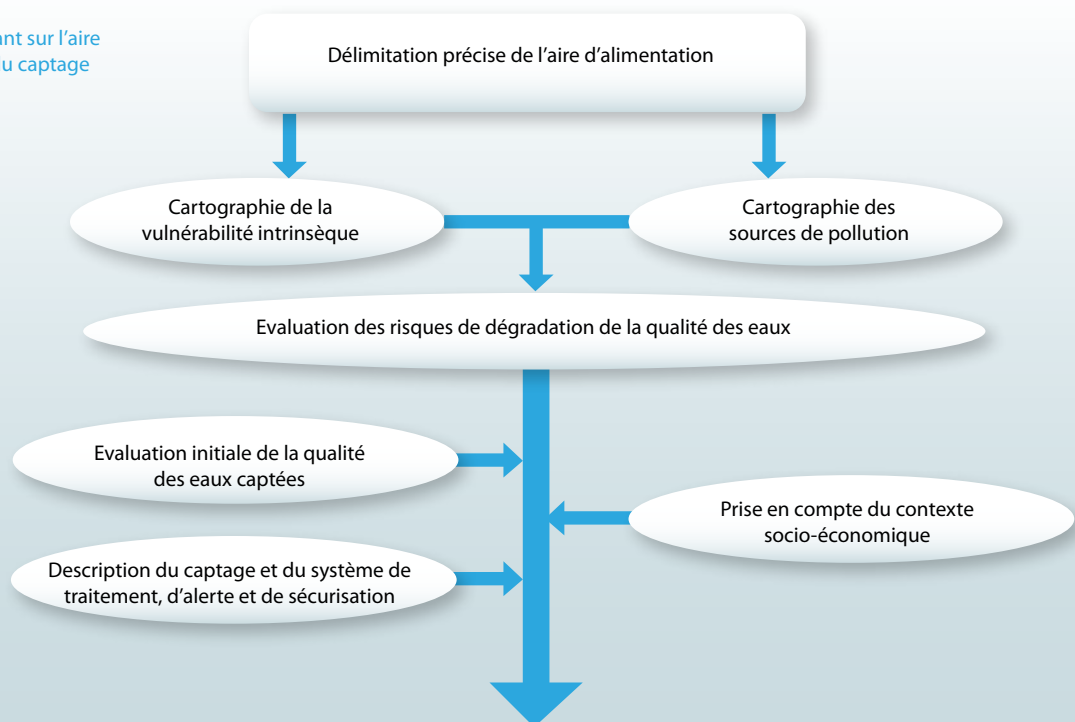
- les éléments de constat : taille et caractéristiques de l'aire d'alimentation, état de la qualité des eaux brutes et traitées, filières de traitement en place, existence de ressources de secours, contraintes socio-économiques ;
- avec les résultats de l'évaluation des risques actuels et futurs de pollution accidentelle et chronique (issus du croisement entre vulnérabilité et aléas), qui permettent de cartographier différents types de zones, en fonction de l'intensité du risque ;
- et avec les possibilités d'équipements complémentaires : dispositif de traitement, station d'alerte, ressource de substitution, interconnexion.

SYNTHESE DU DIAGNOSTIC

PHASE 1
Identification et caractérisation de la ressource

DIAGNOSTIC DU SYSTÈME KARSTIQUE ET DE SON FONCTIONNEMENT
HYDRODYNAMIQUE ET HYDROCHIMIQUE

PHASE 2
Diagnostic portant sur l'aire d'alimentation du captage



ELABORATION DE LA STRATEGIE DE PROTECTION

Contenu des études préalables / Définition de la stratégie de protection

La stratégie de protection doit être déterminée en fonction :

- de la qualité des eaux captées,
- de la vulnérabilité de la ressource et des risques actuels et futurs de pollution,
- de l'équipement en systèmes de traitement et de sécurisation,
- des contraintes socioéconomiques sur le territoire concerné.

Il est préconisé que la stratégie de protection soit définie dans le cadre des études préalables.

Suite à l'établissement du diagnostic, les études préalables présentent et comparent des scénarios alternatifs pour la protection du captage et éventuellement de la ressource captée et aboutissent à la définition d'une stratégie opérationnelle de protection et d'un programme d'actions.

Définition et analyse comparative de scénarios de protection

Le diagnostic doit permettre de définir 2 à 3 scénarios de protection, assortis d'analyses de faisabilité technico-économique ; le niveau d'analyse est à moduler en fonction des enjeux : nombre d'habitants desservis, intensité des risques de dégradation de la qualité des eaux, ressource locale ou patrimoniale, importance des contraintes socioéconomiques.

La formulation de plusieurs scénarios de protection à l'issue de la phase de diagnostic est une étape importante, qui permet à la collectivité d'évaluer les différentes solutions de protection envisageables et les contraintes socioéconomiques associées, et de choisir en connaissance de cause une stratégie de protection adaptée et acceptable.

Cependant, le niveau d'approfondissement des scénarios et de leur analyse comparative doit être cohérent avec les enjeux liés au captage et à sa protection.

Les scénarios peuvent viser des objectifs de qualité des eaux plus ou moins ambitieux pour la qualité des eaux brutes. Il s'agit ensuite d'analyser la faisabilité technico-financière et aussi l'acceptabilité socioéconomique des mesures et des actions à mettre en œuvre pour atteindre ces objectifs.

Les scénarios de protection doivent composer tous les types d'actions : au niveau du captage, de la distribution, des périmètres de protection et le cas échéant de l'aire d'alimentation.

Il s'agit en effet à travers les scénarios alternatifs d'envisager les différents outils et moyens possibles pour sécuriser la qualité des eaux distribuées, en recherchant le meilleur équilibre et la complémentarité entre les mesures réglementaires à appliquer dans les périmètres de protection, les actions de maîtrise des risques à engager

éventuellement à l'échelle de l'aire d'alimentation et les solutions techniques au niveau du captage ou du système d'adduction, tout en tenant compte des enjeux et des contraintes socio-économiques.

Les scénarios peuvent également permettre d'analyser différentes propositions pour les périmètres de protection : par exemple, dans certains cas, il est possible d'établir un scénario qui limite l'extension des périmètres de protection et permet ainsi de réduire les contraintes sur les activités, et qui prévoit parallèlement un dispositif de traitement plus poussé.

Pour chaque scénario, il est nécessaire de décrire :

- les objectifs de qualité ciblés, pour les eaux brutes et les eaux distribuées,
- les propositions des zones à protéger dans lesquelles s'inscriront les périmètres de protection,
- l'ensemble des mesures et des actions à mettre en œuvre pour atteindre ces objectifs, dans les zones à protéger et le cas échéant dans les zones de protection des AAC, sans omettre les solutions curatives et les dispositifs d'alerte et de sécurisation,
- l'impact socioéconomique des actions de protection,
- les moyens financiers nécessaires.

Les scénarios font l'objet d'une analyse comparative technico-financière, qui présente également les avantages et les inconvénients sur le plan socioéconomique.

Quatre principes sont à respecter pour définir les scénarios et in fine la stratégie de protection :

- Réserver les mesures strictes aux zones les plus vulnérables ;
- Ajuster les mesures à l'importance des enjeux liés à la ressource et aux contraintes socioéconomiques ;
- Assurer la protection nécessaire afin de prévenir la détérioration de la qualité des eaux brutes, de manière à réduire le degré de traitement de purification nécessaire à la production d'eau potable (art 7 de la directive cadre sur l'eau) ;
- Prévoir si nécessaire des actions à l'échelle de l'aire d'alimentation, notamment pour satisfaire l'objectif précédent.

Affichage des objectifs de qualité pour les eaux brutes et les eaux distribuées

Des objectifs de qualité précis doivent être formulés pour les eaux brutes et les eaux distribuées : maintien ou restauration de la qualité, indication des paramètres visés.

La finalité de la stratégie de protection est d'obtenir une qualité des eaux brutes et distribuées a minima conforme à la réglementation, le texte de référence étant l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine.

La directive cadre sur l'eau stipule (article 7) que « les États membres assurent la protection nécessaire pour les masses d'eau recensées afin de prévenir la détérioration de leur qualité de manière à réduire le degré de traitement de purification nécessaire à la production d'eau potable ».

Elle instaure par ailleurs un objectif de bon état de toutes les zones protégées en 2015, sachant que tous les points de captages fournissant plus de 10 m³/jour ou desservant plus de 50 personnes sont des zones protégées. On rappelle que le dispositif mis en place par la loi sur l'eau relatif à la mise en œuvre de programmes d'actions dans les AAC vise notamment la satisfaction de cet objectif.

En ce qui concerne les limites de qualité fixées par le code de la santé publique, il n'existe pas de notion d'échéance : la qualité doit être conforme dès la mise en service du captage. C'est pourquoi ces objectifs sont à considérer comme prioritaires : on peut donc être amené à privilégier dans un premier temps les solutions curatives, et à mettre en œuvre les actions préventives dans le moyen terme, notamment pour répondre à l'objectif de bon état des zones protégées en 2015.

Il est néanmoins possible à une collectivité de faire le choix d'une politique de protection affirmée et de fixer des objectifs de qualité des eaux brutes plus ambitieux que les limites fixées par la réglementation, de façon notamment à réduire l'importance et le coût du traitement.

Suite à l'évaluation initiale de la qualité, il est donc recommandé de définir et d'afficher explicitement les objectifs de qualité, en particulier pour les eaux brutes, ainsi que les écarts entre la qualité actuelle et les objectifs, en précisant la nature des contaminants pour lesquels les teneurs doivent être stabilisées ou réduites.

Il est clair que l'ampleur des mesures et des actions de protection sera différente selon que l'on vise une restauration de la qualité ou le maintien d'une bonne qualité existante.

Pour un captage dont l'aire d'alimentation comporte des activités agricoles qui impactent la qualité des eaux souterraines, le respect de l'objectif minimal imposé par la réglementation pourra impliquer de protéger le captage aussi contre les pollutions diffuses, et donc de mettre en place des actions à l'échelle de l'AAC.

L'affichage d'objectifs de qualité précis sert ensuite de base à l'évaluation de l'impact des prescriptions et le cas échéant des actions dans la zone de protection de l'AAC.

Définition des périmètres de protection

La circulaire du 24 juillet 1990 relative à la mise en place des périmètres de protection des points de prélèvements d'eau destinée à la consommation humaine fournit des instructions techniques pour la délimitation des périmètres de protection des captages. Il convient aussi de se référer au document du Ministère en charge de la Santé « Protection des captages d'eau : Acteurs et stratégies » de mai 2008, qui précise les fonctions et les principes de délimitation des périmètres de protection.

Circulaire du 24 juillet 1990 relative à la mise en place des périmètres de protection des points de prélèvements d'eau destinée à la consommation humaine

La protection des points de prélèvement d'eau destinée à la consommation humaine, qui relève de l'application du code de la santé publique, a pour objectif de préserver les points de prélèvement des risques de pollution provenant des activités exercées à proximité.

Cette protection particulière est réalisée par la mise en place de périmètres de protection définis pour un débit maximal de prélèvement et destinés à faire obstacle aux éléments polluants susceptibles d'altérer de façon significative la qualité des eaux. A l'intérieur de ces périmètres, certaines activités peuvent être interdites ou réglementées.

Vis-à-vis des risques de pollutions accidentelles mettant en jeu des substances dangereuses, toxiques ou indésirables, l'étendue des périmètres est calculée de manière à assurer un temps de transfert de ces substances jusqu'au captage suffisamment long, permettant ainsi de déclencher l'alerte et d'envisager une intervention en temps utile.

Dans les roches compactes présentant des fissures ouvertes (roches cristallines, gréseuses et surtout calcaires), les eaux de ruissellement et les substances polluantes peuvent rejoindre rapidement le réservoir souterrain sans subir de filtration et à des vitesses beaucoup plus élevées que celles observées dans les terrains poreux. De ce fait, la protection des eaux captées dans ces réservoirs est à rapprocher, dans ses principes, de la protection des eaux superficielles.

La protection des points de prélèvement des eaux destinées à la consommation humaine est réalisée par la mise en place de deux périmètres, l'un de protection immédiate, l'autre de protection rapprochée, complétés éventuellement par un troisième périmètre, dit de protection éloignée.

