



CANTON DU VALAIS
KANTON WALLIS

Département de la mobilité, du territoire et de l'environnement
Service de l'environnement
Section sites pollués, sols et eaux souterraines

Departement für Mobilität, Raumentwicklung und Umwelt
Dienststelle für Umwelt
Sektion Altlasten, Boden und Grundwasser

DÉLIMITATION DES ZONES ET PÉRIMÈTRES DE PROTECTION DES EAUX SOUTERRAINES

AE2	Annexe 3 : Notice concernant la méthodologie à utiliser pour la délimitation des zones de protection
Aide à l'exécution 2	
Mars 2023	

Contenu

1. INTRODUCTION	2
2. CARACTÉRISTIQUES DES AQUIFÈRES	3
2.1 Méthodologie appliquée en milieu poreux	4
2.2 Méthodologie appliquée en milieu fissuré	5
2.3 Méthodologie appliquée en milieux karstiques	7
2.4 Révision de l'OEaux pour les milieux karstiques et fissurés fortement hétérogènes	8
3. DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE	11

1. INTRODUCTION

Ce document donne des informations générales concernant les milieux aquifères en Valais et leurs caractéristiques.

En fonction du milieu, les principes de délimitation des zones de protection des eaux souterraines sont brièvement exposés.

S'agissant de la révision de l'OEaux du 1^{er} janvier 2016 pour les milieux karstiques et fissurés fortement hétérogènes, des précisions sont apportées en fin de document.

2. CARACTÉRISTIQUES DES AQUIFÈRES

La **Figure 1** présente les différents environnements hydrogéologiques concernant le territoire du Canton du Valais. Les caractéristiques de chacun de ces milieux aquifères sont précisées au niveau du **Tableau 1**.

