

anses

agence nationale de sécurité sanitaire  
alimentation, environnement, travail



# Dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables dans les périmètres de protection des captages d'eau destinée à la consommation humaine

Avis de l'Anses

Rapport d'expertise collective

Août 2011

Édition scientifique



**anses**

agence nationale de sécurité sanitaire  
alimentation, environnement, travail



Analyse  
des risques sanitaires  
liés à l'installation,  
à l'exploitation,  
à la maintenance  
et à l'abandon de  
dispositifs d'exploitation  
d'énergies renouvelables  
(géothermie, capteurs  
solaires et éoliennes)  
dans les périmètres  
de protection  
des captages d'eau  
destinée à la  
consommation humaine

Avis de l'Anses

Rapport d'expertise collective

Août 2011

Édition scientifique

## **AVIS**

### **de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail**

**relatif à l'analyse des risques sanitaires liés à l'installation, à l'exploitation, à la maintenance et à l'abandon de dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables (géothermie, capteurs solaires et éoliennes) dans les périmètres de protection des captages d'eau destinée à la consommation humaine**

---

*L'Anses met en œuvre une expertise scientifique indépendante et pluraliste.*

*L'Anses contribue principalement à assurer la sécurité sanitaire dans les domaines de l'environnement, du travail et de l'alimentation et à évaluer les risques sanitaires qu'ils peuvent comporter.*

*Elle contribue également à assurer d'une part la protection de la santé et du bien-être des animaux et de la santé des végétaux et d'autre part l'évaluation des propriétés nutritionnelles des aliments.*

*Elle fournit aux autorités compétentes toutes les informations sur ces risques ainsi que l'expertise et l'appui scientifique technique nécessaires à l'élaboration des dispositions législatives et réglementaires et à la mise en œuvre des mesures de gestion du risque (article L.1313-1 du code de la santé publique).*

*Ses avis sont rendus publics.*

---

#### **1. RAPPEL DE LA SAISINE**

L'Agence française de sécurité sanitaire des aliments (Afssa), devenue depuis le 1<sup>er</sup> juillet 2010, Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses), a été saisie le 22 février 2010 par la Direction générale de la santé (DGS) d'une demande d'évaluation des risques sanitaires liés à l'installation, à l'exploitation, à la maintenance et à l'abandon de dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables dans les périmètres de protection des captages (PPC) utilisés pour la production d'eau destinée à la consommation humaine (EDCH).

#### **2. CONTEXTE ET OBJET DE LA SAISINE**

La loi de programmation n° 2005-781 (loi POPE) du 13 juillet 2005 fixant les orientations de la politique énergétique, transposant en droit français la directive 2001/77/CE du 27 septembre 2001<sup>1</sup> et les lois du Grenelle de l'environnement préconisent l'augmentation de la part des énergies renouvelables dans la consommation finale d'énergie. Dans ce contexte, les Agences régionales de santé (ARS) sont de plus en plus sollicitées par les promoteurs et par les collectivités en vue de l'implantation de systèmes de récupération d'énergies renouvelables dans les PPC utilisés pour la production d'EDCH en raison des servitudes qui y sont créées et qui, dans certains cas, peuvent interdire, supprimer ou limiter le développement de certaines activités, notamment agricoles.

---

<sup>1</sup> Directive 2009/28/CE du 23 avril 2009 relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables et modifiant puis abrogeant les directives 2001/77/CE et 2003/30/CE.

Les principales énergies renouvelables, utilisées pour la production d'électricité ou de chaleur (chauffage et/ou production d'eau chaude sanitaire), susceptibles de présenter un risque pour les ressources en eaux destinées à la production d'EDCH sont les énergies éolienne, solaire et géothermique. Les risques liés à l'énergie hydraulique traités précédemment par un autre groupe de travail<sup>2</sup>, la géothermie de surface (puits canadien ou puits provençal) qui ne nécessite qu'un creusement du sol de très faible profondeur, l'aérothermie qui n'exige pas de creusement du sol, la géothermie profonde stimulée (EGS – Enhanced Geothermal System) qui n'existe qu'à titre expérimental en France, les installations de production de biomasse qui n'ont pas d'impact spécifique sur les ressources en eau, les installations solaires thermiques individuelles essentiellement installées sur des bâtiments et les installations thermodynamiques industrielles qui n'existent pas en France métropolitaine n'ont pas été étudiées.

L'expertise conduite dans le cadre de cette saisine ne prend en compte que les risques encourus pour les ressources en eau souterraine destinées à la production d'EDCH car les terrains inclus dans les PPC jouent un rôle déterminant dans la protection de la qualité de l'eau en permettant la rétention voire la dégradation des polluants et nécessite *de facto* une extension importante de ces derniers alors que, dans le cas des prises d'eau de surface, les périmètres ont seulement pour but d'assurer la sécurité de l'alimentation en eau vis-à-vis des écoulements superficiels pouvant atteindre rapidement celles-ci. Par ailleurs, les PPC des prises d'eau de surface, peu étendus et constitués de bandes en bordure de cours d'eau ou de plans d'eau, qui plus est en zone fréquemment inondable ou en zone de battement des plans d'eau, présentent peu d'intérêt pour l'implantation de dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables.

L'objectif de ce travail est :

- d'analyser les principaux risques sanitaires liés à l'installation, à l'exploitation, à la maintenance et à l'abandon des différents systèmes de récupération d'énergie renouvelable (géothermie, solaire, éolien) dans les différents PPC,
- de proposer, à titre d'exemple, des mesures de maîtrise des points critiques identifiés qui devraient être mises en œuvre et contrôlées lorsque l'installation de systèmes de récupération d'énergie renouvelable est autorisée.

Pour rappel, les PPC visent à assurer la protection de la ressource en eau, vis-à-vis des pollutions (principalement ponctuelles et accidentelles) de nature à rendre l'eau impropre à la consommation humaine. Trois périmètres peuvent être instaurés<sup>3</sup> :

- un périmètre de protection immédiate (PPI), obligatoire, généralement d'une superficie de quelques centaines de m<sup>2</sup>, qui a pour fonction d'empêcher la détérioration des ouvrages de prélèvement et d'éviter que des déversements ou des infiltrations de substances polluantes et de contaminants microbiologiques se produisent à l'intérieur ou à proximité immédiate du captage. Les terrains constituant le PPI doivent être acquis en pleine propriété<sup>4</sup> par le bénéficiaire de la déclaration d'utilité publique et, sauf dérogation, être clôturés ;

---

<sup>2</sup> Afssa (2008). "Lignes directrices pour l'installation de turbines hydroélectriques sur des canalisations d'eaux brutes utilisées pour la production d'eaux destinées à la consommation humaine, sur des canalisations d'eaux en cours de traitement et sur des canalisations d'eaux destinées à la consommation humaine." Rapport n° 2008-SA-0013.

<sup>3</sup> DGS (Mai 2008). "Eau et santé - Guide technique - Protection des captages d'eau - Acteurs et stratégies." Ministère de la santé et des sports.

<sup>4</sup> Lorsque ces terrains dépendent du domaine de l'État, ils doivent seulement faire l'objet d'une convention de gestion dans le cadre du code du domaine de l'État.

- un périmètre de protection rapprochée (PPR) d'extension variable, généralement indispensable. C'est une zone tampon vis-à-vis des activités à risque qui doit permettre de disposer d'un délai de réaction suffisant en cas de pollution. Dans ce périmètre sont interdits ou réglementés les travaux, installations, activités, dépôts, ouvrages, aménagements ou occupation des sols susceptibles d'entraîner une pollution de nature à rendre l'eau impropre à la consommation humaine ;
- un périmètre de protection éloignée (PPE), facultatif, correspondant à tout ou partie de l'aire d'alimentation du captage non incluse dans le PPR. Sa création ne doit être envisagée que dans le cas où certaines activités peuvent être à l'origine de pollutions importantes et que l'instauration de prescriptions particulières (réglementation de travaux, installations, activités, dépôts, ouvrages, aménagements ou occupations des sols qui, compte tenu de la nature des terrains, présentent un danger de pollution pour les eaux prélevées) paraît de nature à réduire les risques de façon significative.

### 3. ORGANISATION DE L'EXPERTISE

L'expertise a été réalisée dans le respect de la norme NF X 50-110 « Qualité en expertise – Prescriptions générales de compétence pour une expertise (Mai 2003) ».

L'expertise collective a été confiée au groupe de travail (GT) « Analyse des risques sanitaires liés à l'installation, à l'exploitation, à la maintenance et à l'abandon de dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables (géothermie, capteurs solaires et éoliennes) dans les périmètres de protection des captages d'eau utilisés pour la production d'eau destinée à la consommation humaine » mis en place le 5 mai 2010.

Le syndicat des énergies renouvelables (SER), les sociétés CFG Services et EOLES, Électricité de France Énergies nouvelles (EDF EN) et le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) ont été auditionnés par le GT.

L'analyse des risques sanitaires a été réalisée en s'appuyant sur les méthodes suivantes :

- « Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité » (AMDEC),
- « Analyse des dangers et de détermination des points critiques pour leur maîtrise » (HACCP – *Hazard Analysis Critical Control Point*).

Les risques pour la ressource en eau ont été caractérisés en croisant les dangers liés aux impacts des installations et/ou des opérations pendant les différentes phases des projets (étude, installation, exploitation, maintenance, abandon) et l'existence ou non de moyens de maîtrise avec la vulnérabilité de la nappe. Pour cette analyse ont été pris en compte les données de la bibliographie et le contenu des dossiers de demande d'installation de dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables dans les PPC destinés à la production d'EDCH reçus par les ARS et transmis à l'Anses par la DGS (31 dossiers dont 14 relatifs à l'éolien, 11 à l'énergie solaire photovoltaïque et 6 à la géothermie).

L'analyse conduite et les conclusions des travaux du groupe de travail ont été adoptées par le CES « Eaux » le 5 juillet 2011.

**4. ANALYSE ET CONCLUSION DU CES « EAUX »****4.1. Impacts des dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables et mesures de maîtrise envisageables**Géothermie*1°) Systèmes fermés horizontaux et en corbeille*

La fragilisation du milieu due à la réalisation des travaux est limitée en raison de leur faible ampleur (faible surface de terrain concernée et faible excavation du terrain) et de leur courte durée (1 semaine environ).