Périmètre de protection immédiate

Le périmètre de protection immédiate a pour fonctions d'empêcher la détérioration des ouvrages de prélèvement et d'éviter que des déversements ou des infiltrations de substances polluantes se produisent à l'intérieur ou à proximité immédiate du captage.

Des périmètres «satellites» de protection immédiate, disjoints de celui du captage concerné, peuvent être instaurés autour de zones d'infiltration (gouffres, bétoires) en relation hydrogéologique directe avec les eaux prélevées. Les zones ainsi définies seront également acquises en pleine propriété.

Périmètre de protection rapprochée

Le périmètre de protection rapprochée doit protéger efficacement le captage vis-à-vis de la migration souterraine des substances polluantes. Son étendue est déterminée en prenant notamment en compte :

- les caractéristiques physiques de l'aquifère et de l'écoulement souterrain ;
- le débit maximal de pompage ;
- la vulnérabilité.

Les notions de base à retenir pour délimiter ce périmètre sont :

- la durée et la vitesse de transfert de l'eau entre les points d'émission de pollutions possibles et le point de prélèvement dans la nappe ;
- le pouvoir de fixation et de dégradation du sol et du sous-sol vis-à-vis des polluants ;
- le pouvoir de dispersion des eaux souterraines.

Dans des situations complexes, le périmètre de protection rapprochée peut comporter plusieurs zones, disjointes ou non, délimitées suivant la vulnérabilité de l'aquifère.

Pour faciliter son repérage, les limites de ce périmètre (ainsi que celles du périmètre de protection éloignée) suivront autant que de possible les limites cadastrales (communes ou parcelles) et géographiques (cours d'eau, voies de communication).

Périmètre de protection éloignée

Le périmètre de protection éloignée prolonge éventuellement le précédent pour renforcer la protection contre les pollutions permanentes ou diffuses. Il sera créé si l'on considère que l'application de la réglementation générale, même renforcée, n'est pas suffisante, en particulier s'il existe un risque potentiel de pollution que la nature des terrains traversés ne permet pas de réduire en toute sécurité, malgré l'éloignement du point de prélèvement.

La proposition de délimitation de secteurs à inclure dans les périmètres de protection fait partie intégrante des études préalables.

Le bilan – évaluation des procédures de protection des captages en milieu karstique a démontré que l'absence de document d'aide à la décision pour la délimitation des périmètres de protection dans les études hydrogéologiques préalables est un facteur d'échec ou de blocage des procédures réglementaires de mise en place des périmètres de protection, en particulier en milieu karstique. Il est donc nécessaire que les études proposent la délimitation des secteurs à inclure dans les périmètres de protection.

Le guide du Ministère en charge de la Santé « Protection des captages d'eau : Acteurs et stratégies » de mai 2008, confirme cette préconisation ; il indique que « l'hydrogéologue agréé ne doit intervenir que sur un dossier complet avec une proposition de secteurs à protéger, ébauche des prescriptions et des propositions de travaux ». Ce document précise que « l'étude

préalable doit présenter un zonage des secteurs qui seront ultérieurement à inclure dans les périmètres de protection... », et que « la réalisation d'une étude très complète permet à l'hydrogéologue agréé de se prononcer plus sûrement sur les limites des périmètres et les prescriptions ».

La cartographie de la vulnérabilité doit aboutir à la cartographie des périmètres de protection. En effet, la définition des périmètres de protection résulte uniquement de l'évaluation de la vulnérabilité et doit être indépendante de l'activité humaine. La réglementation stipule que les périmètres de protection concernent les zones vulnérables, et pas les zones à risque ; ce qui signifie que l'on doit protéger, même si en situation actuelle, il n'existe pas de risque de pollution de la zone vulnérable.

■ ■ ■ Méthode de délimitation des secteurs à inclure dans les périmètres de protection

Il est recommandé d'utiliser la méthode PaPRIKa pour délimiter les secteurs vulnérables à inclure dans les périmètres de protection.

Le périmètre de protection rapprochée doit être réduit aux zones très vulnérables ; l'utilisation des périmètres satellites est à favoriser.



Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque des aquifères karstiques
Méthode PaPRIKa

La méthode PaPRIKa^{captage} permet en effet, sur la base de la cartographie PaPRIKa^{ressource} de qualifier les zones potentiellement vulnérables en fonction du temps de transit. Selon les résultats fournis par la cartographie de la vulnérabilité, les périmètres pourront être disjoints.

Il est possible de définir la zone du **périmètre de protection rapprochée (PPR)** comme une zone tampon - correspondant à un nombre d'heures à définir - entre les zones les plus vulnérables et le captage. Cette méthode permet, en tenant compte de la vulnérabilité, de définir un périmètre de protection rapprochée de taille raisonnable, qui prend en compte un temps de réaction compatible avec les moyens et les capacités réelles des collectivités ou des exploitants

La proposition de délimitation du PPR doit être fondée sur les zones les plus vulnérables (zones rouges ; indice de vulnérabilité 4) de la cartographie réalisée avec la méthode PaPRIKa^{captage}.

Le temps de transit à prendre en compte dans PaPRIKa dépend de l'existence de dispositifs de sécurisation au niveau du système d'adduction et de la capacité de réaction de la collectivité ou de l'exploitant.

Ainsi, diverses expériences ont montré qu'en l'absence d'un système d'alerte, il faut compter en moyenne 10

à 12 heures avant que le plan d'alerte mis en place au niveau des services de secours départementaux permette d'arrêter un captage menacé.

Le tableau suivant présente des propositions de temps de transit à appliquer dans la méthode PaPRIKa_{captage} en fonction de scénarios de sécurisation :

TYPE DE SÉCURISATION EXISTANT AU POINT DE CAPTAGE		TEMPS DE TRANSIT PaPRIKa _{captage}
1	Avec ou sans traitement complet, avec ressource de substitution et système d'alerte	2 à 4 heures
2	Avec ou sans traitement complet, avec une ressource de substitution mais sans système d'alerte	10 à 12 heures
3	Avec traitement complet et sans ressource de substitution	24 à 36 heures
4	Sans traitement complet et sans ressource de substitution	36 à 48 heures

Ces délais sont à moduler en fonction des capacités de réaction de l'exploitant et des caractéristiques du système karstique capté.

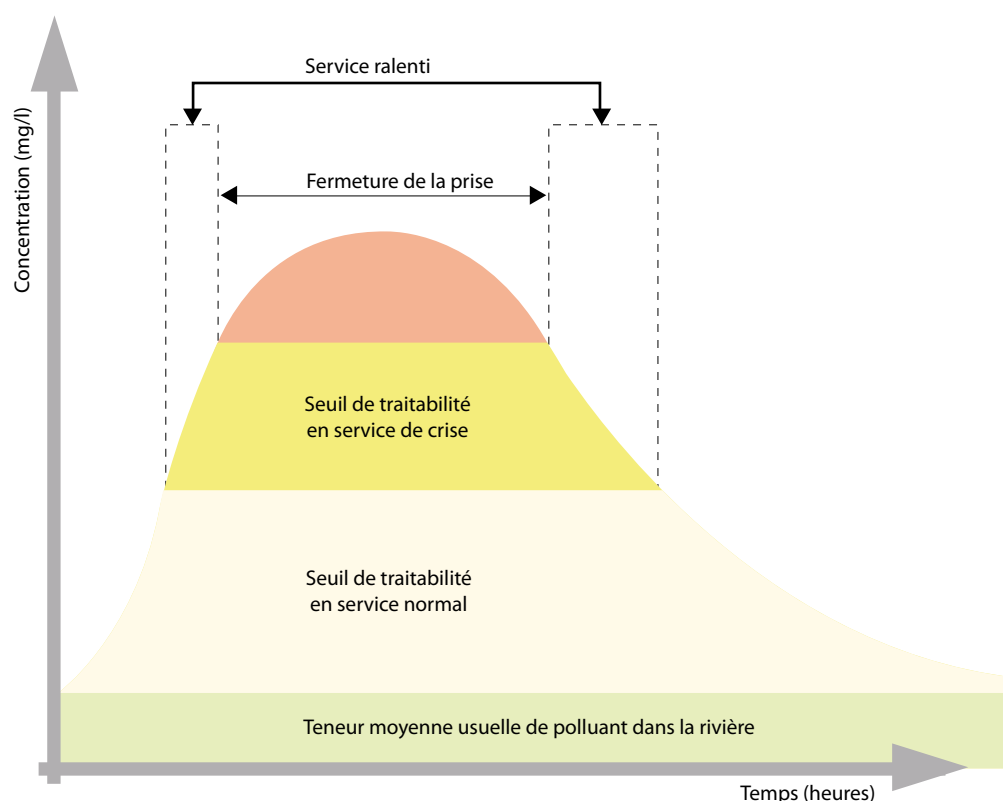
■ ■ ■ Dans les deux premiers cas, il s'agit de permettre à l'exploitant d'avoir le temps de mettre en œuvre la ressource de substitution.

- Dans le cas n°1, le délai proposé - 2 à 4 h - est court, car l'alerte est donnée rapidement, le pompage s'arrête, la distribution se fait sur le stock du réseau dans un premier temps, puis la distribution bascule sur la ressource de substitution pendant que la pollution s'écoule au captage. Cela sous-entend que le système d'alerte est situé en amont du captage, c'est-à-dire en aval de la source de pollution, au niveau d'un point d'engouffrement par exemple (un système d'alerte installé au niveau du captage ne peut permettre qu'un arrêt d'urgence).

- Dans cas n°2, le délai préconisé est plus long dans la mesure où la situation de crise met plus de temps à être identifiée ; il est donc nécessaire de prévoir une zone tampon correspondant à un temps de transit des pollutions plus long. Ce sera un cas très général pour les captages possédant une ressource de substitution.

■ ■ ■ Dans les cas n° 3 et 4, l'objectif premier est d'éviter l'arrivée d'une pollution trop massive que la station de traitement ne pourrait pas traiter, ce qui mettrait en péril la distribution. S'il existe des zones à risque, la simulation par traçage permettra, compte-tenu de l'aléa prévisible, de vérifier si le temps choisi permet un étalement suffisant de la pollution et donc un pic de pollution gérable.

UTILISATION DES TRAÇAGES DE SIMULATION POUR GÉRER UN PIC DE POLLUTION



Quel que soit le type de captage et en particulier la taille de l'aire d'alimentation, cette méthode de définition du PPR permet de délimiter des superficies de dimensions compatibles avec les contraintes de protection.

- Pour les grands systèmes karstiques de type B, les dilutions sont importantes et les temps proposés permettent d'assurer une protection du captage, tout en limitant les surfaces à protéger à une dimension raisonnable.

- Pour les captages de type A, la prise en compte de temps de transit importants peut conduire à inclure dans le PPR des secteurs allant jusqu'aux limites de l'impluvium, sachant que son étendue est modeste.

Dans les scénarios élaborés, et en fonction des objectifs de protection, il est possible d'utiliser dans la méthode PaPRIKa_{captage} des temps de transit plus ou moins élevés pour définir une zonation des contraintes dans le PPR ; il est envisageable par exemple de tracer un PPR avec des prescriptions très strictes pour un temps de 2 heures, et un PPR avec des prescriptions moins strictes pour un temps de 12 heures.

Dans tous les cas, s'il apparaît au cours de l'étude que les périmètres de protection même très étendus ne permettent pas de sécuriser la ressource, il faut que la stratégie de protection intègre la mise en place d'une ressource de substitution et/ou d'un traitement plus poussé.

En ce qui concerne les **périmètres de protection immédiate**, et plus particulièrement les périmètres de protection immédiate satellites, l'outil PaPRIKa_{captage} ne permet pas de les définir directement. En effet, les zones de vulnérabilité maximale présentent, la plupart du temps, des extensions qui ne permettent pas de donner à ces zones le statut de périmètre de protection immédiate. En revanche, les pertes ou les points d'engouffrement présents dans ces zones de vulnérabilité maximale doivent être inclus dans le périmètre de protection immédiate.