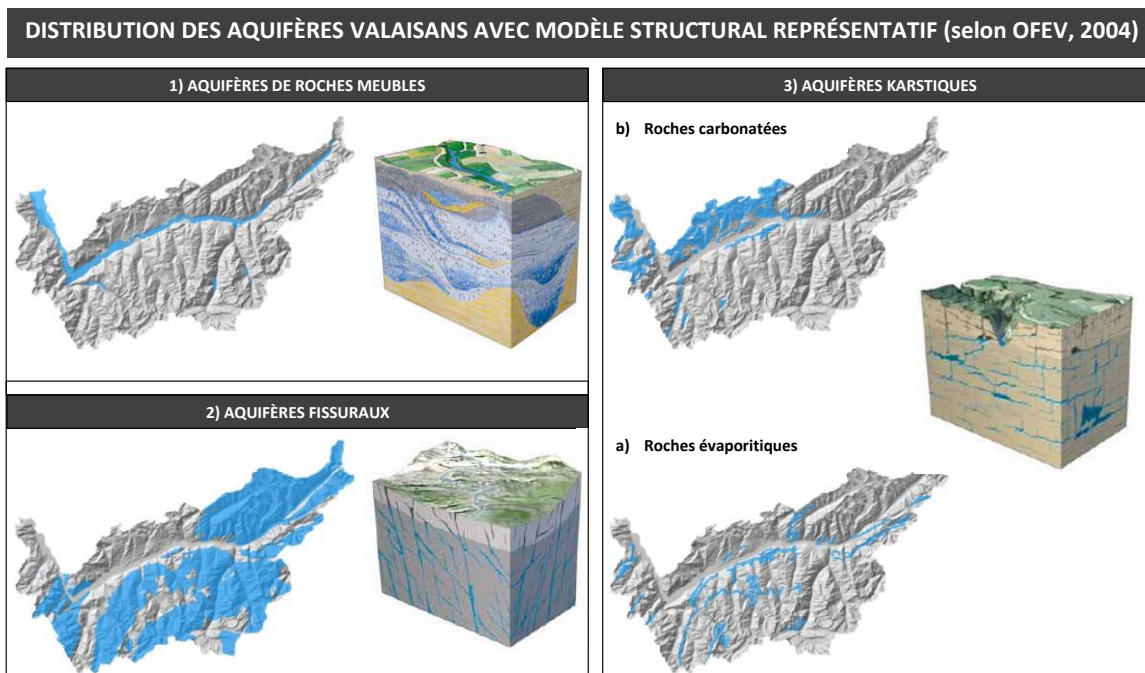





Figure 1: Les types d'aquifères en Valais

Tableau 1: Caractéristiques des types d'aquifères en Valais

CLASSIFICATION ET CARACTÉRISTIQUES DES AQUIFÈRES			
Milieu hydrogéologiques	Aquifères de roches meubles 	Aquifères fissuraux 	Aquifères karstiques 
Caractéristiques géologiques, structures et types de roches	<p>Roches non consolidées à porosité d'interstices Dépôts fluviaux, sables, graviers, limons (matériaux très poreux et argiles (matériaux peu poreux) ; Alluvions torrentiels ou fluvio-glaciaires, terrasses alluvionnaires ; Matériaux moraniques graveleux et autres dépôts récents non compactés permettant la circulation et l'emmagasinement de l'eau.</p> <p>Structures Matériaux souvent hétérogènes, perméables, pouvant inclure des lentilles de matériaux fins peu perméables ; Chenaux formés par des matériaux grossiers.</p>	<p>Roches cohésives massives - Granite, gneiss, serpentinite - Schistes calcaires, calcaires et calcaires marneux non karstiques - Moraines fortement consolidées</p> <p>Structures - Discontinuités ouvertes, diaclases, fractures, failles, fissures, zones broyées, zones d'altération et joints de stratification</p>	<p>Roches cohésives massives - Roches calcaires, dolomites et évaporites (gypse et anhydrite associées aux séries du Trias).</p> <p>Structures Ces roches se dissolvent progressivement le long de fissures pour engendrer les structures suivantes : Dolines, gouffres et réseaux karstiques, parfois conséquents (grottes, cavernes).</p>
Caractéristiques hydrogéologiques	<p>Les vitesses d'écoulement et l'emmagasinement d'eau dépendent du degré d'hétérogénéité des formations. Des écoulements préférentiels et des vitesses élevées sont réalisés à travers les chenaux de matériaux grossiers. Vitesse d'écoulement : 1 à 5 m/j</p>	<p>Les vitesses et directions d'écoulement dépendent de l'ouverture, de la fréquence et de l'interconnexion des fissures. Vitesse d'écoulement : 5 à 10 m/j</p>	<p>Les vitesses d'écoulement sont très élevées. Les directions de circulation de l'eau sont très variées. En période sèche les sources tarissent. La capacité d'emmagasinement d'eau est faible. Vitesse d'écoulement : 30 à 1000 m/h</p>
Vulnérabilité et risques associés	<p>La capacité protectrice et d'autoépuration peut être : bonne (sols épais et circulation lente dans des sables fins à fort pouvoir d'épuration) mauvaise (absence de sol et circulations rapides dû à la présence de niveaux grossiers)</p> <p>L'autoépuration dépend de la proportion des matériaux fins (ex. sables, limons) par rapport aux matériaux grossiers (ex. graviers).</p> <p>Risques : ces aquifères se trouvent souvent en plaine où les risques de pollution par les industries, les routes, les eaux usées, etc., sont les plus élevés. Les nappes proches de la surface sont très vulnérables.</p>	<p>La capacité protectrice et d'autoépuration dépend de : - la présence et l'épaisseur du sol et - du degré et mode de fracturation</p> <p>Risques : ces aquifères se trouvent souvent en moyenne et haute altitude. Des cas de pollution peuvent être liés aux activités humaines (ex. routes, sports, tourisme d'hiver, activités agropastorales, etc.). Si le sol est peu épais, les pluies s'infiltrent rapidement engendrant une l'augmentation de la turbidité de l'eau au captage.</p>	<p>La capacité protectrice et d'autoépuration dépend de : - la présence et l'épaisseur du sol et - de l'état du karst (peu ou très développé)</p> <p>Risques : ces aquifères se trouvent souvent en moyenne et haute altitude. Les risques de pollution sont liés principalement aux activités agropastorales (alpages, fromagerie, etc.) et aux sports et tourisme d'hiver. Si le sol est peu développé, les risques d'infiltration d'eaux chargées (augmentation de la turbidité) sont importants.</p>

2.1 Méthodologie appliquée en milieu poreux

L'OFEV a publié en 2012 un guide pratique pour la délimitation des zones de protection des eaux souterraines en roche meuble [2].

