

Clé de quantification des risques sur les eaux souterraines – EXPLOITATION DE NAPPE

 1. Quantification de l'exposition

EXPOSITION DES EAUX SOUTERRAINES		
	GENÈVE	CH
0	Hors aquifère	Hors aquifère
1	Bordure non saturée de nappe superficielle / temporaire ; Nappe temporaire ; Venues d'eau potentielles	
2	Nappe superficielle ; Bordure non saturée de nappe principale non exploitée pour l'alimentation en eau potable	Bordure non saturée d'un secteur Au
3	Nappe principale non exploitée pour l'alimentation en eau potable ; Bordure non saturée d'une nappe principale exploitée pour l'alimentation en eau potable ; Nappe profonde	Secteur Au ; Nappe profonde
4	Nappe principale exploitée pour l'alimentation en eau potable	Secteurs S et proximité

 2. Quantification de la probabilité

2.1. Phase TRAVAUX

EXPLOITATION DE NAPPE – CLÉ DE QUANTIFICATION DES RISQUES TRAVAUX		
RISQUE	DESCRIPTION	PROBABILITÉ
Arrachement / cisaillement des installations	Arrachement/cisaillement du puits dans le sol.	0
		1
		2
		3
		4
Artésianisme	Jaillissement d'eau sous pression lors du forage.	0
		1
		2
		3
		4
Colmatage de l'aquifère	Epanchement des fluides de forages dans l'aquifère, provoquant une diminution de la porosité/perméabilité, voire un colmatage de l'aquifère autour du puits.	0
		1
		2
		3
		4
Corrosion	Attaques des matériaux de l'installation par des conditions physico-chimiques agressives.	0
		1
		2
		3
		4
Dégradation de la cimentation	Dégradation de la cimentation entre le puits et les formations géologiques/hydrogéologiques encaissantes, portant atteinte sur la qualité de la nappe.	0
		1
		2
		3
		4
Difficulté de cimentation / défaut d'étanchéité	Tubage du forage difficile à solidariser à l'encaissant (cavités, fractures...), provoquant une mauvaise cimentation entre le puits et l'encaissant.	0
		1
		2
		3
		4

EXPLOITATION DE NAPPE – CLÉ DE QUANTIFICATION DES RISQUES TRAVAUX		
RISQUE	DESCRIPTION	PROBABILITÉ
Dissolution de formations géologiques	Apport de fluides dans une formation géologique soluble.	0 Absence de formation géologique soluble (évaporitique)
		1
		2 Présence de formation géologique soluble
		3 Forage à la boue en présence de formation géologique soluble
		4 Forage à l'eau en présence de formation géologique soluble
Effondrement / tassement superficiel	Effondrement du sol au droit du forage.	0
		1
		2 Présence de cavités souterraines (karsts)
		3
		4 Lessivage de particules fines par circulation d'eau
Fuite de produits polluants sur la place de forage	Déversement accidentel de produits polluants en cours de forage.	0
		1
		2 Présence de produits polluants sur la place de forage
		3
		4 Absence de bacs de rétention ou de zone étanche
Hydratation de formations géologiques gonflantes	Apport de fluide dans une formation géologique gonflante.	0 Absence de formation géologique gonflante
		1
		2 Présence de formation géologique gonflante
		3 Forage à la boue en présence de formation géologique gonflante
		4 Forage à l'eau en présence de formation géologique gonflante
Imprévu géologique	Rencontre d'une formation géologique ou hydrogéologique inattendue.	0
		1
		2 Forage dans Tertiaire
		3 Forage dans le Mésozoïque ; Milieu fracturé/fissuré ; Milieu karstique ; Proximité d'une nappe d'eau souterraine
		4 Présence d'une nappe artésienne ; Présence d'une nappe captive
Introduction artificielle / pertes de fluides dans l'aquifère	Utilisation d'eau ou de boue comme fluide de forage, avec épanchement à travers les cavités, fissures ou pores de la formation encaissante / de l'aquifère, causant une atteinte à la qualité des eaux souterraines.	0 Absence d'aquifère
		1
		2 Aquifère poreux
		3 Forage à la boue
		4 Aquifère fracturé/fissuré ; Aquifère karstique ; Forage à l'eau
Malfaçon du forage	Malfaçon accidentelle, et non par négligence humaine.	0
		1 Suivi des travaux par un géologue/hydrogéologue
		2
		3 Entreprise de forage non reconnue
		4 Absence de suivi par un géologue/hydrogéologue
Mise en communication de nappes	Création de chemins préférentiels de circulation des eaux entre différentes nappes : - Au sein de l'environnement traversé ; - Au sein de l'aquifère cible ; - Entre l'environnement traversé et l'aquifère cible	0 Pas de nappes superposées
		1
		2 Superposition de nappes libres
		3 Nappe inférieure captive ou artésienne
		4 Milieu traversé karstifié ou fissuré/fracturé
Mobilisation de radioéléments	Si la formation encaissante est composée d'éléments radioactifs, risque de mobilisation et de transport de ces éléments.	0
		1 Forage dans le Quaternaire
		2 Forage dans le Tertiaire
		3 Forage dans le Mésozoïque ; Présence supposée de radon (c.f. cadastre)
		4 Forage dans le socle granitique ; Présence avérée de radon (c.f. cadastre)
Modification des conditions physico-chimiques du milieu	Utilisation de fluides de forage causant la précipitation d'éléments ainsi qu'une diminution de la perméabilité de l'aquifère.	0 Pas de modification significative
		1
		2
		3 Physico-chimie du milieu inconnue
		4 Milieu oxydant ; Milieu réducteur
Non tenue du trou de forage	Lorsque le forage traverse des formations géologiques non consolidées.	0 Forage tubé
		1
		2 Forage à la boue
		3 Milieu fracturé/fissuré ; Milieu karstique
		4 Absence de tubage dans des terrains meubles
Perçement du tubage	Dû à la corrosion, impliquant la fuite du fluide de forage.	0
		1
		2 Milieu corrosif
		3
		4