En cas de fuite ou de déversement de fluides frigorigène ou caloporteur (faible volume) durant la phase de chantier, lors des opérations de maintenance ou en cas de détérioration des réseaux, les fluides frigorigènes s'évaporeront et la fraction glycolée des fluides caloporteurs se dégradera dans la zone non saturée du sous-sol. L'utilisation d'un mélange eau/propylène glycol non adjuvanté ou de fluides caloporteurs inscrits sur la liste « A »<sup>5</sup> doit cependant être recommandée. Par ailleurs, les réseaux enterrés doivent être signalés.

*2°) Systèmes fermés verticaux*

En raison de leur longueur, les sondes ou les pieux atteignent en général la nappe sous-jacente.

Les opérations de foration et ultérieurement le vieillissement des sondes ou des pieux, peuvent conduire à la contamination de la nappe souterraine par les boues et hydrocarbures utilisés pour la foration et par l'infiltration d'eaux parasites lors du vieillissement des systèmes. Le respect des règles de l'art en matière de foration, de réalisation, de mise en œuvre et d'entretien des sondes ou des pieux réduit le risque de contamination mais ne le supprime pas.

La mise en communication de nappes différentes, bien qu'interdite, est également possible. Au regard de la technique de réalisation des sondes ou des pieux, il n'existe pas de moyen de maîtrise.

En cas de fuite ou de déversement de fluides caloporteurs lors de la phase de chantier, des opérations de maintenance ou de la détérioration des sondes ou des pieux, le volume déversé sera faible, mais la dégradation de la fraction glycolée du fluide sera difficile, voire nulle, en l'absence d'une épaisseur suffisante de terrain non saturé. En conséquence, l'utilisation d'un mélange eau/propylène glycol non adjuvanté ou de fluides caloporteurs inscrits sur la liste « A »<sup>5</sup> est recommandée.

Lors de la phase d'abandon, la vidange, l'obturation et l'étanchement de la sonde ou des pieux selon les règles de l'art sont recommandés.

---

<sup>5</sup> Circulaire DGS/PGE/1.D. n°942 du 2 juillet 1985 relative au traitement thermique des eaux destinées à la consommation humaine - Article 16-9 du Règlement Sanitaire Départemental type - Circulaire DGS/PGE/1.D. n°357 du 2 mars 1987 relative à la mise à jour des listes de fluides et additifs utilisés pour le traitement thermique des eaux destinées à la consommation humaine.

### 3°) Systèmes ouverts verticaux

Aux possibles impacts identifiés pour les systèmes fermés verticaux s'ajoutent, pour les systèmes ouverts, ceux liés au fait qu'ils créent un accès direct et permanent à la nappe souterraine lors du prélèvement ou du rejet d'eau, sauf si ce dernier se fait dans le milieu superficiel.

Ces systèmes pouvant interférer avec d'autres ouvrages exploitant la même nappe, l'élaboration par les services de l'État de plans d'exploitation de l'énergie géothermique est donc nécessaire.

La réinjection de l'eau utilisée dans la nappe souterraine s'accompagne localement d'une modification des caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques de cette dernière (Jaudin 1988<sup>6</sup>; Bonte *et al.* 2011a<sup>7</sup>; Bonte *et al.* 2011b<sup>8</sup>; Sowers *et al.* 2006<sup>9</sup>; Brielmann *et al.* 2009<sup>10</sup>).

Enfin, en cas d'utilisation d'inhibiteurs de corrosion, de produits séquestrants et dispersants pour protéger les ouvrages de la corrosion ou des incrustations, ceux-ci se retrouveront dans la nappe.

### Énergie solaire photovoltaïque

Sur les sites d'implantation des centrales photovoltaïques, la modification parfois nécessaire de la topographie du site, la création de chemins d'exploitation, l'implantation de bâtiments abritant les équipements électriques, la surface couverte par les panneaux peuvent modifier la perméabilité du sol et les conditions d'écoulement des eaux de pluie.

L'incendie des équipements électriques peut conduire à la formation de sous-produits de combustion mal connus. Selon Lincot *et al.* (2009), pour les panneaux en tellure de cadmium et en cas d'incendie la fuite de cadmium est limitée<sup>11</sup>. Il est important que les équipements électriques respectent les normes en vigueur, que les bâtiments abritant ces derniers résistent à l'incendie, que des parafoudres soient installés et que la végétation au sol et en périphérie soit entretenue et son développement limité.

<sup>6</sup> Jaudin F. (1988). "Eaux souterraines et pompes à chaleur, guide pour l'utilisation de l'eau souterraine à des fins thermiques." Edition BRGM.

<sup>7</sup> Bonte M.; Stuyfzand P.J.; Hulsmann A.; Van Beelen P. (2011a). "Underground thermal energy storage: environmental risks and policy developments in the Netherlands and European Union." Ecology and Society **16**(1): art22.

<sup>8</sup> Bonte M.; Stuyfzand P.J.; Van den berg G.A.; Hijnen W.A.M. (2011b). "Effects of aquifer thermal energy storage on groundwater quality and the consequences for drinking water production: a case study from the Netherlands." Water Science & Technology **63**(9): 1922-1931.

<sup>9</sup> Sowers L.; York K.P.; Stiles L. (2006). "Impact of thermal buildup on groundwater chemistry and aquifer microbes." Unpublished manuscript: [http://intra.web.stockton.edu/eyos/energy\\_studies/content/docs/FINAL\\_PRESENTATIONS/4A-5.pdf](http://intra.web.stockton.edu/eyos/energy_studies/content/docs/FINAL_PRESENTATIONS/4A-5.pdf).

<sup>10</sup> Brielmann H.; Griebler C.; Schmidt S.I.; Michel R.; Lueders T. (2009). "Effects of thermal energy discharge on shallow groundwater ecosystems." FEMS Microbiology Ecology **68**(3): 273-286.

<sup>11</sup> Lincot D.; Gaucher R.; Alsema E.; Million A.; Jäger-Waldau A. (2009). "Aspects environnementaux, de santé et de sécurité des systèmes photovoltaïques de First Solar contenant du tellure de cadmium." Rapport réalisé sous l'autorité du Ministère français de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer.

## Éolien

Les fondations dont la profondeur dépend des caractéristiques du terrain peuvent éventuellement atteindre la nappe (pieux ou colonnes ballastées dans les zones de faible portance). Les études géotechniques permettant de définir la profondeur des fondations ne sont en général pas réalisées avant l'ouverture du chantier alors que cela est nécessaire.

Des volumes importants d'huile (jusqu'à 700 L) peuvent être utilisés pour la lubrification du rotor mais la nacelle joue le rôle de bac de rétention.

En raison de leur hauteur, les éoliennes étant exposées au foudroiement, sont donc équipées d'un parafoudre.

Lors du démantèlement, seuls les équipements hors sol, la partie superficielle du massif bétonné et les câbles proches de l'éolienne et des équipements électriques (rayon de 10 m autour des installations) sont retirés du sol.

### **4.2. Vulnérabilité de la nappe dans les PPC**

La vulnérabilité est fonction du type de nappe :

1. nappes captives et semi-captives : leur couverture imperméable ou semi-perméable assure une protection vis-à-vis de l'infiltration dans celles-ci, de la plupart des contaminants, à partir du moment où cette couverture présente une continuité. Cette protection est d'autant plus efficace que d'une part la couverture imperméable est épaisse et, d'autre part, que la charge hydraulique de la nappe est importante. Cependant dans le cas des nappes semi-captives, il ne faut pas ignorer les phénomènes de drainance, naturels ou induits par l'exploitation des captages, qui peuvent favoriser l'infiltration de certains composés ;
2. nappes libres : la zone non saturée (sol et partie de l'aquifère située au-dessus de la nappe) constitue un niveau de rétention et de dégradation pour de nombreux contaminants. L'épaisseur de la zone non saturée mais aussi sa nature géologique et en particulier sa teneur en argile ainsi que l'existence ou non d'une fracturation des terrains constituant celle-ci, détermineront l'aptitude de cette zone à retenir les contaminants.

En conséquence, une nappe libre est d'autant moins vulnérable que sa surface piézométrique en période de hautes eaux se situe à une profondeur importante et que la perméabilité de la zone non saturée est faible.

Pour les nappes libres et par ordre décroissant, quatre niveaux de vulnérabilité ont été distingués :

- les nappes peu profondes dont la surface piézométrique est située à moins de 10 m de profondeur en terrain perméable,
- les nappes dont la surface piézométrique est située à plus de 10 m de profondeur en terrain perméable,
- les nappes dont la surface piézométrique est située à moins de 10 m de profondeur mais en terrain semi-perméable,
- les nappes dont la surface piézométrique est située à plus de 10 m de profondeur et en terrain semi-perméable

Pour les milieux karstiques et compte tenu de leur hétérogénéité, une étude de vulnérabilité du secteur concerné doit être réalisée pour les projets d'installation de dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables au regard notamment de :

- l'existence ou non d'une couverture protectrice,
- la densité des zones d'infiltration, de l'importance des eaux de ruissellement, *etc.*

### 4.3. Conclusion et recommandations

Le CES « Eaux » recommande que :

1°) Les risques de dégradation de la qualité des eaux souterraines, liés à l'installation de dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables dans les PPC découlent du croisement des dangers inhérents aux différentes phases des projets (étude, installation, exploitation, maintenance, abandon) et de l'existence ou non de moyens de maîtrise avec la vulnérabilité intrinsèque de la nappe exploitée. C'est la phase du projet qui présente le plus de risques pour la nappe qui détermine le risque global lié à l'installation d'un dispositif.

Le risque évoqué dans la suite du texte sera le risque global de dégradation de la qualité des eaux souterraines.

2°) Dans le PPI, le risque lié à l'installation de dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables est jugé élevé en raison de la très grande proximité des installations à créer avec les ouvrages de captage d'EDCH et de l'accès à ce périmètre de personnes non compétentes en matière d'EDCH. En outre, au regard des dispositions réglementaires relatives aux PPC, la création de nouvelles activités en dehors de celles qui sont explicitement autorisées dans l'acte déclaratif d'utilité publique, est interdite et en raison du risque évoqué, l'installation de dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables dans le PPI d'un captage ne devrait pas faire partie des activités autorisées.

3°) Le risque lié à l'installation de dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables dans le PPR est présenté de façon détaillé dans le tableau en annexe.

Le risque lié à l'installation de systèmes géothermiques fermés horizontaux et en corbeille est jugé négligeable, faible ou modéré en fonction de la vulnérabilité de la nappe car ces systèmes sont peu profonds et ne vont pas se situer dans la nappe captée.