L'état des connaissances hydrogéologiques et l'élaboration d'un modèle conceptuel de circulation des eaux souterraines vont permettre de déterminer le bassin d'alimentation et le cône de rabattement autour des captages (**Figure 2**).

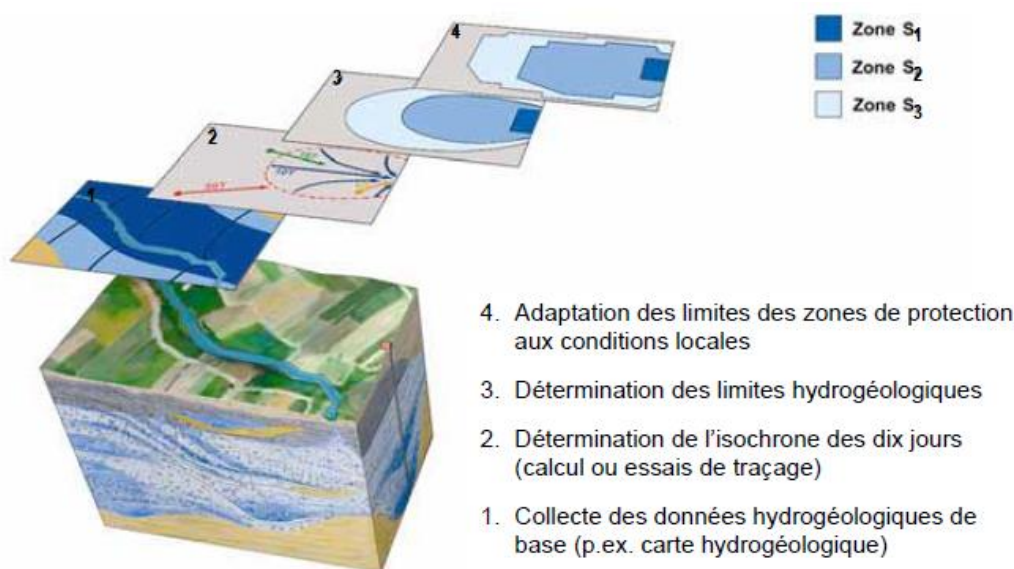


Figure 2: Procédure de délimitation des zones de protection des eaux souterraines en milieu de roches meubles, (OFEFP 2004)

Tableau 2: Méthodes utilisées pour la délimitation de zones de protection en milieu poreux

Zone de protection	Surface et objets concernés	Méthode de délimitation
S1	Captage	<ul style="list-style-type: none"> Zone clôturée de 10 mètres de rayon au minimum autour des captages (drains enterrés ou forés, chambre, puits).
S2	Cône de rabattement et isochrone 10 jours (la distance que parcourt chaque particule d'eau vers le captage en 10 jours). Une distance d'au moins 100 m entre S1 et S2 doit être respectée.	<ul style="list-style-type: none"> Essai de traçage (interprétation des vitesses de transit et des courbes de restitution du traceur) (voir OFEV 2012 [2]). Il est recommandé d'injecter le traceur dans le sous-sol saturé car le temps de transit dans la zone non saturée n'est pas pris en compte pour la détermination de l'isochrone 10 jours. Méthode de Wissling (voir OFEFP 2004 [1]) La méthode de Wissling est à utiliser dans un environnement hydrogéologique homogène ainsi qu'un débit d'eau prélevé au captage permanent et largement inférieur au débit total de la nappe souterraine. Modélisation numérique des écoulements "backtracking". La méthode manuelle graphique, non proposée dans les directives, est souvent utilisée, elle est basée sur le principe de la loi de Darcy.
S3	Zone tampon	<ul style="list-style-type: none"> Aval : zone entre le cône de rabattement et le point de stagnation aval Amont : zone au moins égale à celle comprise entre S1 et S2.

Lorsqu'il est avéré que la couche superficielle protectrice est suffisamment épaisse et constante, la limite S2 pourra être réduite. Une étape importante consiste donc à faire l'évaluation de l'hétérogénéité des sols et l'estimation de leur capacité d'épuration. L'étude de l'origine et de la

fréquence des cas de pollution au captage permet aussi de mieux cerner les zones les plus vulnérables qu'il faudrait définir comme étant des zones S2.