EXPLOITATION DE NAPPE – CLÉ DE QUANTIFICATION DES RISQUES TRAVAUX			
RISQUE	DESCRIPTION	PROBABILITÉ	
Remontées d'hydrocarbures liquides	Perçement de poches d'hydrocarbures liquides.	0	Forage dans le Quaternaire
		1	Forage au droit de sites pollués
		2	Forage dans le Tertiaire ; Milieu fracturé/fissuré
		3	Forage dans le Mésozoïque
		4	
Venues de gaz	Perçement de poches de gaz pouvant créer un danger d'explosion.	0	
		1	Forage dans le Quaternaire ; Forage au droit de sites pollués
		2	Forage dans le Tertiaire
		3	Forage dans le Mésozoïque ; Milieu fracturé/fissuré ; Présence supposée d'hydrocarbures gazeux
		4	Présence avérée d'hydrocarbures gazeux

2.2. Phase DÉVELOPPEMENT

EXPLOITATION DE NAPPE – CLÉ DE QUANTIFICATION DES RISQUES DÉVELOPPEMENT			
RISQUE	DESCRIPTION	PROBABILITÉ	
Arrachement / cisaillement des installations	Arrachement/cisaillement du puits dans le sol.	0	Hors zones instables
		1	
		2	Dissolution de formation géologique ; Hydratation de formation géologique gonflante ; Zone de glissement profond lent ou très lent
		3	
		4	Zone de mouvement de sol permanent : - Glissement profond actif - Glissement superficiel actif
Augmentation de la turbidité	Augmentation du taux de particules en suspension dans la nappe visée.	0	
		1	
		2	Utilisation de polyphosphates pour éliminer les boues
		3	
		4	
Corrosion	Attaques des matériaux de l'installation par des conditions physico-chimiques agressives.	0	
		1	Milieu peu corrosif
		2	
		3	Milieu corrosif ;
		4	
Détérioration de l'équipement du puits	Détérioration mécanique de l'équipement du puits.	0	
		1	Essai de pompage standard ; Puits avec crépine en inox
		2	Dessablage ; Pistonnage ; Puits en PVC
		3	
		4	
Effondrement / tassement superficiel	Effondrement du sol au droit du forage.	0	
		1	Essai de pompage
		2	Présence de cavités souterraines (karsts) ; Milieu fracturé
		3	
		4	Lessivage de particules fines par circulation d'eau
Hydratation de formations géologiques gonflantes	Apport de fluide dans une formation géologique gonflante.	0	Absence de formation géologique gonflante
		1	
		2	Présence de formation géologique gonflante
		3	
		4	
Mise en communication de nappes	Création de chemins préférentiels de circulation des eaux entre différentes nappes : - Au sein de l'environnement traversé ; - Au sein de l'aquifère cible ; - Entre l'environnement traversé et l'aquifère cible	0	Pas de nappes superposées
		1	
		2	Dessablage ; Pistonnage ; Superposition de nappes libres
		3	Nappe inférieure captive ou artésienne ;
		4	Milieu fracturé/fissuré ; Milieu karstique