Le risque lié à l'installation de systèmes géothermiques fermés verticaux est jugé élevé en présence d'une nappe libre car rien ne garantit que l'étanchéité entre la sonde ou les pieux et le sol va être totale, que les systèmes vont bien vieillir et que des eaux parasites ne vont pas s'infiltrer le long des sondes ou des pieux. En revanche, le risque est jugé négligeable en présence d'une nappe captive ou semi-captive, sous réserve qu'un écran argileux soit conservé entre la base cimentée de la sonde ou des pieux et la nappe sous-jacente afin de maintenir cette dernière en pression (base cimentée des sondes ou des pieux à plus de 3 m au-dessus de la base de la couverture imperméable de la nappe).

Concernant les doublets géothermiques et quelle que soit la vulnérabilité de la nappe, le risque lié à leur installation dans les PPR est jugé élevé.

Le risque lié aux installations solaires photovoltaïques est jugé faible ou négligeable, excepté en milieu perméable dans les zones où la nappe est libre et peu profonde (< 10 m).

Pour les installations d'éoliennes, le risque :

- est jugé négligeable dans le cas d'une nappe captive ou semi-captive si la base de leurs fondations laisse subsister une épaisseur d'au moins 3 m de l'écran mettant en charge cette dernière ;
- est jugé élevé en présence d'une nappe libre peu profonde (surface piézométrique < 10 m) ;
- est jugé faible ou négligeable en présence d'une nappe libre dont la surface piézométrique en hautes eaux se situe à une profondeur > 10 m, à condition que la base des fondations se situe à plus de 3 m au-dessus du niveau des plus hautes eaux de la nappe.

Par ailleurs, en zone karstique, les risques liés à l'installation de dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables ne peuvent être évalués qu'au cas par cas après une étude de vulnérabilité réalisée par un hydrogéologue agréé en matière d'hygiène publique<sup>12</sup>.

Tout accident dans un système d'exploitation d'énergie renouvelable installé dans un PPR susceptible d'avoir un impact sur la qualité de l'eau doit être immédiatement signalé à l'ARS. Un bilan technique du fonctionnement des dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables installés dans les PPR faisant apparaître les incidents et leurs impacts éventuels sur la qualité de l'eau doit être fourni chaque année aux ARS.

4°) Dans le PPE et si pour tous les dangers identifiés des mesures de maîtrise sont mises en œuvre, les risques seront plus faibles que dans le PPR en raison de l'éloignement du dispositif vis-à-vis du captage d'eau. En outre, au regard des dispositions réglementaires relatives aux PPC, l'installation de dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables ne peut être interdite mais seulement réglementée dans le PPE.

Par ailleurs, il convient de souligner que les risques de pollution des aquifères seront les mêmes qu'ils soient ou non utilisés pour la production d'EDCH d'où la nécessité, pour préserver des ressources futures, de respecter pour les dispositifs susceptibles d'être installés en dehors des PPC, les mêmes exigences que pour ceux situés dans les dits périmètres.

5°) Lorsque le captage n'est pas doté de ses PPC, le risque lié à l'installation de dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables dans l'aire d'alimentation du captage ne peut être évalué qu'au cas par cas au regard de leur proximité vis-à-vis du captage. Cette évaluation doit être faite par un hydrogéologue agréé en matière d'hygiène publique<sup>12</sup>.

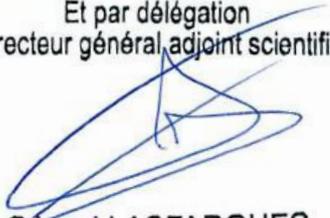
---

<sup>12</sup> Arrêté du 15 mars 2011 relatif aux modalités d'agrément, de désignation et de consultation des hydrogéologues en matière d'hygiène publique.

## 5. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS DE L'AGENCE

L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail adopte la conclusion et les recommandations du CES « Eaux ».

Pour le directeur général  
de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de  
l'alimentation, de l'environnement et du travail  
Et par délégation  
Le directeur général adjoint scientifique



Gérard LASFARGUES

**Le directeur général**

**Marc MORTUREUX**

## MOTS-CLÉS

Eau destinée à la consommation humaine, périmètres de protection des captages d'eau destinée à la consommation humaine, dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables, géothermie, solaire photovoltaïque, éolien.

## ANNEXE

Tableau : Résultat de l'analyse des risques liés à l'installation de dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables dans les périmètres de protection rapprochée (PPR)

Type d'installation	Vulnérabilité de la nappe *	Nappe captive et semi-captive (pas de zone non saturée)	Nappe libre dont la surface piézométrique < 10 m en hautes eaux		Nappe libre dont la surface piézométrique > 10 m en hautes eaux	
			Zone non saturée perméable (> 10 <sup>-4</sup> m/s)	Zone non saturée semi-perméable (de 10 <sup>-7</sup> à 10 <sup>-4</sup> m/s)	Zone non saturée perméable (> 10 <sup>-4</sup> m/s)	Zone non saturée semi-perméable (de 10 <sup>-7</sup> à 10 <sup>-4</sup> m/s)
Installation d'exploitation de l'énergie géothermique Systèmes fermés horizontaux et en corbeilles		Risque Négligeable	Risque Modéré	Risque Faible	Risque Faible	Risque Faible
Installation d'exploitation de l'énergie géothermique Systèmes fermés verticaux		Risque Négligeable (si la base cimentée des sondes ou des pieux est à plus de 3 m au-dessus de la base de la couverture imperméable de la nappe)	Risque Élevé	Risque Élevé	Risque Élevé	Risque Élevé
		Risque Modéré à Élevé (si la base cimentée des sondes ou des pieux est à moins de 3 m au-dessus de la base de la couverture imperméable de la nappe)				
Installation d'exploitation de l'énergie géothermique Systèmes ouverts		Risque Élevé	Risque Élevé	Risque Élevé	Risque Élevé	Risque Élevé
Installation d'exploitation de l'énergie solaire photovoltaïque		Risque Négligeable	Risque Élevé	Risque Faible	Risque Faible	Risque Faible
Installation d'exploitation de l'énergie éolienne		Risque Négligeable (si la base des fondations est à plus de 3 m au-dessus de la base de la couverture imperméable de la nappe)	Risque Élevé	Risque Élevé	Risque Faible (si la base des fondations est à plus de 3 m au-dessus des plus hautes eaux de la nappe)	Risque Négligeable (si la base des fondations est à plus de 3 m au-dessus des plus hautes eaux de la nappe)
		Risque Modéré à Élevé (si la base des fondations est à moins de 3 m au-dessus de la base de la couverture imperméable de la nappe)			Risque Élevé (si la base des fondations est à moins de 3 m au-dessus des plus hautes eaux de la nappe)	Risque Modéré à Élevé (si la base des fondations est à moins de 3 m au-dessus des plus hautes eaux de la nappe)

\* Milieu karstique : étude de vulnérabilité au cas par cas.

---

**Analyse des risques sanitaires liés à l'installation, à l'exploitation, à la maintenance et à l'abandon de dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables (géothermie, capteurs solaires et éoliennes) dans les périmètres de protection des captages d'eau destinée à la consommation humaine**

---

Saisine n° 2010-SA-0047 « ER & PPC »

**RAPPORT  
d'expertise collective**

Comité d'experts spécialisé « Eaux »

**Groupe de travail « Analyse des risques sanitaires liés à l'installation, à l'exploitation, à la maintenance et à l'abandon de dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables (géothermie, capteurs solaires et éoliennes) dans les périmètres de protection des captages d'eau destinée à la consommation humaine »**

**Juillet 2011**

**Mot clés**

Eau destinée à la consommation humaine, périmètres de protection des captages d'eau destinée à la consommation humaine, dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables, géothermie, solaire photovoltaïque, éolien.

## Présentation des participants

**PREAMBULE:** les experts externes, membres de comités d'experts spécialisés, de groupes de travail ou désignés rapporteurs sont tous nommés à titre personnel, *intuitu personae*, et ne représentent pas leur organisme d'appartenance.

### GROUPE DE TRAVAIL

---

#### Président

M. Jean CARRÉ

Hydrogéologie et hydrogéochimie  
École des Hautes Études en Santé Publique (EHESP)  
Comité d'Experts Spécialisé Eaux

#### Membres

M. Gilbert ALCAYDÉ

Géologie et hydrogéologie (Retraité)

M. Olivier CORREC

Matériaux et fluides caloporteurs  
Comité d'Experts Spécialisé Eaux  
Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB)

Mme Sophie HÉRAULT

Réglementation relative à l'eau destinée à la consommation humaine et mise en œuvre des dispositions réglementaires à l'échelon départemental  
Agence Régionale de Santé d'Île de France – Service « Eaux »

M. Pierre LE CANN

Microbiologie des eaux  
École des Hautes Études en Santé Publique (EHESP)  
Comité d'Experts Spécialisé Eaux

M. Jacques MUDRY

Hydrogéologie  
Université de Franche-Comté  
Comité d'Experts Spécialisé Eaux

M. Patrick PEIGNER

Réglementation relative à l'eau destinée à la consommation humaine et mise en œuvre des dispositions réglementaires à l'échelon départemental  
Agence Régionale de Santé des Pays de la Loire – Délégation territoriale du Maine-et-Loire

### PARTICIPATION ANSES

---

Mme Anne NOVELLI

Coordonnatrice du groupe de travail  
Unité d'évaluation des risques liés à l'eau

**PERSONNALITES EXTERIEURES AUDITIONNEES PAR LE GROUPE DE TRAVAIL**

---

Mmes Elsa DEMANGEON et Marion LETTRY, M. Waël ÉLAMINE  
Syndicat des énergies renouvelables (SER)

Mme Gabrielle NEGREL  
Compagnie française de géothermie Services (CFG Services)

Mme Marie-Cécile NESSI, MM. Joseph NICOT-BERENGER, Sébastien ROBERT et Pierre-Guy  
THEROND  
Électricité de France Énergies nouvelles (EDF EN)

Mmes Sonia KOZLOWSKI et Marie FOSSE-PARISIS, M. DELUBAC  
Société EOLE-RES

MM. Romain VERNIER et Jean-Claude MARTIN  
Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM)