■ ■ ■ Intérêt de la définition d'un périmètre de protection éloignée

Le périmètre de protection éloignée, s'il est défini, est calé sur les limites de l'aire d'alimentation du captage. Dans tous les cas, l'aire d'alimentation du captage, éventuellement identifiée en tant que PPE, est une zone de vigilance où les services de l'Etat veillent à la préservation de la ressource.

Le guide du Ministère en charge de la Santé rappelle que « la création d'un périmètre de protection éloignée ne se justifie que si l'application d'une réglementation précise s'impose ». Ce périmètre correspond à une zone de vigilance permettant d'informer les services de sécurité et de secours, ainsi que le public, de la présence d'un captage.

Pour les captages en milieu karstique, dans la mesure où l'aire d'alimentation du captage est systématique-

ment délimitée, la « zone de vigilance » est définie de fait dans les études préalables. Il est souhaitable que cette zone de vigilance figure dans le dossier de DUP (éventuellement sous la dénomination de PPE), même si elle ne fait pas l'objet de mesures particulières.

Lorsque le captage fait l'objet d'un dispositif réglementaire de protection des aires d'alimentation au sens du décret du 14 mai 2007, il est inutile de définir un périmètre de protection éloignée.

Exemple de mise en œuvre de la méthode PaPRIKa

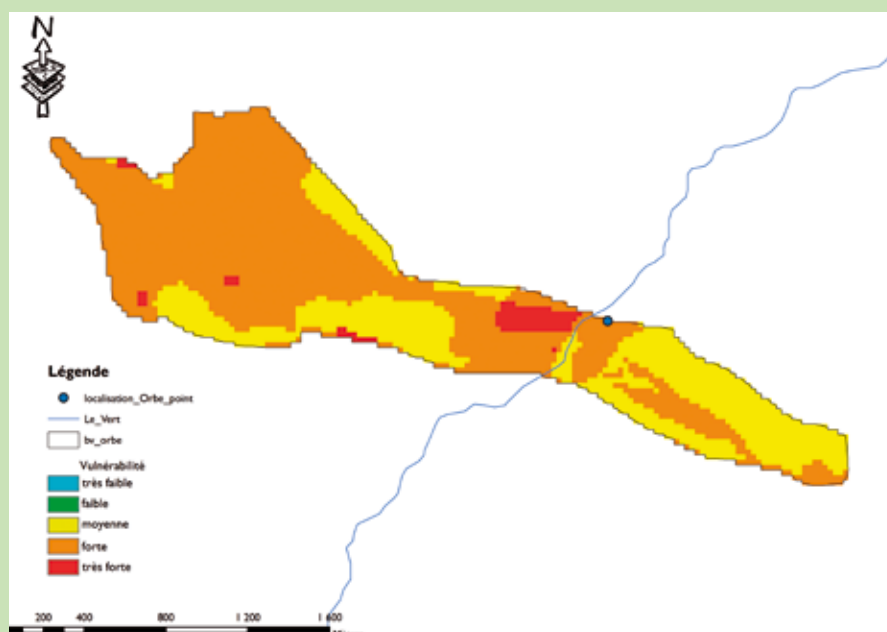
Captage de Type A – Systèmes karstiques l'Orbe

Le système karstique de la Fontaine d'Orbe (Chaînon béarnais – Pyrénées atlantiques) est capté pour l'alimentation en eau potable. Avec une aire d'alimentation de 2 km², ce captage correspond à un captage de type A dans un contexte de montagne.

Les calcaires urgoniens de l'Aptien sont très fracturés avec de forts pendages (>70°). C'est un système karstique uniaxe avec très peu de ruissellement pérenne. Il existe toutefois quelques points d'infiltration préférentiels des eaux météoriques.

CARTOGRAPHIE DE LA VULNÉRABILITÉ PAPRIKA

Ressource



Ce système est bien karstifié avec des conduits importants identifiés à proximité de la Fontaine.

Il est globalement assez vulnérable. La cartographie de la vulnérabilité globale (ressource) qui résulte de l'application de la méthode PaPRIKa montre que les zones les plus vulnérables se situent :

- en rive gauche du Vert d'Arette, dans la partie basse du système alimentant la Fontaine,
- dans les parties hautes du système au droit des points en rive d'infiltration préférentiels.

Les traçages réalisés depuis des points d'engouffrement, montrent des vitesses de transit inférieures à 50 m/h en hautes eaux.

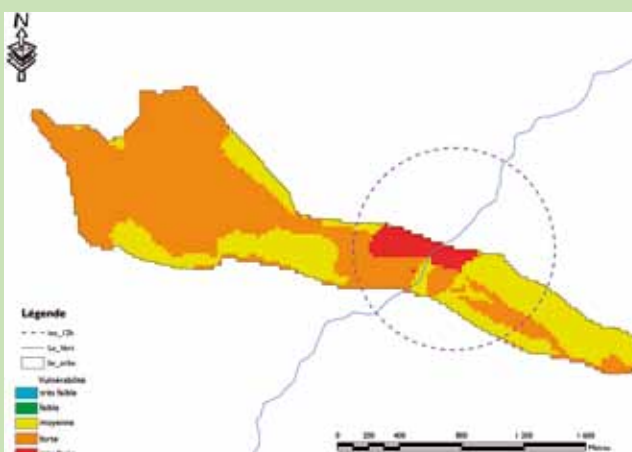
Dans ces conditions, en fonction du temps d'intervention choisi dans les scénarios, on obtient une cartographie de la vulnérabilité vis-à-vis des pollutions ponctuelles (PaPRIKa_{captage}) où les zones proches de la Fontaine sont toujours très vulnérables et doivent être incluses dans les périmètres de protection. En fonction de l'augmentation du temps d'intervention pris en compte, des zones vulnérables éloignées apparaissent qui pourront être incluses dans des périmètres de protection satellites.

Malgré les faibles vitesses de circulation, on remarque que pour un temps d'intervention de 48 h on atteint les limites du système et la cartographie de la vulnérabilité vis-à-vis de la pollution ponctuelle (PaPRIKa_{captage}) est alors très proche de la vulnérabilité globale (PaPRIKa_{ressource}).

Ainsi, pour les captages de type A, selon le temps de réaction pris en compte pour cartographier la vulnérabilité vis-à-vis de pollution ponctuelle, la méthode PaPRIKa_{captage} pourra conduire à mettre en place des périmètres de protection sur la totalité des zones très vulnérables obtenues par la méthode PaPRIKa_{ressource}. Néanmoins la superficie à protéger restera faible et facilement gérable par la collectivité.

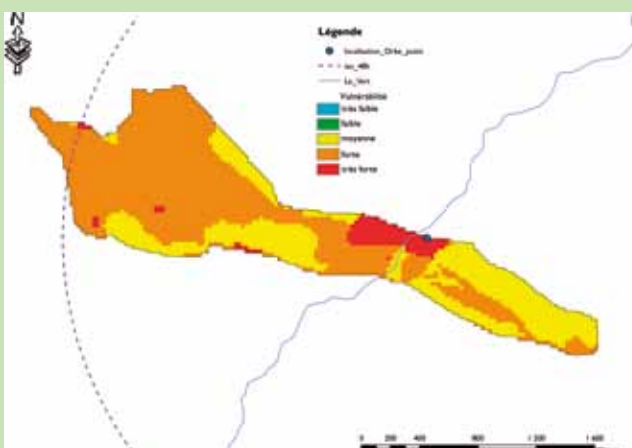
CARTOGRAPHIE DE LA VULNÉRABILITÉ PAPRIKA DÉLAI D'INTERVENTION 12 H

Captage



CARTOGRAPHIE DE LA VULNÉRABILITÉ PAPRIKA DÉLAI D'INTERVENTION 48 H

Captage



Définition des mesures de protection et de surveillance

Arrêté du 20 juin 2007, relatif à la constitution du dossier de demande d'autorisation d'utilisation d'eau destinée à la consommation humaine (annexe II)

L'étude des caractéristiques géologiques et hydrogéologiques du secteur aquifère concerné, de la vulnérabilité de la ressource et des mesures de protection à mettre en place, comporte (...) :

Les mesures de protection et de surveillance proposées, et notamment :

- les mesures de protection visant les installations, travaux, activités, dépôts, ouvrages, aménagement ou occupation des sols, susceptibles d'être concernés à l'intérieur de la zone d'étude par des interdictions ou des réglementations ;
- les mesures de surveillance et d'alerte à mettre en œuvre, en particulier pour les eaux superficielles et les eaux souterraines très vulnérables ;
- les dispositifs de protection tels que les réserves d'eau brute superficielle entre la prise d'eau et les installations de traitement.

Les prescriptions dans les périmètres de protection doivent être définies au cas par cas, en fonction du degré de vulnérabilité du système aquifère et des résultats de l'analyse des risques de dégradation de la qualité des eaux, effectuée au préalable.

Il convient de rappeler que la loi de santé publique du 9 août 2004 soutient l'application des mesures de protection dans le périmètre de protection rapprochée en facilitant la maîtrise foncière et en permettant à la collectivité propriétaire d'y prescrire des modes d'utilisation des sols adaptés.

Les prescriptions dans les périmètres de protection en milieu karstique sont pour la plupart similaires à celles habituellement proposées pour les autres types d'aquifères. On peut donc se référer aux documents de référence non spécifiques au karst pour consulter les types de mesures envisageables.

La circulaire du 24 juillet 1990 relative à la mise en place des périmètres de protection des points de prélèvements d'eau destinée à la consommation humaine fournit les principaux types de mesures pouvant être mis en œuvre dans les différents périmètres. D'autres documents donnent des listes de propositions de prescriptions, notamment, pour les plus récents :

- le guide du Ministère en charge de la Santé « Protection des captages d'eau : Acteurs et stratégies » de mai 2008 ;
- le guide pour la protection des captages publics dans les départements du Gard et de l'Hérault, DDASS 30 et 34, BRGM, octobre 2007 ; on souligne l'intérêt et l'exhaustivité des listes de mesures proposées dans ce document, qui sont classées par enjeu et par types d'activités concernées ;
- un document réalisé par le BRGM et l'Office national des Forêts : « Analyse de bonnes pratiques visant à la protection des captages d'eau souterraine destinée à la consommation humaine », 2008.

Les exemples de mesures de protection fournis par ces documents ne sont pas spécifiques au karst, sauf pour le « guide Gard – Hérault », qui indique certaines prescriptions le concernant.

Les prescriptions dans les périmètres de protection rapprochée ne doivent pas simplement reprendre celles de la réglementation générale. Dans la mesure où le périmètre de protection rapprochée est réduit aux zones hautement vulnérables, et donc à des surfaces relativement réduites, des prescriptions strictes peuvent alors être proposées.

La nature et le niveau des prescriptions doivent être définis au cas par cas, en fonction des risques de dégradation de la qualité des eaux identifiés au préalable.



Périmètre de protection immédiate du captage du Blagour de Chasteaux (Corrèze) - Photo Françoise MUET



Captage du Blagour de Souillac (Lot) - Photo GINGER

– Par exemple, pour un captage de type A, le débit est relativement faible et donc la capacité de dilution des pollutions est réduite ; les mesures pourront alors concerner les principaux foyers de pollution mais aussi ceux d'importance moindre ; cependant, la taille des zones à protéger étant réduite par rapport à un captage de type B, la faisabilité des mesures reste acceptable.

– Pour un captage de type B, le seuil au-delà duquel une pollution est susceptible d'affecter la qualité des eaux est plus élevé, à cause de l'effet de la dilution ; les espaces à protéger sont plus étendus, mais les mesures peuvent être plus sélectives.

Sont cités ci-après à titre indicatif les principaux types de prescriptions applicables dans le PPR d'un captage en karst.