EXPLOITATION DE NAPPE – CLÉ DE QUANTIFICATION DES RISQUES DÉVELOPPEMENT			
RISQUE	DESCRIPTION	PROBABILITÉ	
Mobilisation de radioéléments	Si la formation encaissante est composée d'éléments radioactifs, risque de mobilisation et de transport de ces éléments.	0	
		1	Forage dans le Quaternaire
		2	Forage dans le Tertiaire
		3	Forage dans le Mésozoïque ; Présence supposée de radon (c.f. cadastre)
		4	Forage dans le socle granitique ; Présence avérée de radon (c.f. cadastre)
Modification des conditions physico-chimiques du milieu	Utilisation de fluide de développement causant un impact sur la qualité de la nappe ou de l'aquifère (diminution de la perméabilité et/ou de la porosité).	0	Pas de modification significative
		1	
		2	Eau réinjectée de qualité différente que l'eau présente dans l'aquifère de rejet
		3	Physico-chimie du milieu ou du fluide inconnue
		4	
Remontées d'hydrocarbures liquides	Venues d'hydrocarbures liquides en lien avec un défaut de cimentation du puits	0	Forage dans le Quaternaire
		1	Forage au droit de sites pollués
		2	Forage dans le Tertiaire ; Milieu fracturé/fissuré
		3	Forage dans le Mésozoïque
		4	
Venues de gaz	Venues d'hydrocarbures gazeux en lien avec un défaut de cimentation du puits.	0	
		1	Forage au droit des sites pollués ; Forage dans le Quaternaire ;
		2	Forage dans le Tertiaire ;
		3	Forage dans le Mésozoïque ; Présence supposée d'hydrocarbures gazeux
		4	Présence avérée d'hydrocarbures gazeux

2.3. Phase STIMULATION DU RÉSERVOIR

EXPLOITATION DE NAPPE – CLÉ DE QUANTIFICATION DES RISQUES STIMULATION DU RÉSERVOIR			
RISQUE	DESCRIPTION	PROBABILITÉ	
Artésianisme induit	Artésianisme provoqué sur les autres puits/forages présents dans la nappe exploitée, par stimulation hydraulique dans le puits exploité par pompage ou par injection.	0	Pas de stimulation du réservoir
		1	Puits exploitant la même nappe situé à plus de 100 m.
		2	Puits exploitant la même nappe situé à moins de 100 m.
		3	
		4	
Augmentation de la turbidité	Augmentation du taux de particules en suspension dans la nappe visée.	0	
		1	
		2	Stimulation chimique ;
		3	Milieu fracturé/fissuré ; Milieu karstique, débouillage possible
		4	
Corrosion	Attaques des matériaux de l'installation par des conditions physico-chimiques agressives.	0	
		1	
		2	
		3	Stimulation chimique
		4	
Déstabilisation de la formation rocheuse par fracturation	Déstabilisation de la formation rocheuse visée par fracturation hydraulique, pouvant provoquer des effondrements locaux des formations.	0	Pas de fracturation
		1	
		2	
		3	Fracturation hydraulique
		4	
Détérioration de l'équipement du puits	Détérioration mécanique de l'équipement du puits.	0	
		1	
		2	
		3	Fracturation hydraulique
		4	
Effondrement / tassement superficiel	Effondrement du sol au droit du forage.	0	
		1	
		2	
		3	
		4	Lessivage de particules fines par circulation d'eau lors de la stimulation hydraulique
Excès de produits d'acidification	Utilisation de produits d'acidification en quantité supérieure à celle nécessaire et suffisante pour dissoudre les calcaires.	0	Pas de stimulation
		1	
		2	Stimulation chimique
		3	
		4	