# SOMMAIRE

<b>Présentation des participants .....</b>	<b>3</b>
<b>SOMMAIRE .....</b>	<b>5</b>
<b>Listes des tableaux et figures .....</b>	<b>6</b>
<b>Liste des sigles et acronymes.....</b>	<b>7</b>
<b>Glossaire .....</b>	<b>10</b>
<b>1 Introduction .....</b>	<b>12</b>
1.1 Rappel de la saisine .....	12
1.2 Contexte et questions posées .....	12
1.3 Méthode d'expertise .....	14
<b>2 Inventaire et description des dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables .....</b>	<b>16</b>
2.1 Géothermie .....	16
2.1.1 Les systèmes d'échange .....	17
2.1.2 Les différents systèmes de captage de l'énergie.....	18
2.1.3 Les produits utilisés en géothermie .....	21
2.2 Énergie solaire thermique et photovoltaïque .....	25
2.2.1 Énergie solaire thermique et thermodynamique .....	25
2.2.2 Énergie solaire photovoltaïque .....	26
2.3 Éolien .....	29
<b>3 Analyse des risques sanitaires inhérents aux dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables et mesures de maîtrise envisageables des points critiques.....</b>	<b>31</b>
3.1 Impacts des installations .....	31
3.2 Vulnérabilité de la nappe dans les périmètres de protection des captages .....	40
3.2.1 Les nappes captives et semi-captives .....	40
3.2.2 Les nappes libres.....	40
3.3 Résultat de l'analyse des risques .....	41
<b>4 Contexte réglementaire .....</b>	<b>44</b>
4.1 Code de la Santé Publique : Dispositions relatives aux périmètres de protection des captages d'eau destinée à la consommation humaine.....	44
4.2 Dispositions réglementaires et autres applicables aux installations d'exploitation d'énergies renouvelables.....	45
<b>5 Conclusions.....</b>	<b>46</b>
<b>6 Choix bibliographique, règlements et normes .....</b>	<b>48</b>
6.1 Bibliographie .....	48
6.2 Réglementation.....	49
6.3 Normes.....	50
<b>Annexe 1 : Lettre de saisine .....</b>	<b>51</b>
<b>Annexe 2 : Dispositions réglementaires et autres applicables à la géothermie.....</b>	<b>53</b>
<b>Annexe 3 : Dispositions réglementaires et autres applicables aux capteurs solaires photovoltaïques .....</b>	<b>57</b>
<b>Annexe 4 : Dispositions réglementaires et autres applicables aux éoliennes .....</b>	<b>59</b>
<b>Annexe 5 : Dispositions réglementaires et autres applicables aux produits utilisés dans les dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables .....</b>	<b>61</b>
<b>Annexe 6 : Synthèse des déclarations publiques d'intérêts des experts par rapport au champ de la saisine.....</b>	<b>63</b>

## Listes des tableaux et figures

### Liste des tableaux

Tableau I : Synthèse des dispositifs d'exploitation de la géothermie .....	25
Tableau II : Impacts des installations d'exploitation de l'énergie géothermique – Systèmes fermés horizontaux et en corbeille .....	32
Tableau III : Impacts des installations d'exploitation de l'énergie géothermique – Systèmes fermés verticaux .....	33
Tableau IV : Impacts des installations d'exploitation de l'énergie géothermique – Systèmes ouverts .....	35
Tableau V : Impacts des installations d'exploitation de l'énergie solaire photovoltaïque .....	37
Tableau VI : Impacts des installations d'exploitation de l'énergie éolienne .....	39
Tableau VII : Vulnérabilité d'une nappe libre .....	41
Tableau VIII : Résultat de l'analyse des risques liés à l'installation de dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables dans les périmètres de protection rapprochée (PPR) .....	43
Tableau IX : Obligations réglementaires .....	57

### Listes des figures

Figure 1 : Schéma de principe des différents types de géothermie étudiés dans l'analyse des risques .....	17
Figure 2 : Schéma d'une pompe à chaleur .....	18
Figure 3 : Schéma d'un procédé à détente directe .....	19
Figure 4 : Schéma d'un procédé à fluide intermédiaire .....	19
Figure 5 : Schéma d'un procédé mixte .....	19
Figure 6 : Schéma simplifié d'une installation solaire thermique .....	26
Figure 7 : Schéma d'une installation photovoltaïque .....	27
Figure 8 : Schéma d'une éolienne .....	30
Figure 9 : Schéma représentatif des types de nappes et de leur vulnérabilité .....	41

## Liste des sigles et acronymes

- ADEME** : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie.
- Afssa** : Agence française de sécurité sanitaire des aliments.
- Afsset** : Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail.
- AMDEC** : Méthode d'analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité.
- Anses** : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (issue de la fusion de l'Afssa et de l'Afsset le 1<sup>er</sup> juillet 2010).
- ARENE** : Agence régionale de l'environnement et des nouvelles énergies.
- ARS** : Agence régionale de santé.
- BSS** : Banque des données du sous-sol.
- BRGM** : Bureau de recherches géologiques et minières.
- ATEC** : Avis technique du Centre scientifique et technique du bâtiment.
- CES** : Comité d'experts spécialisé.
- CETIAT** : Centre technique des industries aéronautiques et thermiques.
- CFC** : Chlorofluorocarbure.
- CFG** : Compagnie française de géothermie.
- CSHPF** : Conseil supérieur d'hygiène publique de France.
- CSP** : Code de la santé publique.
- CSTB** : Centre scientifique et technique du bâtiment.
- DGS** : Direction générale de la santé.
- DIREN** : Direction régionale de l'environnement.
- DP** : Déclaration préalable.
- DRE** : Direction régionale de l'équipement.
- DREAL** : Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement (fusion de la DRIRE, de la DIREN et de la DRE).
- DRIRE** : Direction régionale de l'industrie, de la recherche et de l'environnement.
- DUP** : Déclaration d'utilité publique.
- EDCH** : Eau destinée à la consommation humaine.

- EDF EN** : Électricité de France Énergies nouvelles.
- EGS** : Enhanced geothermal system.
- GFES** : Gaz fluoré à effet de serre.
- HACCP** : Hazard analysis critical control point.
- HCFC** : Hydrochlorofluorocarbure.
- HFC** : Hydrofluorocarbure.
- ICPE** : Installation classée pour la protection de l'environnement.
- Loi POPE** : Loi de programmation fixant les orientations de la politique énergétique de la France.
- MEEDDM** : Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer.
- MEDDTL** : Ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement.
- OED** : Office des eaux et des déchets.
- PAC** : Pompe à chaleur.
- PC** : Permis de construire.
- PE 100** : Polyéthylène dont la classification de résistance hydrostatique (Minimum Required Strength ou MRS) est de 10 Mpa à 20°C.
- PEHD** : Polyéthylène haute densité.
- PE-X** : Polyéthylène réticulé.
- PLU** : Plan local d'urbanisme.
- POS** : Plan d'occupation des sols.
- PPC** : Périmètres de protection de captage d'eau destinée à la consommation humaine.
- PPE** : Périmètre de protection éloignée.
- PPI** : Périmètre de protection immédiate.
- PPR** : Périmètre de protection rapprochée.
- RSD** : Règlement sanitaire départemental.
- SAO** : Substance appauvrissant la couche d'ozone.
- SER** : Syndicat des énergies renouvelables.
- SHOB** : Surface hors œuvre brute de la construction.
- SRE** : Schéma régional éolien.

**UTE :** Union technique de l'électricité.

**ZDE :** Zone de développement éolien.

**ZNIEFF :** Zone naturelle d'intérêt écologique, faunistique et floristique.

**ZPPAUP :** Zone de protection du patrimoine architectural, urbain et paysager.

## Glossaire

**Aérothermie** : utilisation de l'énergie thermique de l'air. La chaleur est prélevée dans l'air extérieur, puis transférée par la pompe à chaleur dans l'air ambiant du logement ou dans le circuit d'eau chaude de l'installation de chauffage.

**Aire d'alimentation du captage** : surface qui reçoit la pluie drainée par un captage.

**Aquifère** : corps (couche, massif) de roches perméables comportant une zone saturée (ensemble du milieu solide et de l'eau contenue), suffisamment conducteur d'eau souterraine pour permettre l'écoulement significatif d'une nappe souterraine et le captage de quantités d'eau appréciables. Un aquifère peut comporter une zone non saturée (Castany et Margat 1977).

**Biomasse** : fraction biodégradable des produits, des déchets et des résidus d'origine biologique provenant de l'agriculture (y compris les substances végétales et animales), de la sylviculture et des industries connexes, y compris la pêche et l'aquaculture, ainsi que la fraction biodégradable des déchets industriels et municipaux (Directive 2009/28/CE du 23 avril 2009).

**Capteur** : terme couramment utilisé pour désigner l'échangeur qui prélève l'énergie dans le sol, l'eau ou l'air.

**Capteur vertical (échangeur géothermique vertical)** : échangeur géothermique très basse énergie qui permet de prélever ou d'injecter au sous-sol de la chaleur. Son usage, en liaison avec la pompe à chaleur (PAC), peut être le chauffage ou la climatisation (PAC réversible), mais également le refroidissement (free cooling) par by-pass de la PAC. La sonde géothermique verticale est constituée d'un forage vertical de plusieurs dizaines de mètres de profondeur, dans lequel est insérée une boucle de sonde, raccordée à une pompe à chaleur. Un fluide caloporteur circule à l'intérieur des tubes, en circuit fermé, pour prélever ou restituer l'énergie du sous-sol, la transporter et la restituer à la pompe à chaleur (NF X 10-970 de janvier 2011).

**Capteur horizontal (échangeur géothermique horizontal)** : réseau de tubes placés à faible profondeur (50 à 150 cm). Il existe des variantes où les tubes sont disposés à deux, voire trois niveaux, intégrés dans des tranchées.

**Corbeille (échangeur vertical en spirale)** : échangeur mis en place à une profondeur comprise entre 3 à 10 m occupant une surface moins importante que le capteur horizontal.

**Développement d'un forage** : opérations destinées à améliorer la perméabilité du terrain au contact d'un forage.

**Drainance** : flux d'eau à composante essentiellement verticale ascendante ou descendante passant d'un aquifère à un autre au travers d'une couche semi-perméable (Castany et Margat 1977).

**Énergie géothermique** : énergie emmagasinée sous forme de chaleur dans le sol et le sous-sol.

**Énergie renouvelable (= énergie produite à partir de sources renouvelables)** : énergie produite à partir de sources non fossiles, à savoir : énergies éolienne, solaire, aérothermique, géothermique, hydrothermique, marine et hydroélectrique, biomasse, gaz de centres d'enfouissement de déchets, gaz des stations d'épuration d'eaux usées et biogaz (Directive 2009/28/CE du 23 avril 2009).

**Enthalpie** : grandeur dont la variation engendre l'absorption ou la production de chaleur. L'unité est exprimée en Joules par kilogramme (J/kg) (Béranger 2008).