- interdiction du transport de produits susceptibles d'engendrer des pollutions,
- interdiction de nouvelles carrières,
- étanchéification des fossés de drainage aux abords des infrastructures routières,
- aménagements de banquettes anti-déversement des véhicules (exemple de l'autoroute A20),
- autres dispositifs de prévention des pollutions accidentelles,
- interdiction des épandages de produits fertilisants ou phytosanitaires (en zone agricole, forestière ou aux abords des infrastructures) et du pacage des animaux,
- modification de l'occupation agricole des sols : reconversion des cultures en prairies, mise en jachères, couverture des sols agricoles,
- conservation des zones boisées,
- limitation de certaines activités forestières,
- végétalisation des berges des cours d'eau et des abords des zones de pertes ou d'infiltration directe,
- acquisition par la collectivité des zones de pertes ou d'infiltration directe,
- pour l'assainissement des collectivités, amélioration de la collecte des eaux usées, fixation de niveaux de rejets exigeants, compatibles avec la protection du captage, ou déplacement du point de rejet hors des zones les plus vulnérables,
- collecte et traitement des eaux pluviales urbaines et routières, voire déplacement des points de rejet à l'aval du périmètre,
- pour l'assainissement autonome : dispositif de traitement sans rejet dans le sous-sol,
- pour les activités industrielles : révision de l'arrêté d'autorisation pour mise en conformité avec les contraintes particulières liées au captage,
- interdiction de toute construction nouvelle.

Exemples de prescriptions mises en œuvre pour la protection de captages en karst

Captages de Besançon

- Interdiction d'aménagement des points bas en amont des points d'infiltration.
- Acquisition des berges des cours d'eau en amont des pertes pour limiter les intrants.
- Fauchage en amont des pertes pour limiter les entrées de matières organiques.
- Nettoyage des gouffres.
- Mise en place de capteurs de pressions dans les dolines qui s'inondent pour donner l'alerte en cas d'arrivées d'eaux potentiellement turbides et/ou chargées en matière organique.
- Réalisation d'une étude visant à définir les modalités de gestion des pics au moment des vidanges des dolines en charge.

Lorsque certaines conditions sont réunies (maîtrise foncière, sols suffisamment profonds, bonne capacité de portance des sols), le boisement de tout ou partie du périmètre de protection rapprochée peut être prescrit ; il permet une occupation durable et maîtrisée de l'espace et évite de laisser le sol nu.

Les deux types de mesures spécifiques aux milieux karstiques les plus fréquemment prescrites sont :

1) Les aménagements des pertes et points d'infiltration rapide :

- Il peut être préconisé une obturation totale ou partielle des zones de pertes ou d'infiltration directe. Ces obturations peuvent être proposées lorsque les pertes peuvent être alimentées par des eaux potentiellement contaminées drainant ou lessivant des zones urbanisées, ou aménagées. Par contre, il est nécessaire d'évaluer l'impact potentiel sur l'alimentation de l'aquifère karstique de telles obturations. A noter que les zones de pertes, dont la relation directe avec le captage a été prouvée et avec des temps de transfert réduits, peuvent faire l'objet de prescriptions spécifiques, voire constituer un périmètre de protection immédiate (PPI) satellite. Dans ce cas, ces espaces limités devront, dans la mesure du possible, être acquis en pleine propriété par la collectivité maître d'ouvrage.
- Des aménagements de protection des points d'infiltration autres que les obturations peuvent être proposés, tels que des bandes enherbées ou des bassins tampon en amont des zones de pertes, afin de réduire la turbidité, particulièrement en période de crue, et aussi dans le but de limiter l'impact des pollutions diffuses, notamment d'origine agricole.

2) La réglementation des explorations spéléologiques,

sachant par ailleurs que les spéléologues sont des acteurs privilégiés qui peuvent témoigner de pollutions du milieu souterrain (cadavres d'animaux dans les avens, ...). Une coopération locale peut donc être préférable à une interdiction.

Département du Doubs

- Les pertes actives et dolines sont intégrées dans le périmètre de protection immédiate.
- Il est interdit aux spéléologues d'y pénétrer sauf autorisation de la collectivité et avec un but scientifique de connaissance de la ressource en eau.
- La reconversion des cultures en prairies est imposée, avec indemnisation des agriculteurs, dans les zones les plus vulnérables des périmètres de protection.

Départements de l'Eure et de Seine Maritime

L'enherbement et l'aménagement de bassins tampon sont prescrits au niveau des bétaires (points d'infiltration rapide) ; des expérimentations sont menées pour tester la création de massifs filtrants en fond de bétaire.

Méthode PEIPSEK

Protocole d'Etudes d'Impact de la Pratique Spéléologique des Eaux Karstiques

Dans le cas de captage de sources à l'exutoire d'un système karstique ou par forage dans une rivière souterraine, il est parfois nécessaire de réglementer les visites spéléologiques de façon à préserver la qualité des eaux captées. Ces mesures de protection particulières sont souvent des interdictions stricts prononcés par précaution. Ces interdictions se matérialisent par des grilles ou des portes apposées à l'entrée des cavités ; les orifices étant eux même inclus dans un périmètre de protection immédiate satellite. Dans la pratique actuelle, certains interdictions paraissent trop stricts alors que d'autres sont pertinents.

Les spéléologues ont souvent beaucoup contribué à la connaissance des ressources captées à la fois par leurs explorations mais également par les documents topographiques du milieu souterrain qu'ils ont pu fournir. De ce fait, les interdictions de pratique de la spéléologie sont souvent mal vécues même si les spéléologues en comprennent bien les motivations.

Dans ce contexte, le Laboratoire EDYTEM (Environnement, DYnamique et TERRitoires de la Montagne), l'université de Savoie et la Fédération Française de Spéléologie ont mis au point un Protocole d'Etudes d'Impact de la Pratique Spéléologique des Eaux Karstiques (PEIPSEK) qui permet :

- de vérifier l'impact des explorations spéléologiques sur la qualité de l'eau captée,
- de définir, si un impact est vérifié, une réglementation de la pratique de la spéléo garantissant la pérennité de la ressource malgré la pratique de la spéléologie.

Cette méthode est basée sur une approche en 3 phases :

- Réalisation d'un état initial de la qualité, de la vulnérabilité et des risques de contamination à l'échelle de l'aire d'alimentation. Cet état initial doit s'appuyer sur les études préalables à l'établissement des périmètres de protection.

En outre, pour certains types d'activités ou de travaux, les mesures dans les périmètres de protection doivent être adaptées au contexte particulier des captages en milieu karstique :

– Affouillements, excavations, terrassements liés à la réalisation de constructions ou à la création d'axes de communication : interdiction ou réglementation selon la superficie des travaux, leur localisation, l'importance de l'épikarst et surtout de son éventuelle couverture



Rivière souterraine du Rupt du Puits (Meuse)
Photo Philippe CROCHET

- Phase d'expérimentation de terrain visant le suivi de paramètres guides pendant plusieurs explorations spéléologiques selon divers protocoles (nombre de participants, fréquence, activités souterraines...).
- Détermination de l'impact des explorations spéléologiques et définition de seuils acceptables ou de protocoles d'explorations garantissant l'absence d'impact.

La Fédération Française de Spéléologie s'engage à mettre en œuvre cette méthode à chaque fois que l'activité spéléologique (subaquatique ou non) pourrait être menacée par des interdictions liées aux périmètres de protection.

Des mesures complémentaires sont proposées comme le balisage des périmètres dans le domaine souterrain ou la fermeture garantissant l'impossibilité de rejet malveillants au niveau des points d'entrée dans le karst.

Réf : F.HOBLEA, J.Picollier : « Etude d'impact de la pratique spéléologique sur la qualité des eaux souterraines karstiques captées – Mise au point d'un protocole d'étude – Applications en Savoie (Système de la Doria) et dans le Sud-Vercors (système du Brudour) » – Rapport final 2007.

Rapport complet téléchargeable sur le site : <ftp://ftp2.ffspeleo.fr/ffspeleo/ces/scientifique/rapport-peipsek.pdf> ; résumé sur le site : <ftp://ftp2.ffspeleo.fr/ffspeleo/ces/scientifique/peipsek.pdf>

pédologique ou du degré de colmatage du lapiaz. Hormis d'éventuelles interdictions, notamment dans les secteurs les plus sensibles (épikarst très fracturé), il pourra être proposé que les remblaiements soient effectués avec des matériaux inertes issus du site. Dans le cadre des travaux routiers, l'utilisation de résidus de mâchefer d'usine d'incinération est à interdire. Il est nécessaire de préconiser que, lors d'éventuels travaux de terrassements ou d'affouillements, tout

aven, gouffre ou cavité susceptible de se prolonger en profondeur, soit systématiquement comblé (sous réserve de ne pas modifier les écoulements des eaux), éventuellement sous contrôle d'un hydrogéologue, de manière soignée et par du béton de ciment, afin d'éviter le transfert rapide de la surface vers la profondeur.

- Excavations liées à l'exploitation de carrières et mines : interdiction, sauf lorsque l'épikarst peut être en tout ou partie colmaté ou lorsque le niveau de l'eau en période de crue se situe à plus de 2 m en dessous de la cote minimale d'exploitation de la carrière. Pour ce type de prescriptions, il convient de se reporter au Schéma Départemental des Carrières.

- Infiltrations d'eaux pluviales de zones urbanisées ou d'axes de communication : hormis les évacuations diffuses, il peut être nécessaire de canaliser les eaux issues du ruissellement sur des zones intensément urbanisées à l'extérieur des périmètres de protection rapprochée ou de réaliser des aménagements spécifiques (bassins de décantation devant assurer la rétention des flottants, notamment les hydrocarbures, bassins d'évaporation) avec des caractéristiques qui dépendront des débits et donc de la superficie des impluviums, de la nature des zones drainées et des charges potentielles des effluents. En aucun cas, ces rejets ne pourront se faire directement et sans prétraitement dans des gouffres ou avens existants dans les limites du périmètre de protection rapprochée.



Goule Noire Massif du Vercors (Isère) - Photo Philippe CROCHET

Les collectivités doivent prendre en charge le suivi de la mise en œuvre des prescriptions dans les périmètres de protection. Elles peuvent se faire assister notamment par les Services d'Assistance Technique des départements (SAT) ou d'autres structures publiques ou privées remplissant les mêmes fonctions.

La question de la mise en œuvre effective et du suivi des prescriptions n'est pas spécifique aux procédures en karst, et n'a pas fait l'objet d'une réflexion particulière dans les travaux préparatoires à ce guide.

Force est de constater que ni l'obligation réglementaire, ni les mesures d'incitation instaurées par les Agences de l'eau n'ont une efficacité suffisante.

Les moyens des services de l'Etat ne permettent pas d'envisager un renforcement du contrôle de la mise en œuvre des mesures de protection.

Des relais territoriaux sont donc à mobiliser : les départements, au travers par exemple des SAT, peuvent développer des compétences dans ce domaine, en particulier auprès des petites collectivités.

Il peut également être envisagé de s'appuyer sur les SPANC pour effectuer le suivi des prescriptions en matière d'assainissement autonome.

Dans le département de Seine Maritime, des fédérations de collectivités d'eau (regroupement des syndicats AEP et des entreprises exploitantes) prennent en charge la mise en place et le suivi des prescriptions liées aux périmètres de protection.

La stratégie de protection intègre les solutions techniques au niveau du captage ou du système d'adduction, pour sécuriser la qualité, et notamment gérer les pics de turbidité : amélioration du dispositif de traitement, recours à des ressources de substitution, installation d'un système d'alerte.

Le Ministère en charge de la Santé (Cf. document « Protection des captages d'eau : Acteurs et stratégies », mai 2008) préconise le recours à des moyens de sécurisation pour tous les captages en karst, en complément des mesures de protection dans les périmètres.

En effet, la vulnérabilité souvent élevée des aquifères karstiques, la variabilité de la qualité des eaux, et par ailleurs l'instauration depuis 2008 d'une norme plus sévère sur la turbidité, rendent nécessaires l'installation d'un système d'alerte pour la turbidité, ainsi que la mise en place d'un traitement et d'une ressource de substitution.

Les pics de pollution interviennent le plus souvent en période de hautes eaux et plus particulièrement en crue. Cependant, des pollutions accidentelles peuvent aussi intervenir en période estivale, notamment du fait des activités touristiques et de leurs impacts sur les systèmes d'assainissement collectif (surcharges des stations d'épuration). Ainsi les dispositifs de sécurisation doivent être opérationnels même en dehors des périodes de crue.