EXPLOITATION DE NAPPE – CLÉ DE QUANTIFICATION DES RISQUES STIMULATION DU RÉSERVOIR			
RISQUE	DESCRIPTION	PROBABILITÉ	
Injection d'eau polluant le milieu	Tests d'injection au moyen de fluides contenant des adjuvants.	0	Stimulation hydraulique sans adjuvants
		1	
		2	
		3	Stimulation hydraulique avec adjuvants
		4	
Mise en communication de nappes	Création de chemins préférentiels de circulation des eaux entre différentes nappes : - Au sein de l'environnement traversé ; - Au sein de l'aquifère cible ; - Entre l'environnement traversé et l'aquifère cible	0	
		1	
		2	
		3	Expansion du réservoir stimulé ; Stimulation hydraulique
		4	
Modification des conditions physico-chimiques du milieu	Utilisation de fluide de stimulation causant un impact sur la qualité de la nappe ou de l'aquifère (diminution de la perméabilité et/ou de la porosité).	0	
		1	
		2	Stimulation hydraulique
		3	Stimulation chimique
		4	
Venues de gaz	Dégagement gazeux suite à la stimulation chimique.	0	
		1	
		2	
		3	Stimulation chimique (utilisation d'acide pour attaquer les calcaires – dégagement gazeux)
		4	

2.4. Phase EXPLOITATION

EXPLOITATION DE NAPPE – CLÉ DE QUANTIFICATION DES RISQUES EXPLOITATION			
RISQUE	DESCRIPTION	PROBABILITÉ	
Arrachement / cisaillement des installations	Arrachement/cisaillement du puits dans le sol.	0	Hors zones instables
		1	
		2	Dissolution de formation géologique ; Hydratation de formation géologique gonflante ; Zone de glissement profond lent ou très lent
		3	
		4	Zone de mouvement de sol permanent : - Glissement profond actif - Glissement superficiel actif
Colmatage des crépines	Obturation des crépines, provoquant une diminution de la performance du pompage de la nappe.	0	
		1	
		2	Modification des régimes de pompage
		3	Présence de matières en suspension dans la nappe
		4	Physico-chimie de la nappe exploitée favorisant un encrouement (bactérien, éléments précipités, etc...)
Corrosion	Attaques des matériaux de l'installation par des conditions physico-chimiques agressives.	0	
		1	Milieu peu corrosif
		2	
		3	Milieu corrosif
		4	
Débordement (forage d'injection)	Débordement en surface de l'eau réinjectée au droit du forage d'injection.	0	Pas de forage de réinjection
		1	
		2	Comblement du puits de restitution
		3	Nappe artésienne ; Pas de dimensionnement
		4	Encrouement des crépines du puits de restitution
Dégradation de la cimentation	Dégradation de la cimentation entre le puits et les formations géologiques/hydrogéologiques encaissantes portant atteinte sur la qualité de la nappe.	0	
		1	Milieu peu corrosif
		2	
		3	Milieu corrosif
		4	
Dénoyage de l'aquifère	Diminution de l'épaisseur saturée dans l'aquifère, voire épuisement temporaire de la nappe.	0	
		1	
		2	
		3	Surexploitation
		4	