**Éolienne (aérogénérateur ou turbine) :** système complet permettant de convertir l'énergie mécanique du vent en énergie électrique. Les aérogénérateurs les plus courants sont à axe horizontal et comprennent un mât, un rotor (composé de deux ou trois pales) et une nacelle. Pour désigner un ensemble d'aérogénérateurs, on emploie habituellement le terme de « parc éolien » (MEEDDM 2010).

**Mélange zéotropique :** mélange dont la température varie au cours d'un changement d'état (condensation, évaporation).

**Nappe captive :** partie d'une nappe dont la surface piézométrique est supérieure au toit de l'aquifère qui la contient.

**Nappe libre :** nappe à surface libre, comprise dans un aquifère qui comporte une zone non saturée de caractéristiques semblables à celles de la zone saturée et une zone de fluctuation (Castany et Margat 1977).

**Niveau piézométrique :** niveau libre de l'eau mesuré dans un ouvrage en communication avec un aquifère (NF X 10-970 de janvier 2011).

**Onduleur :** dispositif électronique permettant de transformer le courant continu en courant alternatif compatible avec celui du réseau électrique (MEDDTL 2001).

**Pieu géothermique (fondation géothermique) :** capteur vertical (échangeur géothermique vertical) placé au cœur des fondations des bâtiments.

**Piézomètre :** puits ou forage utilisé pour la mesure du niveau altimétrique de la nappe en un point d'un aquifère et permettant de déduire la charge hydraulique en ce point.

**Pompe à chaleur (PAC) :** dispositif thermodynamique qui prélève la chaleur présente dans un milieu (par exemple air, eau ou terre) pour la transférer vers un autre (par exemple un logement à chauffer) (NF X 10-970 de janvier 2011).

**Puissance crête :** puissance, exprimée en watts, délivrée par un module photovoltaïque sous un ensoleillement optimum de 1 kW/m<sup>2</sup> et à une température standard de 25°C (MEDDTL 2001).

**Source froide :** milieu où l'on puise des calories à basse température (Béranger 2008).

**Source chaude :** milieu où l'on restitue des calories à haute température (Béranger 2008).

**Surface piézométrique :** surface idéale qui représente la distribution des charges hydrauliques (niveaux piézométriques) d'une nappe.

**Tour solaire :** tour autour de laquelle sont installés plusieurs centaines ou milliers de miroirs orientables (héliostats) réfléchissant en permanence les rayons du soleil en direction d'un échangeur thermique.

**Transformateur :** dispositif permettant d'élever la tension au niveau requis pour l'injection du courant dans le réseau électrique.

**Zone non saturée :** zone du sous-sol comprise entre la surface du sol et la surface d'une nappe libre (Castany et Margat 1977).

**Zone saturée :** zone du sous-sol dans laquelle l'eau occupe complètement les interstices des roches, formant, dans un aquifère, une nappe souterraine (Castany et Margat 1977).

# 1 Introduction

## 1.1 Rappel de la saisine

L'Agence française de sécurité sanitaire des aliments (Afssa), devenue depuis le 1<sup>er</sup> juillet 2010, Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses), a été saisie le 22 février 2010 par la Direction générale de la santé (DGS) d'une demande d'évaluation des risques sanitaires liés à l'installation, à l'exploitation, à la maintenance et à l'abandon de dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables dans les périmètres de protection des captages (PPC) utilisés pour la production d'eau destinée à la consommation humaine (EDCH) (cf. annexe 1).

## 1.2 Contexte et questions posées

Avec la loi de programmation n° 2005-781 (loi POPE) du 13 juillet 2005 fixant les orientations de la politique énergétique, transposant en droit français la directive 2001/77/CE du 27 septembre 2001, la France s'est engagée à développer les énergies renouvelables afin de réduire, en application des accords de Kyoto, sa dépendance énergétique aux énergies fossiles d'une part et de diminuer ses émissions de gaz à effet de serre d'autre part. Elle s'est fixée les objectifs nationaux suivants :

- augmentation de 15% à 21% de la part de la consommation nationale d'électricité d'origine renouvelable provenant de l'éolien, de la biomasse et, dans une moindre mesure, de l'hydroélectricité ;
- augmentation d'ici 2015 de 50% de la production de chaleur d'origine renouvelable (géothermie).

S'y ajoutent les objectifs des lois du Grenelle de l'environnement qui préconisent aussi l'augmentation de la part des énergies renouvelables dans la consommation finale d'énergie (23% en 2020).

Dans ce contexte, la recherche de secteurs favorables à l'implantation de systèmes de récupération d'énergies renouvelables (dispositifs géothermiques, capteurs solaires, éoliennes, etc.) se développe. Les Agences régionales de santé (ARS) sont ainsi de plus en plus sollicitées par les promoteurs et par les collectivités pour installer ces systèmes dans les périmètres de protection des captages (PPC) d'eau destinée à la consommation humaine et, en particulier, dans les périmètres de protection rapprochée (PPR) en raison des servitudes qui y sont créées et qui, dans certains cas, peuvent interdire, supprimer ou limiter le développement de certaines activités, notamment agricoles. L'installation de ces systèmes dans les PPR, libère aussi les collectivités de l'entretien de ces derniers (fauchage par exemple).

Pour instruire ces demandes, les ARS s'appuient, lorsqu'elles existent, sur les dispositions de l'arrêté préfectoral, pris en application de l'article R. 1321-13 du code de la santé publique (CSP), d'autorisation du captage d'eau destinée à la consommation humaine concerné, incluant la déclaration d'utilité publique (DUP) des PPC et des servitudes associées.

Les PPC visent à assurer la protection de la ressource en eau vis-à-vis des pollutions de nature à rendre l'eau impropre à la consommation (principalement ponctuelles et accidentelles). Trois périmètres peuvent être instaurés :

- un périmètre de protection immédiate (PPI) autour du point de prélèvement dont les terrains doivent être acquis en pleine propriété<sup>1</sup> par le bénéficiaire de la DUP et doivent être, sauf dérogation, clôturés. Le PPI a pour fonction d'empêcher la détérioration des ouvrages de prélèvement et d'éviter que des déversements ou des infiltrations de substances polluantes et de contaminants microbiologiques se produisent à l'intérieur ou à proximité immédiate du captage ;
- un périmètre de protection rapprochée (PPR) qui doit protéger efficacement le captage vis-à-vis de la migration souterraine de substances polluantes. Son étendue est variable en fonction du contexte hydrogéologique et peuvent y être interdits ou réglementés les travaux, installations, activités, dépôts, ouvrages, aménagement ou occupation des sols, etc., susceptibles d'entraîner une pollution de nature à rendre l'eau impropre à la consommation humaine ;
- un périmètre de protection éloignée (PPE), facultatif, correspondant à tout ou partie de l'aire d'alimentation du captage non incluse dans le PPR et dans lequel peuvent être réglementés les travaux, installations, activités, dépôts, ouvrages, aménagements ou occupations des sols, etc., pouvant être à l'origine de pollutions importantes et lorsque l'instauration de prescriptions particulières paraît de nature à réduire les risques de façon significative pour les eaux prélevées.

Deux situations se présentent alors :

- soit la demande d'installation de systèmes de récupération d'énergies renouvelables est visée dans l'arrêté préfectoral de déclaration d'utilité publique des PPC et la réponse à la demande doit se conformer aux prescriptions de ce dernier (cas de procédures récentes),
- soit elle n'est pas prévue dans ce dernier et nécessite la modification de l'arrêté préfectoral à la demande de la collectivité (cas de procédures anciennes qui ne prévoyaient pas le développement des énergies renouvelables). Dans ce dernier cas, l'installation de systèmes de récupération d'énergies renouvelables peut se heurter à certaines prescriptions telles que la non constructibilité des parcelles ou l'interdiction de création de nouvelles routes.

Toutefois, il n'existe pas à l'heure actuelle, en ce qui concerne l'implantation de dispositifs de récupération d'énergies renouvelables dans les PPC, de position sanitaire nationale au regard des risques de pollutions éventuelles des eaux captées liés à de telles implantations.

Les énergies éolienne, hydraulique, solaire, la biomasse et la géothermie sont les principales énergies renouvelables. Celles-ci sont notamment utilisées pour produire de l'électricité ou de la chaleur (chauffage et/ou production d'eau chaude sanitaire).

Concernant l'énergie hydraulique, le rapport de l'Afssa de 2008 relatif à l'installation de centrales hydroélectriques sur les systèmes d'adduction d'eau potable (que ce soit ou non dans les PPC) recommande que soient réalisées au préalable une identification des dangers et une évaluation des risques de contamination de l'eau. Les lignes directrices de l'Afssa attirent l'attention sur les risques que ce type de technologie induit et sur les mesures de maîtrise à mettre en œuvre (Afssa 2008a).

L'expertise conduite dans le cadre de cette saisine ne prend en compte que les risques pour les ressources en eau destinées à la production d'EDCH.

Seules les ressources souterraines sont étudiées. En effet, à la différence des captages d'eau souterraine pour lesquels le secteur de terrain inclus dans les PPC joue un rôle déterminant dans la protection de la qualité de l'eau en permettant la rétention voire la dégradation des polluants et nécessite *de facto* une extension importante, la protection des prises d'eau de surface vise

<sup>1</sup> Lorsque ces terrains dépendent du domaine de l'État, ils doivent seulement faire l'objet d'une convention de gestion dans le cadre du code du domaine de l'État.

seulement une sécurisation de l'alimentation en eau vis-à-vis des écoulements superficiels pouvant atteindre rapidement celles-ci. En conséquence, les PPC des prises d'eau sont constitués de bandes de terrain en berge, étroites et d'extension longitudinale limitée au regard de celle des cours d'eau ou des plans d'eau qui les alimentent. La faible superficie des PPC des prises d'eau, leur localisation en fond de vallée ou dans des cuvettes, leur localisation en zone inondable ou de battement du niveau des plans d'eau en font des secteurs peu favorables à l'implantation de dispositifs de récupération d'énergies renouvelables.

La géothermie de surface (puits canadien ou puits provençal) ne nécessitant qu'un creusement du sol de faible profondeur (cf. § 2.1), l'aérothermie ne nécessitant pas de creusement du sol et la géothermie profonde stimulée (EGS – Enhanced Geothermal System) n'existant qu'à titre expérimental en France n'ont pas été examinées dans le cadre de cette saisine. De même, les installations de production de biomasse qui n'ont pas un impact spécifique sur les ressources en eau n'ont pas été étudiées.