Le dimensionnement des **périmètres de protection**, prévu pour protéger les eaux souterraines en vue d'une utilisation future, obéit aux mêmes règles que celui des zones de protection des eaux souterraines.

Lorsque la délimitation de **secteurs A₀** est nécessaire à la protection d'un captage, ces secteurs comprennent en général les eaux superficielles et leur zone littorale. Le secteur de protection A₀ peut également être délimité sur certaines portions de territoire qui même si s'étendant au-delà des limites définies pour le bassin d'alimentation sont cependant susceptibles, p.ex. lors d'épisodes météorologiques distincts, de venir directement influencer l'aquifère par lessivage/ruissellement.

2.2 Méthodologie appliquée en milieu fissuré

Dans un aquifère fissuré (**Figure 3**), on se base sur la notion de "vulnérabilité intrinsèque" pour caractériser de manière globale la sensibilité des eaux souterraines aux pollutions selon le guide pratique de l'OFEG publié en 2003 [3]. Une étude détaillée des risques de pollution va permettre dans un premier temps de déterminer le degré de vulnérabilité du captage concerné.

Un captage est peu vulnérable si les conditions naturelles permettent une épuration suffisante des eaux. Il est caractérisé par des paramètres physico-chimiques relativement stables et par la constance de sa bonne qualité bactériologique (groupe a).

Un captage vulnérable est caractérisé par des vitesses de circulation rapides qui ne permettent pas une filtration et épuration naturelle suffisante pour garantir la qualité d'une grande partie des eaux captées (groupes b1 et b2).

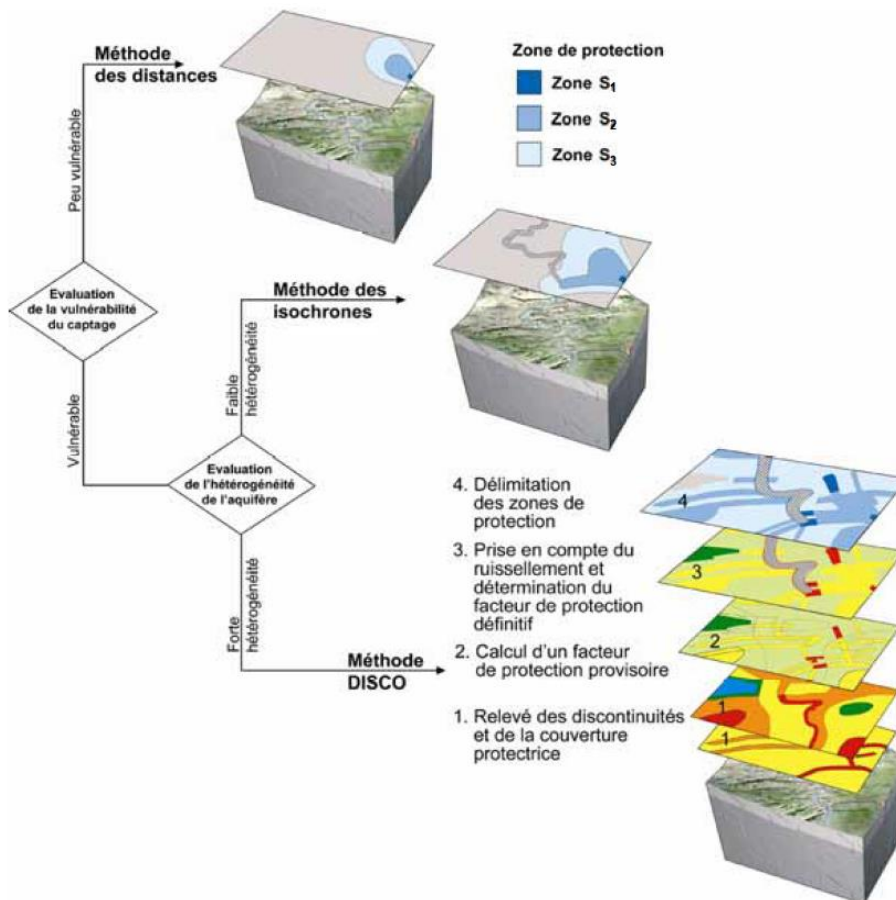


Figure 3: Procédure de délimitation des zones de protection des eaux souterraines en milieu de roches fissurées, (OFEG 2003)