■ ■ ■ Dispositifs de traitement

Les principaux types de traitement pouvant être mis en œuvre sur les captages en milieu karstique sont les suivants :

- filtration (sur sable, sur membrane) pour atteindre les normes de qualité de turbidité et de bactériologie,
- chloration et ozonation pour atteindre les normes de bactériologie,
- lampes UV après filtration, dans le cas des petites unités de production pour garantir la qualité bactériologique,
- usine de dénitrification biologique dans le cas d'eaux fortement contaminées par les nitrates,
- oxydation en tête suivie d'un filtre à charbon actif pour les pollutions accidentelles par hydrocarbures.

Les techniques à utiliser pour les captages en karst sont similaires à celles des prises d'eau de surface, avec toutefois des dispositifs plus simples dans la mesure où, le plus souvent, il n'y a pas à traiter une contamination de fond par les matières organiques.

Les systèmes de désinfection sont systématiquement mis en place. Pour les captages importants, depuis l'instauration de normes plus basses en turbidité, les simples dispositifs de désinfection ont tendance à être remplacés par des systèmes d'ultra-filtration (ou nano-filtration).

■ ■ ■ Systèmes d'alerte

Un système d'alerte doit permettre le déclenchement de l'arrêt d'une unité de pompage en cas de pollution, avant que les eaux contaminées n'atteignent le réseau de distribution.

Hormis les systèmes de mesure en continu de la turbidité, très utilisés dans les captages en karst, les stations d'alerte, jusqu'alors peu fréquentes, doivent y être développées. Pour les captages de petite taille, les alertes sur la turbidité permettent déjà de bien sécuriser la ressource, les pics de turbidité constituant le principal risque de non conformité.

Le choix du type de station doit être adapté aux risques et aux moyens technico-économiques de la collectivité. En particulier, il est nécessaire de s'assurer que la collectivité (ou la société fermière) sera en mesure de maintenir un bon niveau opérationnel du système d'alerte. L'évolution des appareillages avec télésurveillance via l'internet permet désormais d'atteindre un bon degré de fiabilité à des coûts d'investissement et de maintenance accessibles aux petites collectivités.

Les systèmes d'alerte peuvent être utilisés de 2 façons :

- Dans le cas de systèmes karstiques binaires pour lesquels la partie non karstique est importante, il est possible de mettre en place une station d'alerte analytique en amont de points de perte (cas du captage de la ville d'Orléans) ; le dispositif permet de prévenir de l'arrivée d'une contamination et de gérer la crise selon un plan d'alerte pré-établi ; les systèmes d'alerte sont alors basés sur le suivi de paramètres physico-chimiques.
- Plus classiquement, le dispositif d'alerte est installé au niveau du captage, pour provoquer l'arrêt immédiat des installations en cas de contamination ; ces dispositifs sont alors plutôt basés sur le suivi d'indicateurs biologiques (cas de la source du Lez à Montpellier).

Les systèmes analytiques peuvent être coûteux et nécessiter des installations conséquentes avec pompage, appareillage d'analyse, système de transmission des résultats ; de plus, la maintenance du dispositif demande une qualification spécifique des intervenants. Toutefois, une nouvelle génération de stations d'alerte limite ces inconvénients. Il s'agit de dispositifs basés sur l'analyse spectrophotométrique UV d'une eau issue d'un concentrateur. Le coût d'une telle station est de l'ordre de 50 000 € et sa maintenance est réduite (5000 à 10 000 € par an). Ce type de stations permet d'analyser en même temps les pesticides, les hydrocarbures, les micropolluants synthétiques et les indicateurs de pollution domestique.

En amont d'Orléans, des infiltrations dans le lit de la Loire alimentent l'aquifère karstique capté 20 km plus bas par l'agglomération d'Orléans ; un système d'alerte a été mis en place au droit de la zone d'infiltration, avec mesures en continu et télétransmission à l'usine de

potabilisation. Par ailleurs, des réserves d'eaux traitées ont été constituées sur le site de l'usine ; au total, le stockage s'élève à plus de 2 fois la consommation journalière. Des forages de secours dans un autre aquifère peuvent également être sollicités.

Les systèmes biologiques sont basés sur l'altération des caractéristiques d'organismes vivants en fonction de la qualité de l'eau :

- vie ou mort de poissons sensibles avec capteurs en fond de cage (truites),
- modification de caractéristiques ondulatoires d'un ensemble de poissons (truitelles),
- modification de la fréquence d'émission électrique d'un poisson tropical,
- modification des caractéristiques vitales de lamelli-branches (moules, huîtres),
- modification de l'émission lumineuse de bactéries luminescentes.

Un avantage commun à tous les types de station d'alerte biologique est leur coût relativement faible. Parmi les inconvénients à relever :

- l'apparition de fausses alertes,
- pour les stations biologiques basées sur un effet létal, l'obligation d'avoir un élevage pour changer rapidement les animaux morts après une pollution.

Les systèmes d'alerte biologiques deviennent néanmoins de plus en plus fiables ; ils permettent déjà la sécurisation d'un bon nombre de prises d'eau de surface. La mise en place de ces systèmes sur les captages en milieu karstique est à développer, en réservant les dispositifs les plus rustiques aux petits captages (type A) et les plus sophistiqués aux ouvrages plus importants (type B).

■ Un système d'alerte en cas de pollution accidentelle a été mis en place le long de l'autoroute A75, dans le périmètre de protection de la source de l'Esperelle (Causse du Larzac, département de l'Aveyron).

■ Un système d'alerte basé sur le suivi d'indicateurs biologiques (surveillance par sonde de la nage d'une population de vairons placée dans un aquarium), pouvant déclencher l'arrêt immédiat du pompage en cas de contamination, a été installé en 2006 sur le captage de la source du Lez, qui alimente Montpellier et son agglomération.

L'installation d'un système d'alerte suppose que la collectivité dispose :

- a minima de réserves permettant l'approvisionnement en eau pendant la durée de la crise (pollution accidentelle, pic de turbidité suite à une crue). La durée de cette crise est obtenue grâce à des traçages de simulation ;
- ou d'une ressource alternative ou de secours : autres captages exploitant une ressource différente, interconnexion avec un réseau d'adduction voisin.

Définition d'un programme d'actions dans l'aire d'alimentation du captage

Les situations pour lesquelles il est recommandé d'engager une démarche de protection à l'échelle de l'aire d'alimentation du captage ont été exposées au chapitre "Evaluation initiale de la qualité de la ressource". Il s'agit :

- Des cas où il existe une « tendance significative et durable à la hausse » des concentrations en nitrates et pesticides.
- Des cas où les concentrations constatées sont supérieures ou égales aux seuils de qualité dégradée, de façon à répondre à l'objectif de non-dégradation de la qualité des ressources.

Les modalités d'articulation avec la procédure réglementaire de mise en place des périmètres de protection ont également été décrites au chapitre "Evaluation initiale de la qualité de la ressource".

L'article R.114-6 du Code rural et la circulaire du 30 mai 2008 de mise en application du décret du 14 mai 2007 relatif à certaines zones soumises à contraintes environnementales définissent les conditions de mise en œuvre des programmes d'actions dans les zones de protection des AAC et les types d'actions à mettre en place (annexe D de la circulaire).

R. 114-6 du Code rural

Le programme d'action est compatible avec les dispositions du schéma directeur d'aménagement et de gestion de l'eau et, selon le cas, se conforme ou tient compte des mesures réglementaires ou contractuelles mises en œuvre dans le domaine de l'eau et des milieux aquatiques sur la zone.

Il mentionne, le cas échéant, les aménagements dont la réalisation est envisagée dans la zone sur le fondement de l'article L. 211-7 du code de l'environnement en précisant leurs maîtres d'ouvrages, le calendrier et les modalités de leur réalisation.

Ce programme définit les mesures à promouvoir par les propriétaires et les exploitants, parmi les actions suivantes :

- 1° Couverture végétale du sol, permanente ou temporaire ;
- 2° Travail du sol, gestion des résidus de culture, apports de matière organique favorisant l'infiltration de l'eau et limitant le ruissellement ;
- 3° Gestion des intrants, notamment des fertilisants, des produits phytosanitaires et de l'eau d'irrigation ;
- 4° Diversification des cultures par assolement et rotations culturales ;
- 5° Maintien ou création de haies, talus, murets, fossés d'infiltration et aménagements ralentissant ou déviant l'écoulement des eaux ;
- 6° Restauration ou entretien d'un couvert végétal spécifique ;
- 7° Restauration ou entretien de mares, plans d'eau ou zones humides.

Le programme d'action détermine les objectifs à atteindre selon le type d'action pour chacune des parties de la zone concernées, en les quantifiant dans toute la mesure du possible, et les délais correspondants.

Il présente les moyens prévus pour atteindre ces objectifs et indique notamment les aides publiques dont certaines mesures peuvent bénéficier ainsi que leurs conditions et modalités d'attribution.

Il expose les effets escomptés sur le milieu et précise les indicateurs quantitatifs qui permettront de les évaluer.

Il comprend une évaluation sommaire de l'impact technique et financier des mesures envisagées sur les propriétaires et exploitants concernés. »

L'annexe D2 de la circulaire du 30 mai 2008 est consacrée à la question de la Maîtrise d'ouvrage :

« Le programme d'action vise une action collective et coordonnée sur un territoire. La réussite de sa mise en œuvre repose donc sur une implication forte des collectivités territoriales concernées et sur l'existence d'une animation spécifique. »

Il conviendra donc, dans la mesure du possible, d'identifier un maître d'ouvrage collectif, et ce le plus en amont possible de la procédure, afin qu'il puisse s'impliquer dans les étapes de délimitation de la zone et d'élaboration du programme d'action et jouer pleinement son rôle d'interlocuteur privilégié avec les services de l'Etat et l'ensemble des acteurs territoriaux concernés (structures de gestion locale, Chambres d'agriculture, associations...).

La conduite de l'animation du projet pourra être assumée par le maître d'ouvrage ou confiée à un prestataire externe (chambre consulaire, association...).

La répartition des rôles dans la mise en œuvre du projet, ainsi que les conditions - notamment financières - de sa réalisation, pourront être précisées, en tant que de besoin, dans le cadre de conventions entre les différents partenaires impliqués.

Pour les aspects relatifs au financement, les crédits mobilisables sont notamment ceux du Programme de Développement Rural Hexagonal (PDRH), décliné dans des documents régionaux de Développement Rural. Pour exemple, en Languedoc-Roussillon, trois types de dispositifs intègrent des actions potentiellement intéressantes pour les programmes d'actions en ZPAAC : Le Plan végétal pour l'Environnement, la conversion à l'agriculture biologique et les MAE territorialisées DCE.

CARTOGRAPHIE DE LA VULNÉRABILITÉ PAPRIKA

Ressource

Mesures citées à l'article R.114-6 du code rural	Exemples (non exhaustifs)
Couverture végétale du sol	- Couverture végétale du sol permanente (sous cultures pérennes) ou périodique (pendant les périodes présentant des risques de ruissellement ou de lessivage). - Maintien ou extension de prairies. - Maintien ou extension de surfaces en herbe, sur une largeur déterminée, en bordure de cours d'eau ou de fossés ainsi qu'en fond de thalweg ou sur les versants.
Pratiques favorisant l'infiltration de l'eau et limitant le ruissellement	- Façons de travailler le sol limitant au minimum les écoulements dans le sens de la pente. - Apports de matière organique améliorant la structure des sols.
Gestion des intrants	- Réduction ou interdiction des intrants azotés ou phosphorés - Réduction du nombre de doses homologuées ou absence complète de traitements phytosanitaires. - Ajustement de la pression de pâturage ou absence de pâturage, pendant certaines périodes sur prairies. - Réduction des volumes d'eau d'irrigation ou interdiction de l'irrigation. - Mise en œuvre de systèmes de production économes en intrants - Conversion à l'agriculture biologique
Diversification de cultures	- Définition d'un nombre minimal de cultures dans une rotation. - Limitation de la surface occupée par une ou plusieurs cultures majoritaires dans l'assolement.
Gestion des éléments fixes du paysage	- Maintien de haies, talus, fossés ou murets. - Plantation de haies, création de fossés d'infiltration, mise en place d'aménagements destinés à ralentir ou à dévier l'écoulement des eaux
Gestion des éléments fixes du paysage	- Maintien de haies, talus, fossés ou murets. - Plantation de haies, création de fossés d'infiltration, mise en place d'aménagements destinés à ralentir ou à dévier l'écoulement des eaux
Restauration ou entretien d'un couvert végétal spécifique	- Restauration ou mise en place de zones de régulation écologique
Restauration ou entretien de mares, bordures de cours d'eau ou plans d'eau ou autres zones humides	- Restauration des connexions et du fonctionnement hydrauliques - Entretien léger et régulier des mares. - Pratiques de fauche ou de pâturage et itinéraire cultural compatibles avec la diversité des espèces et habitats. - Entretien et restauration de la ripisylve. - Actions collectives de lutte contre les espèces envahissantes. - Débroussaillage ou déboisement de zones humides - Gestion ou aménagement d'un système de drainage

D'autres mesures que celles proposées par la circulaire peuvent être évoquées, notamment :

- les actions de conseil technique aux agriculteurs, qui sont tout à fait stratégiques pour la réussite des programmes ;
- l'achat par la collectivité des zones les plus exposées et les plus vulnérables : points d'infiltration et leur voisinage, de façon à garantir de façon pérenne des pratiques culturales adéquates, grâce à un bail environnemental.