Par ailleurs, les installations solaires thermiques et thermodynamiques n'ont pas été abordées dans cette analyse de risques car les dispositifs thermiques individuels sont essentiellement installés sur des bâtiments et les dispositifs thermodynamiques industriels qui peuvent être installés sur le sol, sont peu répandus<sup>2</sup> (cf. § 2.2.1).

Enfin, les éventuelles nuisances sonores, olfactives, esthétiques (impacts architecturaux ou paysagers), pollutions de l'air (émanation de gaz par exemple) et/ou impacts sur la faune et la flore n'ont pas été pris en compte dans cette saisine, de même que les risques pour les opérateurs.

L'objectif de ce travail est:

- d'analyser les principaux risques sanitaires liés à l'installation, à la maintenance, à l'exploitation et à l'abandon de différents systèmes de récupération d'énergie (géothermique, solaire, éolienne) dans les différents périmètres de protection des captages ou, à défaut et selon la nature du terrain et l'hydrogéologie, à proximité des captages lorsque ces périmètres n'ont pas encore été définis réglementairement,
- de proposer, à titre d'exemple, des mesures de maîtrise des points critiques identifiés qui devraient être mises en œuvre et contrôlées lorsque l'implantation de systèmes de récupération d'énergie est autorisée.

### 1.3 Méthode d'expertise

L'expertise a été réalisée dans le respect de la norme NF X 50-110 « Qualité en expertise – Prescriptions générales de compétence pour une expertise (Mai 2003) ».

L'expertise collective a été confiée au groupe de travail (GT) « Analyse des risques sanitaires liés à l'installation, à l'exploitation, à la maintenance et à l'abandon de dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables (géothermie, capteurs solaires et éoliennes) dans les périmètres de protection des captages d'eau utilisée pour la production d'eau destinée à la consommation humaine » mis en place le 5 mai 2010.

<sup>2</sup> Aucun des dossiers de demande d'installation de dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables dans les PPC de captages destinés à la production d'EDCH reçus par les ARS et transmis par la DGS ne concerne cette technologie.

Le syndicat des énergies renouvelables (SER), les sociétés CFG Services et EOLE-RES, Électricité de France Énergies nouvelles (EDF EN) et le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) ont été auditionnés par le GT.

L'analyse des risques sanitaires a été réalisée en s'appuyant sur les méthodes suivantes :

- « Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité » (AMDEC),
- « Analyse des dangers et de détermination des points critiques pour leur maîtrise » (HACCP – *Hazard Analysis Critical Control Point*).

Les risques pour la ressource en eau ont été caractérisés en croisant les dangers liés aux impacts des installations et/ou des opérations pendant les différentes phases des projets (étude, installation, exploitation, maintenance, abandon) et l'existence ou non de moyens de maîtrise avec la vulnérabilité de la nappe. Pour cette analyse ont été pris en compte les données de la bibliographie et le contenu des dossiers de demande d'installation de dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables dans les PPC destinés à la production d'EDCH reçus par les ARS et transmis à l'Anses par la DGS (31 dossiers dont 14 relatifs à l'éolien, 11 à l'énergie solaire photovoltaïque et 6 à la géothermie).

L'analyse conduite et les conclusions des travaux du groupe de travail « Analyse des risques sanitaires liés à l'installation, à l'exploitation, à la maintenance et à l'abandon de dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables (géothermie, capteurs solaires et éoliennes) dans les périmètres de protection des captages d'eau utilisée pour la production d'eau destinée à la consommation humaine » ont été adoptées par le CES « Eaux » de l'Anses lors de la séance du 5 juillet 2011.

## 2 Inventaire et description des dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables

### 2.1 Géothermie

La géothermie est une technique qui exploite l'énergie calorifique des terrains plus ou moins profonds pour produire de la chaleur et/ou de l'électricité. Le captage de la chaleur s'effectue au contact du terrain (échange à partir de la matrice solide et de l'air) et/ou de l'eau des nappes. L'accroissement de la température en fonction de la profondeur (gradient géothermique) est de l'ordre de 3 à 4°C / 100 m dans les zones stables et peut atteindre 10°C / 100 m dans les zones actives (zones d'activité volcanique ou tectoniquement actives).

Les sources froides de la géothermie sont :

- Les couches géologiques : les calories du terrain peuvent être captées soit par des capteurs horizontaux (cas du sol), soit par des capteurs verticaux,
- l'eau des nappes : utilisées comme sources froides pour les doublets géothermiques.

Les différents types de géothermie, présentés dans le schéma (cf. figure 1) sont les suivants (LeDu 2010) :

- **géothermies haute enthalpie (température > 150°C) et moyenne enthalpie (température entre 90°C et 150°C)** pour la production de chaleur et/ou d'électricité : l'exploitation de l'énergie se fait à l'aide de doublets de forages, l'un servant à prélever l'eau « chaude » ou la vapeur d'eau, l'autre à réinjecter l'eau refroidie après échange de chaleur en surface. Pour produire de la chaleur, l'eau peut être utilisée directement soit sous forme liquide, soit sous forme vapeur. Sous cette dernière forme, elle peut également faire fonctionner une turbine afin de produire de l'électricité (Baumgärtner *et al.* 2005; Sustrac 2005a; Bouchot *et al.* 2010a; Gentier et Genter 2010). La géothermie profonde stimulée (EGS) qui vise à extraire la chaleur contenue dans les roches profondes (entre 3 et 6 km) par une stimulation hydraulique et/ou chimique de la perméabilité des fractures naturelles afin d'augmenter les débits et ainsi la puissance électrique produite ne sera pas étudiée dans l'analyse de risques car elle n'existe qu'à titre expérimental en France (Soultz-sous-Forêts en Alsace) ;
- **géothermie basse enthalpie (température comprise entre 30°C et 90°C)** pour la production de chaleur : l'exploitation de l'énergie se fait à l'aide de doublets de forages ou d'un ouvrage unique avec dans ce cas rejet de l'eau dans le milieu superficiel ou *via* un réseau d'eaux pluviales (Laplaige et Desplan 2005; Bouchot *et al.* 2010b) ;
- **géothermie très basse enthalpie (température < 30°C)** pour la production de chaleur : la ressource (sol ou eau) exploitée présente une faible température qui ne permet pas une utilisation directe de la chaleur par simple échange. L'exploitation qui se fait à l'aide d'un doublet de forages, d'un forage unique avec rejet dans le milieu superficiel, de capteurs verticaux ou horizontaux, de pieux ou plus rarement de fondations géothermiques nécessite la mise en œuvre d'une pompe à chaleur (Sustrac 2005b; Terrusse 2005). ;
- **géothermie de surface (puits canadien ou puits provençal)** : elle valorise la température du sol à faible profondeur en faisant circuler de l'air entre l'extérieur et l'intérieur d'un bâtiment dans une conduite enterrée (1,5 à 3 m de profondeur), grâce à un système de ventilation. L'air entrant dans le bâtiment est réchauffé en hiver et rafraîchi en été. Un tel dispositif ne sera pas étudié dans l'analyse de risques car il n'a pas d'impact particulier sur les ressources en eau souterraines (CETIAT 2008).

Les dispositifs exploitant les géothermies basse et très basse enthalpie sont les plus fréquemment rencontrés, les sources de chaleur correspondant alors à des terrains peu profonds facilement accessibles.

Les différents dispositifs comportent :

- un système de captage d'énergie faisant appel soit à l'eau (système ouvert) soit à un fluide caloporteur ou frigorigène (système fermé),
- un système d'échange pour la restitution des calories (cf. § 2.1.1),
- le cas échéant, un système de rejet dans les eaux souterraines ou superficielles lorsque le vecteur de calories est l'eau.

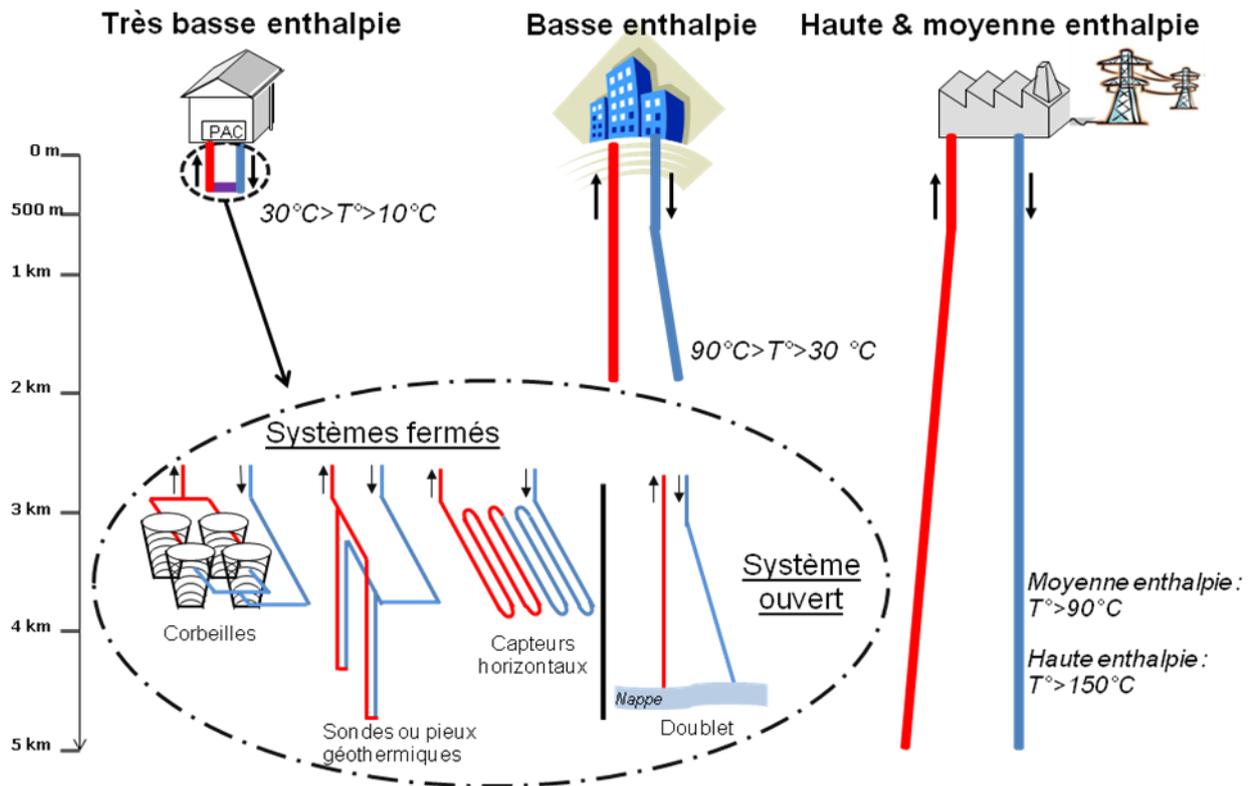


Figure 1 : Schéma de principe des différents types de géothermie étudiés dans l'analyse des risques