Tableau 3: Définition des groupes de vulnérabilité et des méthodes de délimitation des zones de protection correspondantes

Vulnérabilité	Critères pour l'évaluation de la vulnérabilité d'un captage		
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Identification des caractéristiques hydrogéologiques rendant l'aquifère vulnérable (ex. effets de décompression de la roche, milieu hétérogène, sols peu humides et phénomènes de ruissellement). ▪ Suivi du débit, de la conductivité électrique et de la température de l'eau, au minimum sur une année hydrologique (Figure 4) comprenant plusieurs mesures des paramètres déjà mentionnés et de la turbidité en période de fortes précipitations. Échantillonnage et analyses de la bactériologie en période de plus haut risque de pollution du captage. ▪ Sources de pollution existantes et potentielles sur le bassin d'alimentation. 	
Groupes de vulnérabilité	Captage peu vulnérable	Captage vulnérable	
	<p>Groupe « a »</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Milieu à circulation lente. ▪ Faible réactivité aux phénomènes météorologiques et aux essais de traçage. 	<p>Groupe « b1 »</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Milieu à circulations rapides. ▪ Faiblement hétérogène. ▪ Grande réactivités aux phénomènes météorologiques ainsi qu'aux essais de traçage. ▪ Diminution des vitesses d'écoulement des traceurs avec l'augmentation de la distance au captage. 	<p>Groupe « b2 »</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Milieu à circulations rapides ▪ Fortement hétérogène ▪ Grande réactivités aux phénomènes météorologiques et aux essais de traçage ▪ Vitesses d'écoulement variables et indépendantes de la distance au captage
Méthodes de délimitation des zones	<p>Méthode des distances</p> <p>On admet que des zones S d'extension minimale sont suffisantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ S1: 10 m autour et en amont de l'ouvrage (drains, tranchées drainantes, galeries) ; ▪ S2: 100 m vers l'amont de la direction des écoulements ; ▪ S3: une distance entre S2 et S3 au moins égale à celle comprise entre S1 et S2. 	<p>Méthode des isochrones</p> <p>A partir d'un ou plusieurs essais de traçage, on pose :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ S1: 10 m autour et en amont de l'ouvrage (drains, tranchées drainantes, galeries) ; ▪ S2 : correspond à un trajet des circulations souterraines d'au moins 10 jours ; ▪ S3 : une distance entre S2 et S3 au moins égale à celle comprise entre S1 et S2. 	<p>Méthode multicritères DISCO</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Discontinuités et connexions de la fracturation influençant fortement les directions d'écoulements à l'intérieur du massif ▪ Couverture protectrice ▪ Ruissellement permanent ou temporaire des eaux de superficielles <p>Elle se déroule en 4 étapes</p> <ol style="list-style-type: none"> a. Relevé des discontinuités et de la couverture protectrice : zones avec perméabilité élevée et faible épaisseur du sol, fractures. b. Calcul d'un facteur de protection provisoire. c. Détermination du facteur de protection définitif : prise en compte du ruissellement en périodes de fortes précipitations et de fonte de neige. d. Délimitation des zones de protection : en présence de fractures drainées par les galeries des captages, les zones S2 et S3 sont agrandies. S'il y a infiltration d'un cours d'eau, ce dernier doit être protégé par un secteur de protection A₀.

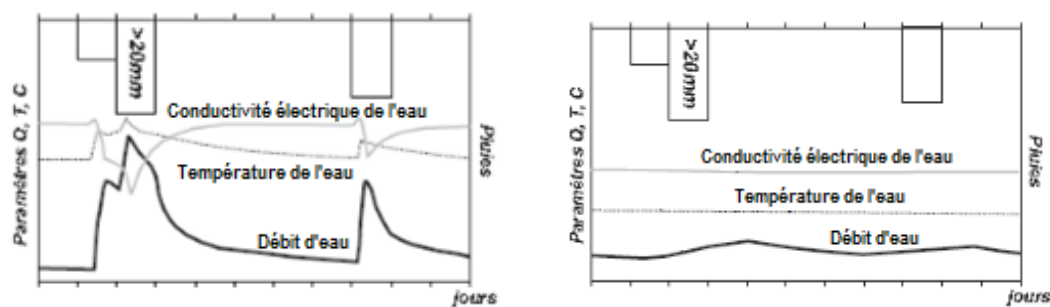


Figure 4 : Paramètres physico-chimiques de l'eau souterraine utiles au suivi et à la détermination de la vulnérabilité vis-à-vis de pollutions. A gauche, exemple d'une source vulnérable, à droite, exemple d'une source peu vulnérable, (OFEG 2003)