Dans le cas où la ZPAAC est couverte par un SAGE, des possibilités d'actions intéressantes sont offertes, les prescriptions visant la protection de la ressource pouvant être inscrites dans le PAGD ou le règlement du SAGE.

Les Contrats de rivière ou de nappe peuvent aussi constituer un contexte favorable à l'engagement de programmes d'actions dans les AAC.

La circulaire du 30 mai 2008 dans son annexe E4 traite des relations entre zones de protection des aires d'ali-

mentation de captages et périmètres de protection de captages.

Il y est rappelé que les périmètres de protection au sens du code de la santé ne sont pas adaptés pour lutter contre la pollution diffuse. En revanche, lorsque les deux procédures sont menées parallèlement, il doit exister une cohérence dans la teneur des actions à mener entre les périmètres de protection et les zones de protection des aires d'alimentation.

Ainsi il est demandé de respecter quelques prescriptions pour assurer la cohérence entre les divers outils de politique publique. En particulier :

- la zone de protection d'une aire d'alimentation de captages doit englober les périmètres de protection rapprochée pour ces captages ;
- les mesures prises dans le cadre des zones de protection des aires d'alimentation doivent être moins contraignantes que celles prises dans les périmètres de protection rapprochée et au contraire plus contraignantes dans les périmètres de protection éloignée.

Dans le bassin Seine-Normandie, des contrats territoriaux portés par des syndicats d'eau potable ou des EPCI, en partenariat avec l'Agence de l'eau Seine-Normandie, les départements, les Chambres d'Agriculture et des Métiers, permettent notamment la réalisation de programme d'actions prioritaires sur des bassins d'alimentation de captages.

Par exemple, le Contrat territorial du Roumois, établi sur un grand territoire (78 communes) qui intègre les bassins d'alimentation de plusieurs captages dans la nappe de la craie, dont celui des Varras, s'inscrit dans une démarche globale de préservation des ressources en eau et vise notamment l'amélioration de la qualité des eaux souterraines.



*Rivière souterraine : l'évent de Gornis drainant une partie des eaux du Causse de Blandas (Gard)
Photo Phippe CROCHET*

Exemples Captages de Type A

Syndicat Intercommunal des Eaux
des Moises (SIEM)

Le SIEM alimente environ 20 000 personnes sur la rive sud du Lac Léman. Les eaux distribuées proviennent d'une dizaine de captages situés sur les versants du mont Forchat (Massif du Chablais). L'aquifère capté est constitué par des calcaires du Lias karstifiés.

Le SIEM a une démarche très volontaire qui a pour objectif de promouvoir la prévention des pollutions plutôt que leur traitement. Cette volonté politique est rendue possible par un contexte hydrogéologique favorable constitué de captages de type A dans un milieu karstique certainement assez peu organisé.

Outre la mise en place des périmètres de protection, le SIEM, en collaboration avec les communes de Draillant, Habère-Poche, Lullin et Orcier a un projet de création d'un espace protégé : un Parc Naturel Hydrogéologique (PNH).

Le projet est géré par un Comité de pilotage qui veille au bon déroulement de la procédure. Il est composé de 3 représentants des collectivités locales adhérentes (SIEM, Draillant, Habère-Poche, Lullin et Orcier) et de représentants de l'Agence de l'eau, de la Région Rhône-Alpes et du Conseil Général de la Haute-Savoie.

En appui technique au projet, un groupe de travail a été créé. Composé d'élus, d'experts scientifiques, de représentants de la Chambre d'Agriculture, de la forêt privée et publique (CRPF et ONF), des services de l'Etat (DDASS, DDAF), des collectivités locales (SYMASOL, CCCL, Alpes du Léman, Syndicat d'Initiative du Val d'Hermone, ...), il a pour mission de définir les grandes orientations du projet en proposant des pistes d'actions et de recherche.

Actuellement quatre thématiques de recherches complémentaires ont été ainsi validées : gestion de la ressource en eau, gestion du pastoralisme, gestion forestière et gestion du tourisme.

Le projet repose sur une méthode qui s'articule en 3 étapes :

- Un état des lieux et un diagnostic de la situation précisant les problèmes observés, leurs origines et leurs conséquences sur la qualité des eaux exploitées.
- La définition d'objectifs de protection, retenus en fonction du diagnostic précédent.
- Un programme d'actions, retenu par le Maître d'Ouvrage, précisant les éléments techniques, l'impact attendu, les coûts d'investissement et de fonctionnement, les délais de réalisation, les actions à entreprendre pour évaluer l'efficacité des actions.

L'état des lieux aboutissant au diagnostic consiste à identifier et à caractériser l'aquifère karstique capté à l'aide de mesures en continu des débits et des paramètres hydrogéochimiques ainsi que d'analyses bactériologiques mensuelles. Les premiers résultats montrent une certaine vulnérabilité des captages aux pollutions bactériologiques. Plusieurs études originales sont en cours pour trouver l'origine de ces pollutions bactériologiques et les traiter.

Parallèlement à ces démarches une étude réalisée dans un cadre européen (programmes INTERREG) et portée par l'ONF a pour objectif d'évaluer les impacts des méthodes d'exploitation forestières et agricoles sur la qualité des eaux captées.

Annexes

1. Liste des membres du Comité de pilotage de l'étude

Laurent CADILHAC

Agence de l'eau Rhône-Méditerranée et Corse
Unité Méthodes et prospective / eaux souterraines
2-4, allée de Lodz
69363 LYON Cédex 07
Tél. 04.72.71.26.69 Fax. 04.72.71.26.03
mail : laurent.cadilhac@eaurmc.fr

Nathalie DÖRFLIGER

BRGM
Responsable de l'unité EAU/RMD
(Evaluation de la ressource, Milieux Discontinus)
1039, rue de Pinville
34000 MONTPELLIER
04 67 15 79 65 (direct) - 90 (standard)
mail : n.dorfliger@brgm.fr

Elise DUGLEUX

Chargée d'études Eau Potable
Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée et Corse
DIS/REPD
2-4, allée de Lodz
69363 LYON Cédex 07
tél 04.72.71.27.71 Fax 04.72.71.26.09
mail : elise.dugleux@eaurmc.fr

José GREVELLEC

Retraité du Conseil Général de l'Hérault
Direction de l'Eau et des Milieux Aquatiques
Hôtel du Département
1000 rue Alco
34087 MONTPELLIER Cedex
mail : jose.grevellec@orange.fr

David HUMBERT

Chargé d'opérations Ressource - Eau Potable
Agence de l'eau Seine-Normandie,
Direction de Secteur Seine Aval
Hangar C – Espace des Marégraphes
BP 1174 - 76176 ROUEN CEDEX 1
Tel : 02.35.63.77.86
mail : humbert.david@aesn.fr

Evelyne LACOMBE

Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse
Immeuble le Mondial
219, rue Le Titien – CS 59549
34961 MONTPELLIER CEDEX 2
Tel bureau: 04-67-13-36-20
mail : evelyne.lacombe@eaurmc.fr

Pierre MARCHET

Expert Eaux Souterraines
Agence de l'Eau Adour-Garonne
Département Planification, Prospective et Evaluation
90 Rue du Férétra
31078 TOULOUSE CEDEX 4
Tel. : 05-61-36-37-80
mail : pierre.marchet@eau-adour-garonne.fr

Gérard NICLOUD

Retraité EDYTEM/CISM Université de Savoie
campus scientifique UMR 5204
73376 LE BOURGET DU LAC cedex
Tél 04 79 75 87 63
Fax 04 79 75 87 77
mail : gerard.nicoud@univ-savoie.fr
ou gnicoud@live.fr

André TARRISSE

Retraité DDEA du LOT
Service de l'Équipement Rural et de l'Hydraulique
120 Rue des Carmes
BP 274
46005 CAHORS CEDEX
tél : 05 65 20 43 60 Fax : 05 65 30 32 11
mail : andre.tarrisse@orange.fr

Gaëlle CHATEAU

Ministère de la santé et des solidarités
Direction Générale de la Santé - Bureau des Eaux
14, avenue Duquesne 75350 PARIS 07 SP
Protection de la ressource en eau-Assainissement
Tel : 01-40-56-69-18/50-85 (sec.)/50.56 (fax)
mail: gaelle.chateau@sante.gouv.fr

Aude MARTIN

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement
Durable et de l'Aménagement du Territoire
Direction de l'Eau et de la Biodiversité, Bureau de la
Protection des Ressources en Eau et de l'Agriculture
MEEDDAT, DEB/BPREA
20 avenue de Ségur
75302 PARIS 07 SP
Tél +33 (0) 1.42.19.12.19
mail : aude.martin@developpement-durable.gouv.fr

Sandrine AGUT

Chargée de mission eau potable
Agence de l'Eau Adour-Garonne
Département Collectivités
90 Rue du Férétra
31078 TOULOUSE CEDEX 4
Tel. : 05-61-36-37-77
mail : sandrine.agut@eau-adour-garonne.fr

Agnès CHEVREL

Chargée d'études eau potable
Agence de l'Eau Adour-Garonne
Département Collectivités
90 Rue du Férétra
31078 TOULOUSE CEDEX 4
Tel. : 05-61-36-37-41
mail : agnes.chevrel@eau-adour-garonne.fr

2. Liste des acteurs ayant contribué à la consolidation des préconisations

Nom	Catégorie	Mode	Fonction et organisme
Franck PINOT	AEAG	Téléphone	Chargé d'affaire Agence de l'eau AG; délégation de RODEZ
Frédérique PERREAU	AERMC	Tél.	AERMC - chargée d'intervention à la Délégation de Besançon
Stéphane RENIE	BE	Rencontre	Hydro Invest - Hydrogéologue travaille sur la source de la Touvre
Christian MANGAN	BE	Tél.	Hydrogéologue et Géologue Indépendant
Philippe CAILBAULT et Delphine MAZEAU	Coll.	Rencontre	COMAGA, Chef de service de l'assainissement et de l'eau potable
Manon ZAKEOSSIAN	Coll.	Tél.	Responsable protection de la ressource - EAU DE PARIS
Eric HERBET	Coll.	Tél.	Directeur du Pole Eau de l'agglomération de Rouen
Nicolas WILHELM	Coll.	Tél.	Directeur technique du Syndicat des eaux des Moises
Christine LAYMAJOUX; Aurélie LALLEMAND; Jérôme COLLIE	Coll.	Tél.	CG 82 - Service Environnement
Etienne CHOLIN	Coll.	Tél.	Régie des eaux de Chambéry
Arnaud VESTIER	Coll.	Tél.	Ville de Montpellier - DGU - Service des eaux de Montpellier
Dorine DURAND	Coll.	Tél.	Conseil Général du Doubs - Service de l'environnement suivi des procédures de protection des captages
David MOUROT	Coll.	Tél.	Ville de Besançon - Direction Eau et Assainissement
Severine SABOY; Aline ANTOINE	Coll.	Tél.	Ville de Reims - Chef du service Production d'eau de Reims Métropole et SIABAVE (Syndicat Intercommunal d'Aménagement du BV de la Vesle)
Catherine ROUSSEL; François GENTET; Nicole APPERRY	DDASS	Tél.	DDASS du Doubs
Catherine MOREL	DDASS	Tél.	DDASS de l'Hérault
Jean-Michel VEAUTE	DDASS	Tél.	DDASS du Gard
Laurent DANNEVILLE	HA	Tél.	Hydrogéologue Agréé Hydrogéologue au Parc Naturel Régional des Grands Causses
Jean-Claude ROUX	HA	Tél.	Retraité du BRGM - Hydrogéologue agréé
Jacques RICARD	HA	Tél.	Retraité du BRGM - Hydrogéologue agréé
Charles SAOUT	Minis.	Rencontre	Ministère de la santé - Direction Générale de la Santé - Bureau de la qualité des eaux - Protection de la ressource en eau - Assainissement
Claire GRISEZ	Minis.	Rencontre	Ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement durables Direction de l'Eau et de la Biodiversité, Bureau de la Protection des Ressources en Eau
Denis SALLES ; Didier BUSCA ; Aurélie ROUSSARIE	Univ	Rencontre	CERTOP Chercheur à l'université du Mirail
Eric GILLI	Univ	Tél.	Professeur Université de Paris VIII ancien hydrogéologue agréé ; Expert à l'AFSSET
Jacques MUDRY	Univ	Tél.	Professeur Université de Franche Comté ; Expert à l'AFSSA