### 2.1.1 Les systèmes d'échange

Il en existe plusieurs :

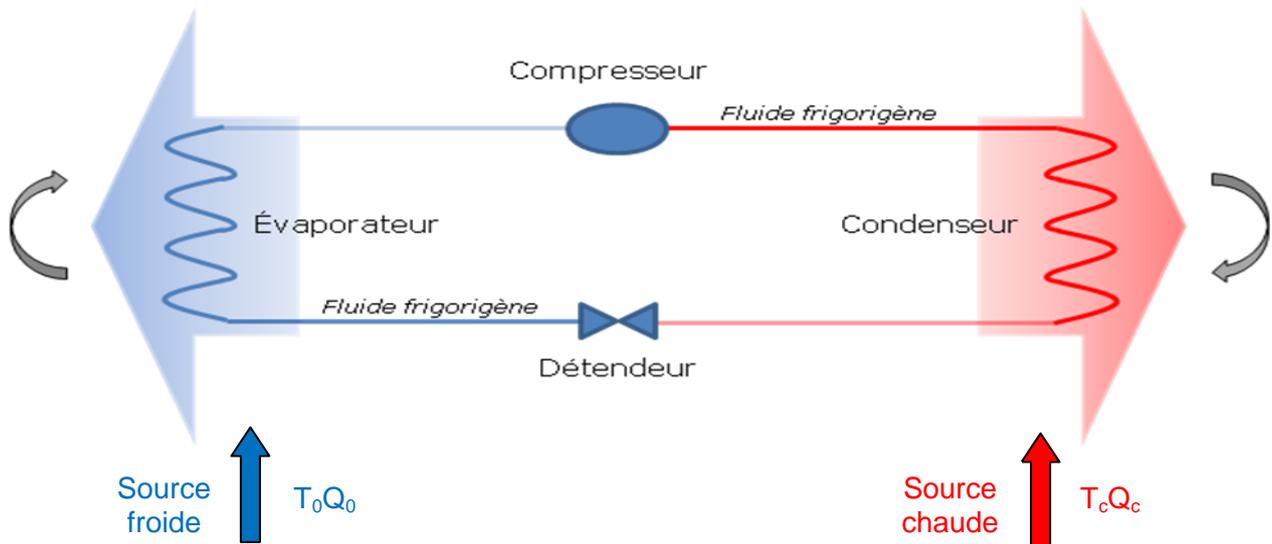
- les divers systèmes d'échange thermique ou de conversion d'énergie (ex. : échangeurs à plaques, à faisceaux, turbines, etc.),
- la pompe à chaleur (PAC) indispensable pour les dispositifs à très basse enthalpie qui peut être à simple échange, double échange, simple paroi, double paroi (Lemale et Gourmez 2008; Béranger 2008).

Une PAC est un système thermodynamique permettant, selon le sens de circulation du fluide frigorigène, soit le chauffage, soit le refroidissement et il existe des PAC réversibles permettant de passer du mode chauffage au mode refroidissement en fonction de la saison.

Une PAC est composée de quatre éléments principaux : le compresseur, le condenseur, le détendeur et l'évaporateur. La chaleur prélevée au niveau de l'environnement est captée par le fluide frigorigène (hydrofluorocarbure ou hydrocarbure) au niveau de l'évaporateur où il change d'état et se transforme en vapeur. Le compresseur comprime cette vapeur, augmentant ainsi sa

température. C'est au niveau du condenseur que la vapeur en se condensant transmet sa chaleur au milieu à chauffer. La température du fluide frigorigène s'abaisse fortement, il redevient liquide et peut à nouveau absorber de la chaleur au niveau de l'évaporateur, le cycle peut recommencer (Lemane et Gourmez 2008; Riederer 2010).

Afin de fiabiliser et de sécuriser le circuit frigorifique s'ajoutent des éléments annexes tels qu'une réserve de fluide frigorigène, un déshydrateur, un anti-bélier, des pressostats haute et basse pression.



$Q_0$  : quantité de chaleur prélevée dans la source froide.

$Q_c$  : quantité de chaleur restituée au niveau de la source chaude.

$T_0$  : température d'évaporation à la source froide (évaporateur).

$T_c$  : température de condensation à la source chaude (condenseur).

Figure 2 : Schéma d'une pompe à chaleur

## 2.1.2 Les différents systèmes de captage de l'énergie

### 2.1.2.1 Les systèmes fermés

#### 2.1.2.1.1 Les systèmes géothermiques horizontaux et en corbeille

Les systèmes horizontaux sont de trois types :

- **le procédé à détente directe (PAC sol/sol)** à fluide frigorigène ne comportant qu'un seul circuit, sans échangeur. Le fluide frigorigène passe directement dans le réseau de canalisations enterrées et dans les émetteurs de chauffage. Les systèmes horizontaux sont constitués par des tubes en cuivre gainé de polyéthylène et, majoritairement, aujourd'hui, par des tubes en polyéthylène haute densité (ex. : PE 100, PE-X) disposés horizontalement (en général à une profondeur de l'ordre du mètre) pour capter les calories du sol. Ces canalisations enterrées, repliées en boucles, d'une longueur totale supérieure à plusieurs centaines de mètres et distantes de 40 cm, transmettent la chaleur captée via le fluide frigorigène à l'évaporateur de la pompe à chaleur (cf. figure 3) ;

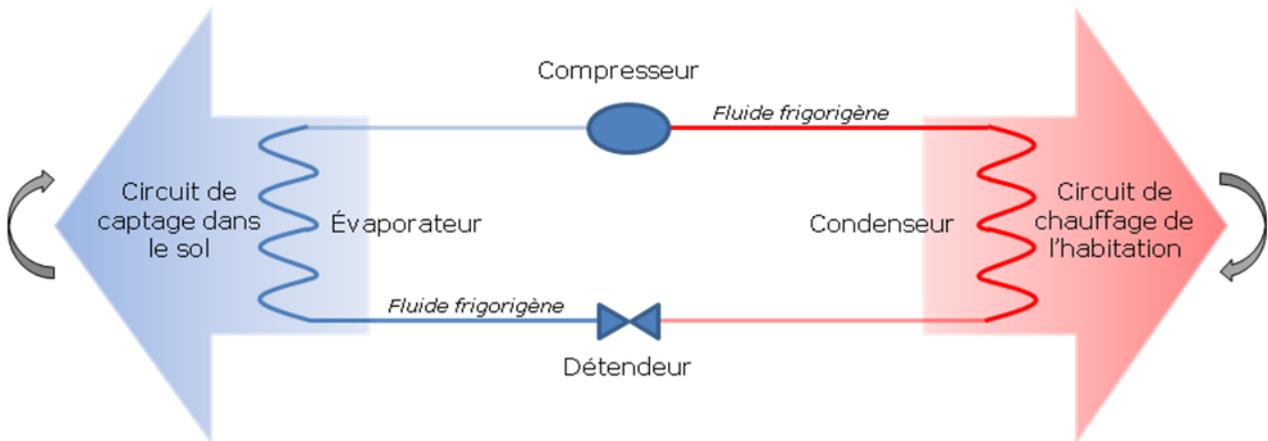


Figure 3 : Schéma d'un procédé à détente directe

- **le procédé à fluide intermédiaire (PAC eau glycolée/eau).** Ce système à double échange est constitué par un réseau de canalisations enterrées en polyéthylène haute densité (PEHD), disposées horizontalement dans lequel circule le fluide caloporteur. Le fluide frigorigène reste confiné dans la pompe à chaleur (cf. figure 4) ;

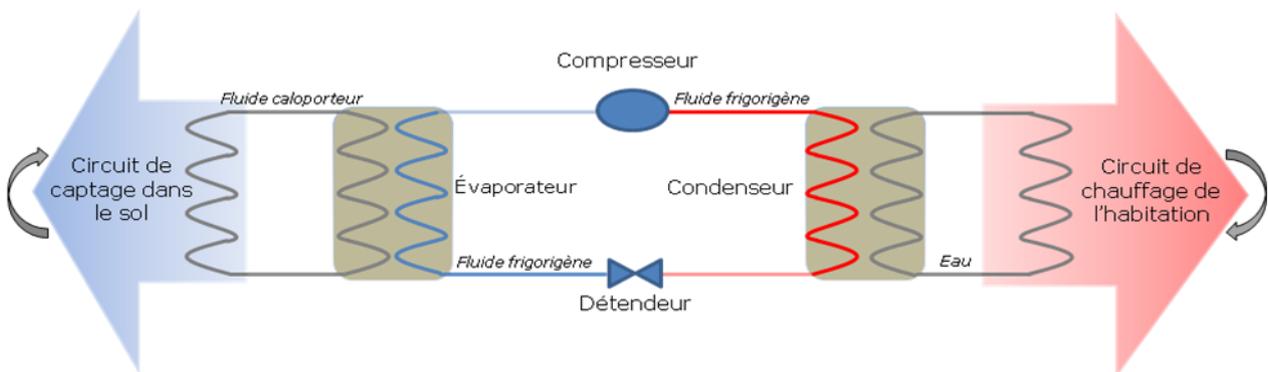


Figure 4 : Schéma d'un procédé à fluide intermédiaire

- **le procédé mixte (PAC sol/eau)** dans lequel le fluide frigorigène circule dans les canalisations enterrées en PEHD et l'eau dans les émetteurs de chauffage (cf. figure 5).