2.3 Méthodologie appliquée en milieux karstiques

En milieu karstique (**Figure 5**), la méthode appelée EPIK est utilisée depuis 1998 pour établir les critères qui définissent la **vulnérabilité** des eaux souterraines, à savoir :

- la structure de l'Epikarst
- la couverture Protectrice (y compris le sol)
- les conditions d'Infiltration
- le développement du réseau Karstique

Etant donné la nature vulnérable de grandes surfaces en milieux karstiques (lapiaz, réseaux karstiques, infiltrations et perméabilités élevées, etc.), une méthodologie cartographique est utilisée pour la définition des zones de protection (**Tableau 6** et guide pratique pour la délimitation des zones de protection des eaux souterraines en milieu karstique [4]).

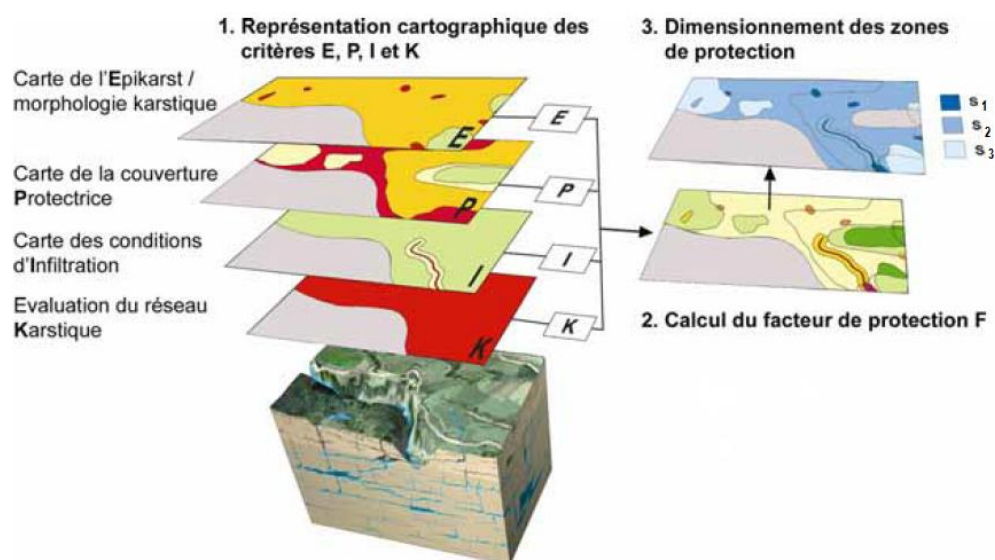


Figure 5: Schéma sur l'application de la méthode EPIK (OFEV, 1998). Suite à la révision au 1^{er} janvier 2016 de l'OEaux pour les milieux karstiques et fissurés fortement hétérogènes, la méthode fait actuellement l'objet d'une adaptation pour permettre la délimitation des zones S_n et S_m . Etant fortement touché par le karst, le Canton du Valais applique d'ores et déjà avec succès les principes de la révision de l'OEaux dans son suivi de l'avancement des procédures communales.

Tableau 6: Étapes de la procédure de délimitation des zones et périmètres de protection en milieu karstique

Étapes pour l'évaluation de la vulnérabilité	Méthode de travail
Evaluation et report sur cartes des quatre critères EPIK	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Relevé des zones d'infiltration et de l'épaisseur du sol (couche protectrice). ▪ Analyses des hydrogrammes de crues. ▪ Essais de traçage, définition des vitesses d'écoulement, sondages à la tarière ou la pelle mécanique. ▪ Échantillonnage et analyse de la bactériologie et des paramètres physico-chimiques en période de plus haut risque de pollution du captage. ▪ Cartographie de chaque critère à l'aide des SIG.
Calcul du facteur de protection F	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pondération des critères EPIK selon leur fonction protectrice. ▪ Calcul et illustration du facteur de protection F à l'aide des SIG.
Délimitation des zones de protection	<ul style="list-style-type: none"> ▪ S'effectue sur une base empirique d'après l'ensemble des résultats obtenus (Figure 5). Les zones S2 et S3 se répartissent de manière irrégulière, selon le degré de vulnérabilité. ▪ La zone S1 protège directement les captages ainsi que tous les points d'infiltration directe sur le bassin versant (p. ex. perte karstique).