REACTIONS ANTERIEURES AUX ENTRETIENS

David HUMBERT : retour de la présentation du bilan lors du colloque de Rouen	Divers	Mel	Colloque Rouen 4 et 5 mai 2006
Bruno DUCLUZAUX	BE	Mel	EKS Hydrogéologie
Frédéric LAPUYADE	Coll	Mel	Hydrogéologue SMEGREG (Gironde)
Cyril DELPORTE	Coll	Mel	Conseil Général du Lot
Olivier GRIERE	HA	Mel	Hydrogéologue agréé (Seine-et-Marne)
Jean-Paul FABRE	HA	Mel	Hydrogéologue agréé (Lot)
Michel PERRISSOL	HA	Mel	Hydrogéologue agréé (Hérault)
Laurent DANNEVILLE	HA	Mel	Hydrogéologue Agréé Hydrogéologue au Parc des Grands Causses

Catégories : BE = bureaux d'études; coll = collectivités; HA = hydrogéologue agréé; univ = universitaires

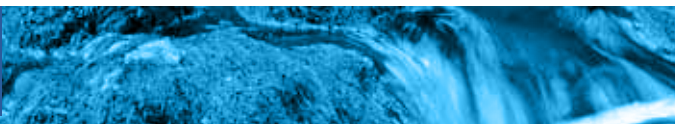
COMAGA : Communauté d'agglomération du Grand Angoulême

CERTOP : Centre d'Etude et de Recherche Travail Organisation Pouvoir

SMEGREG : Syndicat Mixte d'Etudes pour la Gestion de la Ressource en Eau du département de la Gironde

3. Trame de cahier des charges

Notice explicative



1. Une trame de cahier des charges : pour quel usage ?

En milieu karstique les études hydrogéologiques préalables à l'établissement des périmètres de protection sont souvent difficiles à mener à la fois par la complexité du milieu à étudier, son étendue et la technicité des méthodes à utiliser.

Les résultats de ces études se sont souvent avérés décevants, car sans cadre bien défini et devant la difficulté de l'exercice, ces études n'apportaient pas les éléments d'aide à la décision nécessaires à la mise en place de périmètres de protection.

L'objet de cette trame de cahier des charges n'est pas de faire un inventaire de toutes les études utilisables en milieu karstique, comme c'est souvent le cas dans les documents qui nous ont été fournis dans le cadre de ce travail, mais plutôt de rappeler que l'objectif est de protéger le captage contre les pollutions accidentelles et/ou les pollutions chroniques importantes en utilisant les méthodes et techniques les plus pertinentes pour arriver à ce résultat.

Bien évidemment il est plus facile de réaliser ces études préalables à la mise en place des périmètres de protection en milieu karstique lorsque des études à l'échelle de l'ensemble d'un aquifère régional ont déjà été menées soit dans le cadre universitaire, soit dans le cadre d'études portées par des collectivités territoriales (exemple du Parc Naturel Régional des Grands Causses).

Même en l'absence de ces études régionales, cette trame doit permettre d'adapter les études à chaque type de captage (Type A, Type B et Type C) et d'atteindre l'objectif qui consiste à mettre en place des périmètres et des mesures de protection adaptés au contexte local en limitant les pollutions d'origine accidentelle ou chronique, sans pour autant rentrer dans une démarche d'étude approfondie de l'aquifère.

Contrairement aux autres milieux souterrains et de façon similaire aux prises d'eau de surface, les périmètres de protection en milieu karstique ne sont pas les seuls moyens de sécuriser les eaux captées. Le périmètre de protection est un élément dans un ensemble de mesures de sécurisation au même titre que le traitement (souvent obligatoire à cause de la turbidité et de la bactériologie) ou les ressources de substitution (interconnexion ou bassin de stockage). Les périmètres de protection interviennent donc pour limiter le traitement et recourir le plus rarement possible aux solutions lourdes de sécurisation.

Ainsi les études hydrogéologiques préalables doivent permettre de cerner l'ensemble des éléments d'aide à la décision pour définir une stratégie de protection opérationnelle et cohérente.

Cette trame se veut être un outil permettant à une collectivité ou à son conseil d'établir un cahier des charges cohérent adapté à son captage en fonction de son type (A, B ou C) en préconisant l'utilisation de méthodes ou de techniques dont l'objectif unique est de fournir des éléments pertinents pour le choix d'une stratégie de protection.

Avant d'élaborer un cahier des charges, il est proposé un questionnaire préalable pour situer à quel niveau doivent commencer les études hydrogéologiques préalables. Pour aider à cette démarche, le questionnaire est présenté sous la forme d'un logigramme.

Cette démarche est cohérente avec celle décrite dans le guide technique N°3 de l'agence de l'eau Rhône-Méditerranée et Corse de 1999 (M.BAKALOWICZ - 1999) et permet de déterminer quelles sont les étapes nécessaires à traiter dans les études : identification, caractérisation, définition de la vulnérabilité, élaboration d'outils d'aide à la décision ; ces étapes sont déclinées suivant les différents types de captages.

2. Les questions qu'il faut se poser avant d'établir un cahier des charges

Ainsi les études doivent être phasées. Il est nécessaire de réaliser un cahier des charges pour chacune des phases. Le cahier des charges d'une phase doit être adapté en fonction des résultats obtenus lors de la phase précédente.

Une première phase très importante, qui à notre sens, doit être réalisée avant même l'établissement du cahier des charges est la collecte des documents, études, données de qualité, données hydrologiques ou hydro-géochimiques. Il existe souvent beaucoup d'éléments épars qui constituent au final, une fois centralisés, une base non négligeable pour la mise en place des périmètres.

Cette collecte, et l'éventuelle synthèse qui en résulte, peuvent-être réalisées par le maître d'ouvrage ou son conseil (AMO) mais également confiée à un bureau d'études dans le cas de systèmes aquifères importants et complexes.

Cette collecte et l'analyse qui en est faite permettent de répondre aux questions de base du logigramme et d'orienter le rédacteur dans l'établissement du cahier des charges.

3. Composition de la trame de cahier des charges

La trame du cahier des charges est scindée en 3 grandes phases :

- Phase 1 : Identification et caractérisation de l'aquifère capté,
- Phase 2 : Définition de la vulnérabilité et Evaluation du risque de pollution,
- Phase 3 : Elaboration des outils d'aide à la décision, rédaction du document destiné à l'hydrogéologue agréé et formalisation du choix de la collectivité.

Pour chaque phase, chacune des étapes définies dans le logigramme est détaillée par type de captage de façon à fournir les indications nécessaires à un bureau d'études pour réaliser les études. Ces étapes sont :

- Identification et caractérisation de l'aquifère capté,
- Acquisition de données hydrologiques et hydrogéochimiques de base,
 - Traitement des données hydrologiques et hydrogéochimiques,
 - Synthèse géologique et hydrogéologique avec ébauche de délimitation du système karstique,
 - Proposition de traçages de reconnaissance,

- Définition de la vulnérabilité et Evaluation du risque,
- Détermination de l'aire d'alimentation du captage,
 - Cartographie de la vulnérabilité,
 - Inventaire des activités potentiellement polluantes, hiérarchisation et cartographie des aléas,
 - Evaluation du risque
 - Description du captage, du système de traitement, d'alerte et de sécurisation,

Elaboration des outils d'aide à la décision

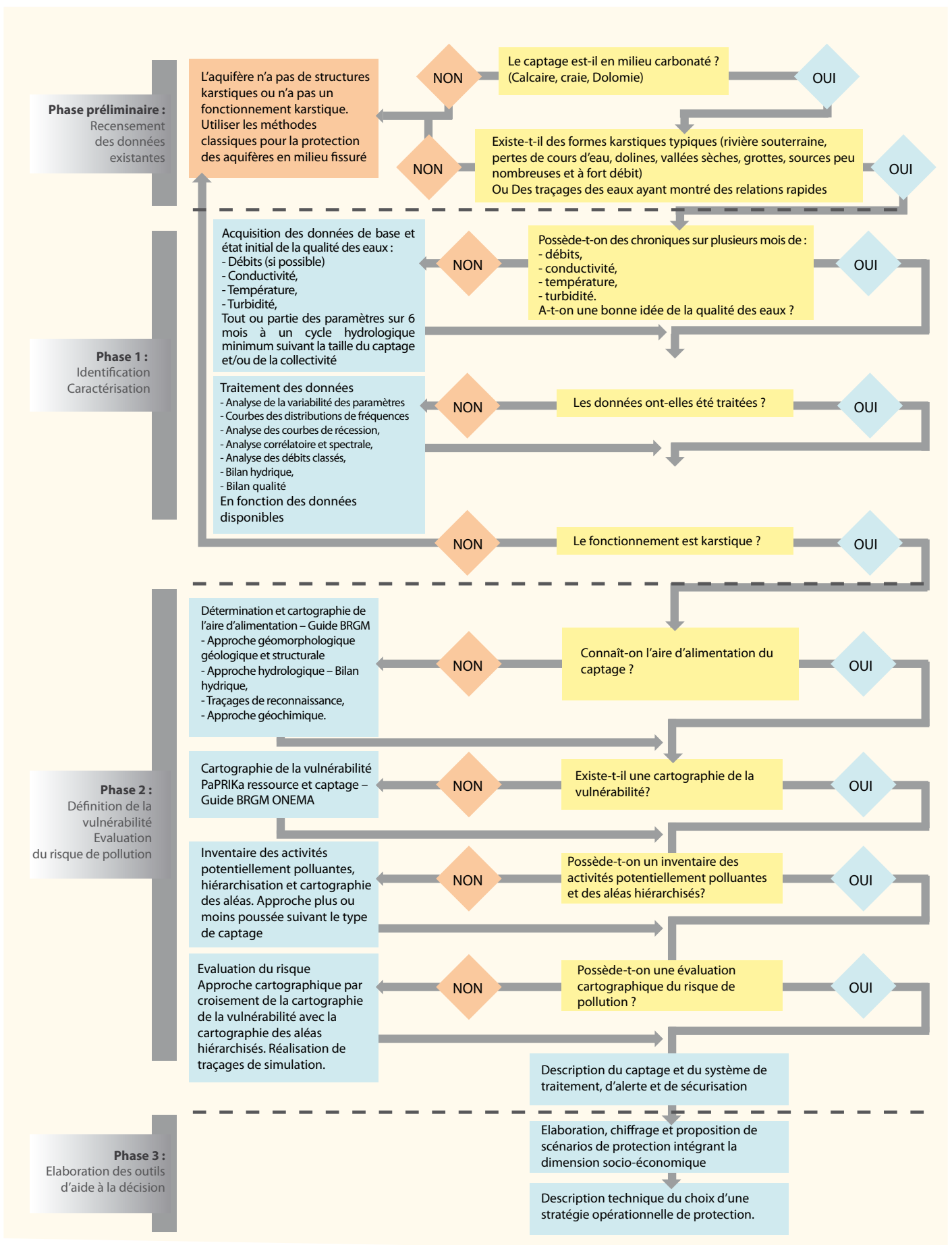
- Description du captage, du système de traitement, d'alerte et de sécurisation,
- Définition de la stratégie opérationnelle de protection intégrant la dimension socioéconomique,
- Mise en forme du rapport présentant le scénario choisi.