EXPLOITATION DE NAPPE – CLÉ DE QUANTIFICATION DES RISQUES			
RISQUE	DESCRIPTION	PROBABILITÉ	
Dissolution de formations géologiques	Apport de fluide dans une formation géologique soluble.	0	Absence de formation géologique soluble (évacuatoire)
		1	
		2	Présence de formation géologique soluble
		3	
		4	
Effondrement / tassement superficiel	Effondrement du sol au droit du forage.	0	
		1	Planification du régime de pompage sur la base d'une étude préliminaire
		2	
		3	Absence d'une étude préliminaire
		4	
Horizons de pompage et de restitution différents	Réinfiltration dans un horizon aquifère différent que celui du pompage.	0	
		1	Dispositif de pompage/rejet dans le Quaternaire
		2	Incertitude sur la géologie/hydrogéologie au droit du puits de restitution
		3	
		4	
Hydratation de formations géologiques gonflantes	Apport de fluide dans une formation géologique gonflante.	0	Absence de formation géologique gonflante
		1	
		2	Présence de formation géologique gonflante
		3	
		4	
Mise en communication de nappes	Création de chemins préférentiels de circulation des eaux entre différentes nappes : - Au sein de l'environnement traversé ; - Au sein de l'aquifère cible ; - Entre l'environnement traversé et l'aquifère cible	0	Pas de nappes superposées
		1	Milieu peu corrosif
		2	Superposition de nappe libre Milieu corrosif ; Mouvement de sol permanent :
		3	- Glissement profond actif - Glissement superficiel actif Nappe inférieure captive ou artésienne
		4	
Mobilisation de radioéléments	Si la formation encaissante est composée d'éléments radioactifs, risque de mobilisation et de transport de ces éléments.	0	
		1	Forage dans le Quaternaire
		2	Forage dans le Tertiaire
		3	Forage dans le Mésozoïque ; Présence supposée de radon (c.f. cadastre)
		4	Forage dans le socle granitique ; Présence avérée de radon (c.f. cadastre)
Modification significative de l'équilibre thermique du milieu	Interactions thermiques entre les différents puits exploitant la nappe.	0	
		1	
		2	
		3	Débits de pompage/réinjection et/ou ΔT inadaptés
		4	
Modification des conditions physico-chimiques du milieu	Injection d'eau de qualité différente dans le puits de restitution, ou acidification, nettoyage du puits de pompage causant un impact sur la qualité de la nappe ou de l'aquifère.	0	Pas de modification significative
		1	
		2	Fluide réinjecté de qualité différente que l'eau présente dans l'aquifère de rejet
		3	
		4	
Modification des écoulements souterrains dans l'aire d'influence des puits	Au droit du forage de pompage (rabattement de la nappe) et de restitution.	0	
		1	
		2	
		3	Pompage et/ou restitution
		4	
Percement du tubage	Dû à la corrosion, impliquant la fuite du fluide de forage ou géothermal.	0	
		1	Milieu peu corrosif
		2	
		3	Milieu corrosif
		4	
Remontées d'hydrocarbures liquides	Venues d'hydrocarbures liquides en lien avec un défaut de cimentation du puits	0	Forage dans le Quaternaire
		1	Forage au droit de sites pollués
		2	Forage dans le Tertiaire ; Milieu fracturé/fissuré
		3	Forage dans le Mésozoïque
		4	
Venues de gaz	Venues d'hydrocarbures gazeux en lien avec un défaut de cimentation du puits.	0	
		1	Forage dans le Quaternaire ; Forage au droit de sites pollués
		2	Forage dans le Tertiaire
		3	Forage dans le Mésozoïque ; Milieu fracturé/fissuré ; Présence supposée d'hydrocarbures gazeux
		4	Présence avérée d'hydrocarbures gazeux

2.5. Phase DÉMANTÈLEMENT

EXPLOITATION DE NAPPE – CLÉ DE QUANTIFICATION DES RISQUES DÉMANTÈLEMENT		
RISQUE	DÉFINITION	PROBABILITÉ
Artésianisme	Jaillissement d'eau sous pression lors d'un forage.	0 Absence de nappe ; Nappe libre
		1 Nappe en charge/captive
		2 Nappe artésienne
		3
		4
Défaut de scellement	Défaut de scellement du puits pouvant permettre des infiltrations d'eau depuis la surface vers la nappe.	0
		1 Surveillance du scellement du puits par un spécialiste
		2
		3 Scellement du puits non surveillé
		4
Dégradation de la cimentation	Dégradation de la cimentation entre le puits et les formations géologiques/hydrogéologiques encaissantes portant atteinte sur la qualité de la nappe.	0
		1 Milieu peu corrosif
		2
		3 Milieu corrosif
		4
Mise en communication de nappes	Création de chemins préférentiels de circulation des eaux entre différentes nappes : - Au sein de l'environnement traversé ; - Au sein de l'aquifère cible ; - Entre l'environnement traversé et l'aquifère cible	0 Pas de nappes superposées
		1 Milieu peu corrosif
		2 Superposition de nappe libre
		Milieu corrosif ; Mouvement de sol permanent : - Glissement profond actif - Glissement superficiel actif
		3 Nappe inférieure captive ou artésienne
4		
Mise en place de matériaux de remplissage inappropriés	Utilisation de matériaux pouvant polluer ou modifier les caractéristiques physico-chimiques de la nappe.	0
		1 Contrôle de la qualité des matériaux et de la mise en œuvre du remplissage
		2
		3 Absence de contrôle de la qualité des matériaux et de la mise en œuvre du remplissage
		4

3. Calcul du niveau de risque

		ECHELLE D'EXPOSITION					ECHELLE DU NIVEAU DE RISQUE	
		0 NON APPLICABLE	1 MINEURE	2 MODÉRÉE	3 IMPORTANTE	4 MAJEURE		
ECHELLE DE PROBABILITÉ	0 NON APPLICABLE	0	0	0	0	0	Non applicable	0
	1 IMPROBABLE	0	1	2	3	4	Risque acceptable	1-3
	2 PEU PROBABLE	0	2	4	6	8	Risque modéré	4-6
	3 PROBABLE	0	3	6	9	12	Risque important	8-9
	4 TRÈS PROBABLE	0	4	8	12	16	Risque majeur	12-16