2.4 Révision de l'OEaux pour les milieux karstiques et fissurés fortement hétérogènes

Une nouvelle méthode de délimitation des zones de protection des eaux souterraines pour les milieux karstiques et fissurés fortement hétérogènes est encore en cours de développement (état 2023). Cette méthode remplacera la méthode décrite dans [4] mais restera fortement axée sur la notion de vulnérabilité en procédant à une évaluation des paramètres individuels qui caractérisent les conditions d'écoulement et les interactions entre la surface, le sous-sol et le point de résurgence ou la source vient captée. Au niveau formel, une mise en application cohérente des zones de "forte" (S_h) et "moyenne" (S_m) vulnérabilité des eaux souterraines doit résulter (**Tableau 7**). Les restrictions qui s'appliquent aux zones S_h et S_m sont décrites dans un nouveau document de l'OFEV [5].

L'évaluation des critères relatifs au milieu aquifère et au degré d'utilisation du sol reste essentielle pour évaluer objectivement les facteurs de risque affectant un captage. Dans un milieu fortement hétérogène, de nombreuses incertitudes affectent les études de délimitation des zones de protection. Ainsi, la nouvelle méthode entend stimuler la conceptualisation du système d'écoulements souterrains et des conditions de développement des nappes en milieu karstique ou fissuré. La plus grande disponibilité des géodonnées de base utiles et l'essor des techniques de modélisation géo-hydrologique 3D offrent aujourd'hui un appui précieux à ce travail.

Par rapport à l'ancienne méthode EPIK, un plus grand poids est notamment donné à l'effet protecteur des couches de sol continues ou semi-continues (paramètre P). En valorisant les différentes couches d'informations disponibles sur le Géoportail cantonal, le SEN a proposé une méthode simplifiée pour ce travail en attendant la finalisation du nouveau Guide pratique de l'OFEV. Cette approche se veut pragmatique et permet, sur la base de critères objectifs et reproductibles, une détermination de premier ordre des cartes de protection des eaux souterraines aptes à soutenir la définition des mesures correctives à l'échelle du bassin versant de la source.

L'approche permet notamment :

- De proposer et justifier les délimitations S_h et S_m à l'échelle du bassin d'alimentation de la source sur la base d'une appréciation objective de l'état de la couche de couverture protectrice de sol par croisement des observations de terrain et des Orthophotos swissimage® ;
- De valoriser les données relatives aux essais de traçage en vue de justifier les délimitations S_1 autour des pertes observées sur le bassin d'alimentation de la source (p.ex. doline, rocher nu, zones d'infiltration préférentielle, etc.) ;
- De délimiter, sur la base des données du MNT et des observations de terrain, le secteur A_o sur les portions du territoire situées hors bassin d'alimentation mais correspondant à des surfaces de ruissellement qui viennent contribuer directement à la recharge aquifère. Le secteur A_o peut également être délimité en superposition des zones S_h et S_m dans les secteurs présentant un risque d'infiltration d'eaux superficielles réel (p.ex. ravines, torrents intermittents, cours d'eau avec pertes localisées, ...).
- Finalement, d'assurer une délimitation administrativement viable des zones S_1 et S_2 dans l'environnement immédiat du captage en suivant les prescriptions établies dans ce but (S_2 max. 200 m dans le sens des écoulements en amont du captage).

Des informations complémentaires sont disponibles auprès du SEN qui met également à disposition les géodonnées de base issues de l'étude KARSYS-VS [6]. Une étude similaire orientée sur les milieux fissurés fortement hétérogènes du canton du Valais est également en cours d'implémentation qui devra renforcer à terme la mise en œuvre des mesures de protection pour ces aquifères encore peu connus constituant cependant un potentiel important comme réserve en eau souterraine.