Toutefois, chaque contexte local étant particulier, il sera nécessaire d'adapter cette trame à chaque captage : par exemple au nombre d'exutoires captés, à la taille de la source, à la position géographique du captage,...

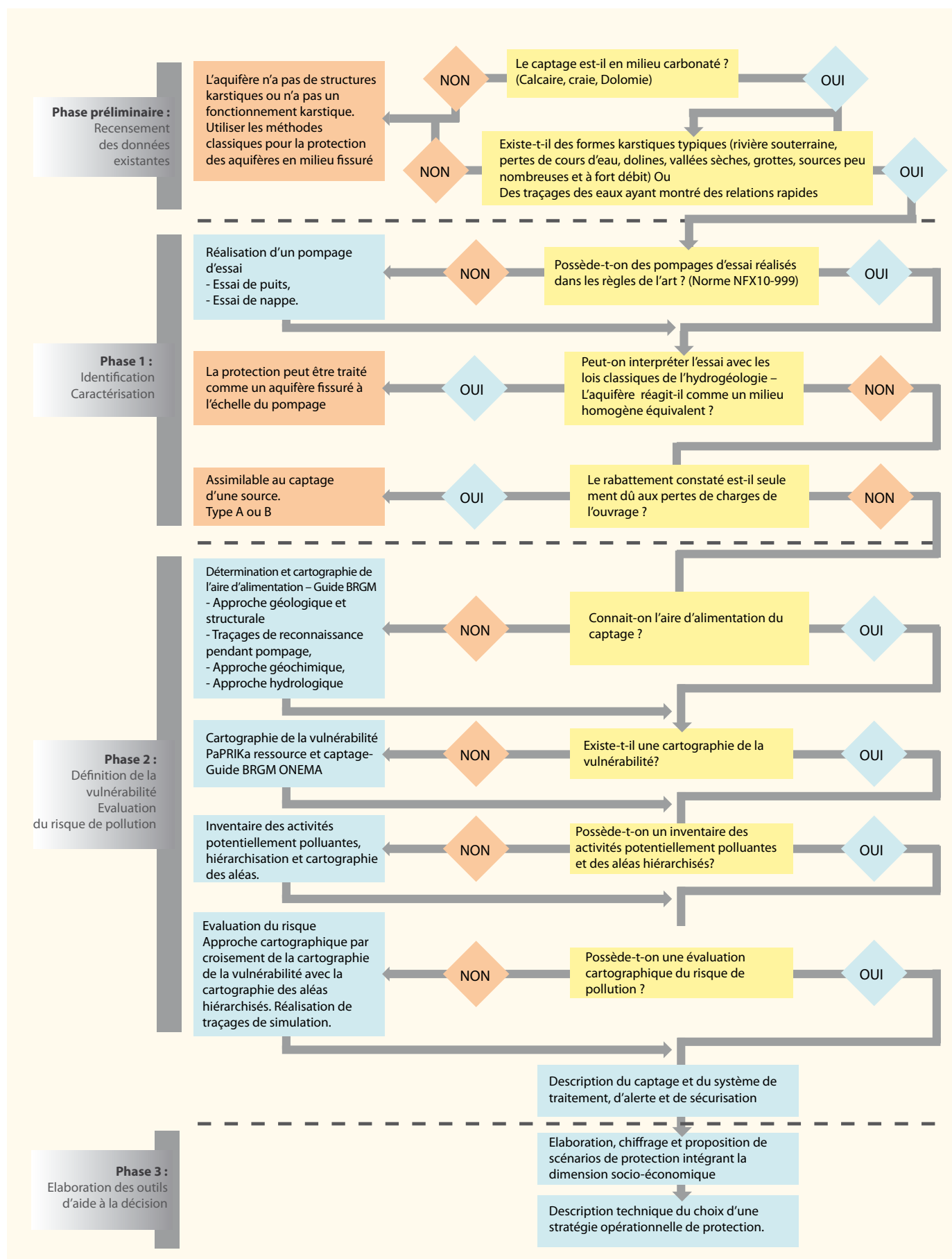
Les cahiers des charges type pour les captages de types A, B et C sont téléchargeables sur le site de l'Agence de l'eau Adour-Garonne.

Vous pouvez également télécharger ces cahiers des charges sur le site de l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée et Corse, dans la rubrique Brochures d'information/guides acteurs de l'eau/préserver l'eau destinée à la consommation humaine

CAPTAGE D'UNE SOURCE TYPE A OU TYPE B

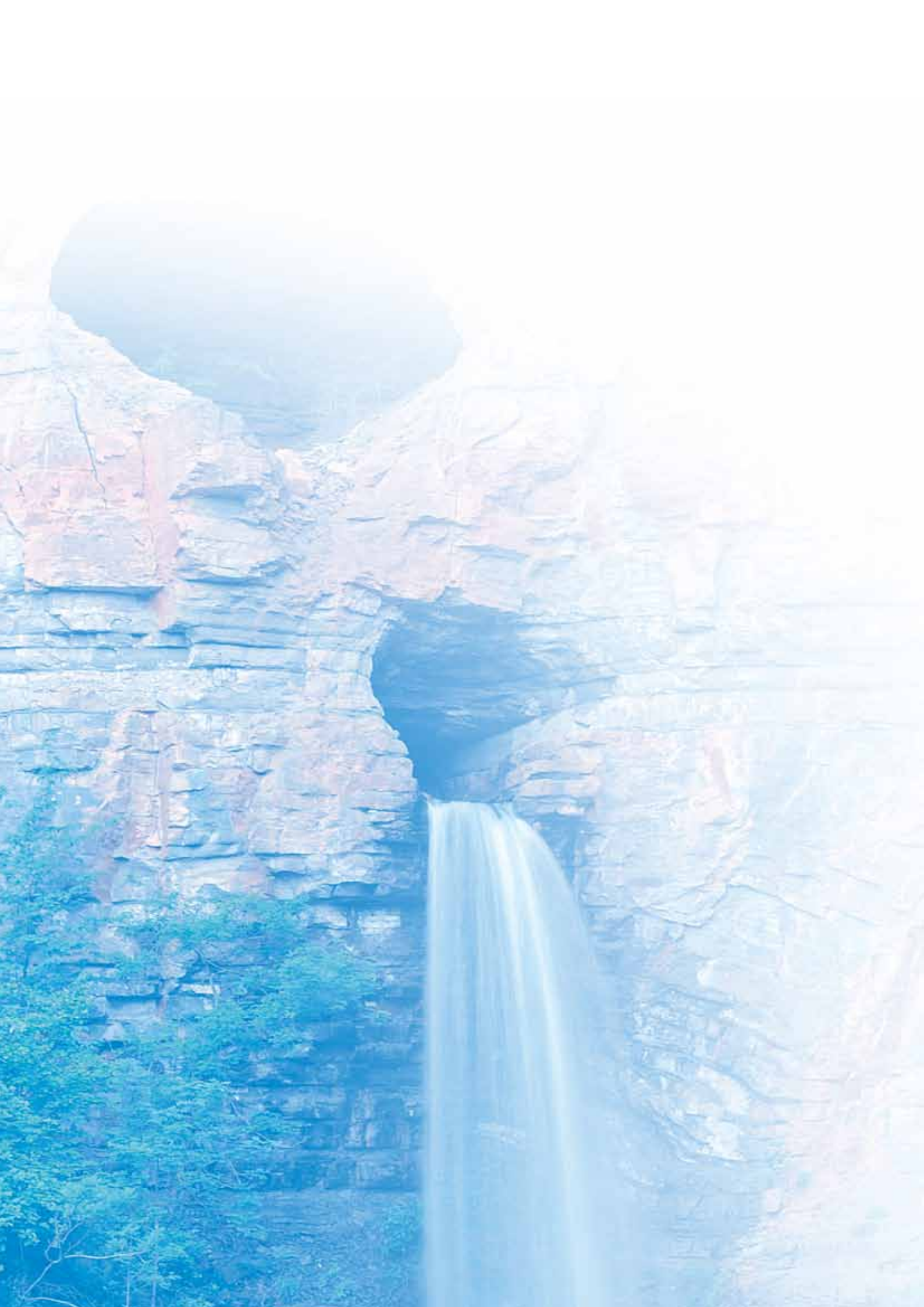


CAPTAGE PAR FORAGE TYPE C



4. Liste bibliographique

Auteurs	Titre	Année de parution	Nbr de pages	Editeur	Site de téléchargement
Saunier Techna	Protection des prises d'eau de surface. Quelles stratégies?	1999	59	Etude des Agences de l'Eau n°57	
M. Bakalowicz	Connaissance et gestion des ressources en eaux souterraines dans les régions karstiques	1999	41	Agence de l'eau Rhone Méditerranée et Corse Guide technique n°3	www.eaurmc.fr/espace-dinformation/guides-acteurs-de-leau/
Ouvrage collectif dirigé par F. Zwahlen	COST Action 620 Vulnerability and Risk Mapping for Protection of Carbonate (Karst) Aquifers Final Report	2004	315	Université de Neuchâtel (Suisse)	http://www1.unine.ch/chyn/pdf/FinalReportCOST620.pdf
Ginger Environnement et infrastructures	Bilan et analyse de la mise en œuvre des périmètres de protection des captages AEP en milieu karstique Synthèse des préconisations en faveur de l'amélioration des démarches de protection	2005	28	Agence de l'eau Rhone Méditerranée et Corse	www.eaurmc.fr/espace-dinformation/guides-acteurs-de-leau/
F. Hoblea et J. Picollier	Etude d'impact de la pratique spéléologique sur la qualité des eaux souterraines karstiques captées Mise au point d'un protocole études, applications en Savoie (système de la Doria) et dans le sud-vercors (système du Brudour) - Rapport final	2007	57	Université de Savoie Laboratoire EDYTEM	ftp://ftp2.ffspeleo.fr/ffspeleo/ces/scientifique/rapport-peipsek.pdf
J-F Vernoux, A.Wuilleumier N. Dorfliger	Délimitation des bassins d'alimentation des captages et cartographie de leur vulnérabilité vis à vis des pollutions diffuses - Guide méthodologique	2007	70	BRGM/RP-55874-FR	http://www.brgm.fr/result/RAPPORT_SPjsp?pageActive=0&cook=1268067473109
J-P. Marchal	Eaux destinées à la consommation humaine Guide pour la protection des captages publics Départements du Gard et de l'Hérault	2007	155	BRGM/RP-55699-FR	http://www.brgm.fr/result/RAPPORT_SPjsp?pageActive=0&cook=1268067610398
Ouvrage collectif sous la responsabilité de J. Carre	Protection des captages d'eau : Acteurs et stratégies - Eau et Santé : Guide technique	2008	82	Ministère de la Santé et des Sports	http://www.eaufrance.fr/IMG/pdf/captage_eau_pdf_interactif.pdf
N. Dorfliger et V. Plagnes	Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque des aquifères karstiques - Guide méthodologique de la méthode PaPRIKA	2009	119	BRGM/RP-57527-FR et ONEMA	A venir sur le site du BRGM
Ouvrage collectif sous la direction de N. Dorfliger	Guide méthodologique - les outils de l'hydrogéologie Karstique pour caractérisation de la structure, du fonctionnement et de l'évaluation des ressources des systèmes	2010	246	BRGM/RP-XXXX-FR et ONEMA	A venir sur le site du BRGM





Agence de l'eau Rhône Méditerranée et Corse

2 et 4 allée de Lodz - 69 363 Lyon cedex 7
Tél. 04 72 71 26 00 - Fax 04 72 71 26 01
contact@eaurm.fr



Agence de l'eau Adour-Garonne

90 rue du Férétra - 31078 Toulouse cedex 4
Tél. 05 61 36 37 38 - Fax 05 61 36 37 28
contact@eau-adour-garonne.fr