Zone de protection	Guide pratique EPIK 1998	Précisions du SEN dans le contexte de la révision EPIK-2 (état 2023)
S1	<ul style="list-style-type: none"> ▪ protège directement les captages ainsi que tous les points d'infiltration directe sur le bassin versant. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ englobe uniquement l'installation de captage et les terrains directement environnants (au moins 10 m autour de l'installation de captage y c. drains), ainsi que les pertes et leur environnement immédiat si elles constituent une menace pour l'utilisation de l'eau potable ▪ Les lapiez, dolines, ruisseaux et autres secteurs à haute vulnérabilité qui ne satisfont pas aux critères applicables à la zone S1 sont désormais attribués à la zone S_n.
S2	<ul style="list-style-type: none"> ▪ est délimité en fonction du facteur de protection F obtenu. ▪ Avec la méthode datant de 1998, les zones S2 sont trop largement délimitées, ne permettant pas de garantir du point de vue administratif l'application des restrictions liées à la zone S2. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ est exclusivement délimitée jusqu'à 200 m en amont du captage. Les autres surfaces qui relevaient de la zone S2 en vertu de l'OEaux avant le 1er janvier 2016 sont pour l'essentiel attribuées à la zone S_n. ▪ Vu l'effet filtrant de la couche de couverture et de l'aquifère généralement insuffisant dans les aquifères fortement hétérogènes ainsi que les vitesses d'écoulement importante, la zone S2 ne peut pas atteindre le même objectif que dans des aquifères faiblement hétérogènes ou homogènes. C'est la raison pour laquelle, dans les aquifères fortement hétérogènes, la zone S2 n'est plus délimitée que sur une étendue minimale pour protéger les abords immédiats du captage.
S3	<ul style="list-style-type: none"> ▪ est délimité en fonction du facteur de protection F obtenu. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ plus délimitée
S _n	<ul style="list-style-type: none"> ▪ - 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dans le bassin d'alimentation du captage, la zone S_n couvre les secteurs à haute vulnérabilité ▪ couvre les secteurs dénués de couche de sol suffisamment développée et continue ▪ remplace toutes les zones S1 délimitées selon la méthode 1998 qui ne satisfont pas aux nouveaux critères de délimitation, p. ex. lapiez, dolines et ruisseaux.
S _m	<ul style="list-style-type: none"> ▪ - 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dans le bassin d'alimentation du captage, la zone S_m couvre les secteurs de vulnérabilité moyenne ▪ remplace plus ou moins l'ancienne zone S3 et des parties de l'ancienne zone S2, délimitée selon la méthode 1998, dotées d'une couche de sol suffisamment développée et continue.
A _o	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Non mentionné 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ En complément de la zone de protection des eaux souterraines, le secteur A_o de protection des eaux peut être délimité afin d'assurer la protection des eaux superficielles et de leur zone littorale, dans la mesure où cela est nécessaire pour garantir une utilisation particulière (ici, l'utilisation comme eau potable des eaux souterraines sous l'influence des eaux superficielles qui s'infiltrent)

Tableau 7. Résumé des principes de délimitation des zones de protection en milieu karstique et/ou fortement hétérogène.

3. DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE

- [1] Instructions pratiques pour la protection des eaux souterraines OFEV, 2004.
- [2] Zone de protection des eaux souterraines en roches meubles. Un module de l'aide à l'exécution protection des eaux souterraines. Guide pratique publié par l'Office fédéral de l'environnement OFEV, 2012.
- [3] Délimitation des zones de protection des eaux souterraines en milieu fissuré. Guide pratique publié par l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage OFEFP et par l'Office fédéral des eaux et de la géologie OFEG, 2003.
- [4] Cartographie de la vulnérabilité en régions karstiques (EPIK). Guide pratique publié par l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage OFEFP, 1998.
- [5] Aide à l'exécution "Protection des eaux souterraines : aquifères karstiques et fissurés fortement hétérogènes". OFEV, 2022.
- [6] ISSKA (2020) – Application de l'approche KARSYS au Canton du Valais. – Rapport non publié pour le Service de l'Environnement du canton du Valais, 26 p. + annexes