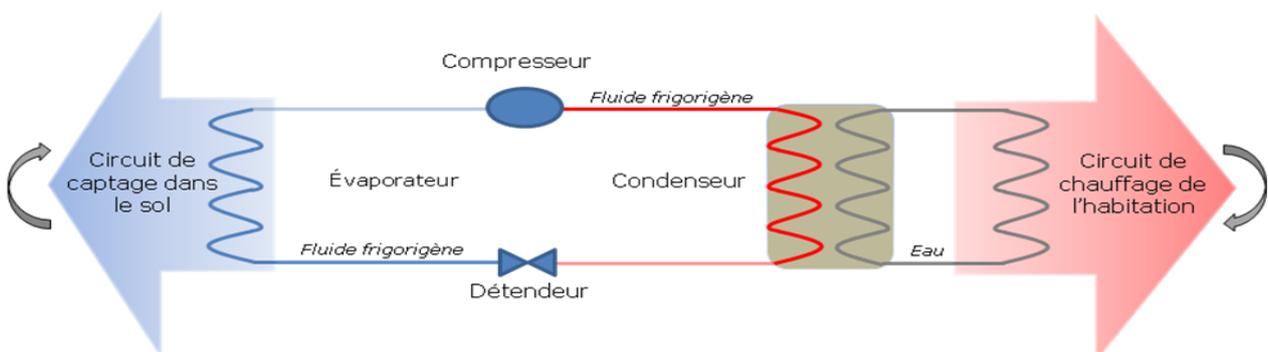


Figure 5 : Schéma d'un procédé mixte

Les dispositifs en corbeille permettent dans un volume restreint (hauteur de 2 à 3 m pour un diamètre de 0,5 à 1,5 m) d'installer une longueur de 50 à 100 m de tube échangeur en

polyéthylène. Ils nécessitent la réalisation d'excavations plus profondes, le sommet des corbeilles étant placé à environ 1,5 m de profondeur, les corbeilles distantes de 4 m environ étant reliées entre elles puis à une PAC à fluide intermédiaire.

Les dispositifs horizontaux et en corbeille doivent être placés à proximité du bâtiment à chauffer et nécessitent un terrain à faible pente. Les dispositifs horizontaux mobilisent une superficie représentant une à deux fois celle du bâtiment alors que les dispositifs en corbeille présentent un gain de surface d'environ 40%.

#### 2.1.2.1.2 *Les capteurs verticaux et les pieux géothermiques*

Les capteurs verticaux (sondes géothermiques, NF EN 10-970) exploitent par échange la chaleur du sous-sol à des profondeurs comprises entre quelques dizaines de mètres et 400 m. Selon le contexte hydrogéologique, le pied du capteur peut être localisé soit dans la zone non saturée de l'aquifère, soit dans la nappe. Les sondes le plus couramment utilisées sont composées de tubes en U en matériau de synthèse (ex. : PE 100, PE-X) placés dans un espace foré et dans lesquels circule, en circuit fermé, un liquide caloporteur mis en mouvement par une pompe de circulation (Albouy *et al.* 2005).

Le procédé à fluide intermédiaire est le seul utilisé pour cette application.

L'étanchéité entre le capteur et le terrain est assurée par l'injection dans le trou foré d'un coulis de bentonite/ciment garantissant la meilleure conductivité thermique possible, une étanchéité et une résistance aux contraintes physico-chimiques. La norme NF X 10-970 (janvier 2011) préconise un remplissage jusqu'à 1 m sous la surface du sol afin de faciliter la réalisation de la tranchée de liaison entre les échangeurs et le local technique alors que la norme NF X 10-999 (avril 2007) préconise un remplissage jusqu'à la surface.

La chaleur captée est restituée à l'évaporateur d'une pompe à chaleur.

Le nombre de capteurs et donc de forages à réaliser est fonction du volume à chauffer, les ouvrages devant être distants de plus de dix mètres les uns des autres.

Par ailleurs, les capteurs verticaux peuvent être installés au cœur des fondations d'un bâtiment (pieux ou fondations géothermiques). Les pieux en béton armé ont généralement un diamètre de 0,4 à 1,5 m et une profondeur de quelques mètres à plus de 30 m. À l'intérieur de ces pieux sont installés un ou plusieurs tubes en U (doubles ou quadruples U) en matériau de synthèse (ex. : PE 100, PE-X) qui sont ensuite noyés dans du béton pour assurer un bon contact thermique. Le nombre de pieux est fonction du volume à chauffer. Le procédé à fluide intermédiaire est le seul utilisé pour cette application et le fluide caloporteur est souvent de l'eau.

#### 2.1.2.2 Les systèmes ouverts

Suivant la profondeur à atteindre, les forages sont réalisés en faisant appel soit aux techniques utilisées en recherche d'eau, soit aux techniques de la recherche pétrolière. Ils sont équipés généralement de tubes en acier noir cimentés à l'extrados dans la tranche de terrain non productive et dans la traversée de nappes à protéger.

L'eau captée dans la nappe transite généralement par l'échangeur d'une pompe à chaleur. Toutefois, il est possible d'utiliser l'eau pour le refroidissement ou le chauffage sans faire appel à une PAC.

En mode chauffage, ces dispositifs conduisent à des rejets froids (prélèvement de calories) et pour la climatisation, à des rejets chauds (rejet de calories) :

- lorsque l'eau est réinjectée dans la nappe, la réalisation de deux forages est nécessaire (cas du doublet géothermique). Le deuxième forage doit être réalisé à l'aval hydraulique et en général en oblique afin d'éviter une interférence thermique entre l'eau captée et l'eau réinjectée,
- lorsque l'eau est rejetée dans le milieu superficiel, le cas échéant *via* le réseau d'eaux pluviales, un seul forage est réalisé.

La durée de vie des systèmes fermés en polyéthylène tant horizontaux que verticaux est d'au moins 100 ans (données constructeurs). La durée des capteurs en cuivre gainé de polyéthylène est probablement inférieure.

L'amortissement du coût d'un forage est calculé sur 20 ans. La durée de vie des forages constituant les doublets géothermiques variera non seulement selon les caractéristiques de l'eau captée (action corrosive ou incrustante et parfois les deux mais en des points différents de l'ouvrage) mais également en fonction des phénomènes de piles et de la circulation des courants telluriques dans les terrains (corrosion électrochimique).

### 2.1.3 Les produits utilisés en géothermie

#### 2.1.3.1 Les produits liés au forage

L'air, la mousse (agents tensio-actifs et additifs à base de polyacrylamides) ou les boues adjuvantées (soude, huiles minérales, polymères, polysaccharides, défloculants, résidus d'acidification, *etc.*) peuvent être utilisées lors de la foration (Coz 2009).

La norme NF X 10-999 (Avril 2007) précise que les fluides utilisés (eau, air, boue, *etc.*) doivent répondre aux exigences de la sauvegarde et de la protection de l'environnement et également être conformes aux normes en vigueur, que l'utilisation des boues avec polymères ne doit pas induire de risques bactériologiques.

Par ailleurs les lubrifiants utilisés sur la foreuse et pour le graissage des filetages des tiges portant l'outil de foration sont constitués, pour l'essentiel, des matières suivantes (Anses 2010) :

- de 60 à 90% d'une base lubrifiante qui peut être d'origine pétrolière, synthétique ou naturelle (végétale ou animale),
- de 10 à 20% d'agents épaississants : sels métalliques d'acides gras (savons), bentonite, polytétrafluoroéthylène (PTFE), silice, graphite, *etc.*,
- de 5% d'additifs qui sont chacun utilisés entre 0,1 et 0,5% : inhibiteurs de corrosion, agents anti-oxydation, promoteurs d'adhérence, antimousses, *etc.*

Le développement du forage peut nécessiter l'utilisation d'acide (acide chlorhydrique, *etc.*) dans le cas de dépôts ou d'incrustations à base de sels de fer ou de polyphosphates (hexaméthaphosphate, *etc.*) dans le cas de dépôts argileux (Coz, 2009).

#### 2.1.3.2 Les liants hydrauliques (bétons, mortiers et coulis)

Les liants hydrauliques utilisés pour la cimentation sont constitués (DGS 2008a; CIMbéton 2005) :

- de ciments (ciments courants, ciments aluminieux, ciments prompts naturels, *etc.*),
- de granulats (d'origine naturelle c'est-à-dire n'ayant subi aucun traitement autre que mécanique, ou d'origine artificielle après traitement thermique de roches, de minerais, de déchets, de matériaux de démolition, *etc.*),

- d'eau de gâchage (EDCH, eau de nappe souterraine ou de surface, voire eau de mer ou eau saumâtre) ;
- auxquels peuvent éventuellement être ajoutées des substances minérales ou organiques :
- des additions minérales (fillers calcaires, cendres volantes, laitiers vitrifiés moulus de haut fourneau, fumées de silice, *etc.*) ;
  - des ajouts et adjuvants :
    - agents de cohésion,
    - émulsions de produits organiques ajoutées à l'eau de gâchage (styrènes butadiènes, résines acryliques ou époxydiques, *etc.*),
    - plastifiants/réducteurs d'eau (lignosulfates de sodium ou de calcium, polynaphtalène sulfonates, polycarboxylates, gluconates, triéthanolamine, polyméline sulfonates, isothiazolones, *etc.*),
    - rétenteurs d'eau (celluloses, *etc.*),
    - entraîneurs d'air,
    - accélérateurs de prise (chlorures de calcium, *etc.*) ou de durcissement,
    - retardateurs de prise (glucoses, sucroses, *etc.*),
    - hydrofuge de masse (acide stéarique, *etc.*),
    - *etc.* ;
  - des fibres (métalliques telles que les fibres de fonte ou d'acier, minérales telles que les fibres de verre ou de carbone, organiques telles que les fibres de polyoléfine, de polypropylène, de polyacrylonitrile, d'alcool polyvinylique, de polyamide et de polyester linéaires, *etc.*).

Les coulis, les mortiers et les bétons sont fabriqués à partir des mêmes ingrédients de base et se différencient par la nature et la taille des granulats utilisés : absents ou très fins pour les coulis, fins (sable) pour les mortiers et plus grossiers (sable, graviers) dans le cas des bétons.

Pour les forages et les capteurs verticaux, le coulis de remplissage est un mélange fluide à base de ciment, d'additions, d'eau et éventuellement de charges fines inférieures à 0,3 mm (suspensions d'argile ou de bentonite) et d'adjuvants (CIMbéton 2006).

La norme NF X10-999 (Avril 2007) précise que le laitier est composé d'eau et de ciment soigneusement mélangés, l'utilisation de ciment à « prise rapide » est déconseillée, les mélanges ciment-bentonite peuvent être utilisés sous réserve que la proportion de bentonite ne dépasse pas 5% de la masse de ciment et qu'elle soit hydratée 24 h avant la cimentation.

Le projet de norme prNF X 10-950 fixe des exigences pour le ciment utilisé en géothermie.

Par ailleurs, le fascicule de documentation FD P 18-011 (Décembre 2009) fournit des recommandations, en particulier pour le choix des ciments, pour la fabrication des bétons destinés à des structures soumises à des environnements chimiques agressifs.

### 2.1.3.3 Les produits de cure et agents de démoulage

Pour la réalisation des pieux géothermiques des agents de démoulage (huiles végétales, *etc.*) peuvent être appliqués sur les matériaux de coffrage, des produits de cure (à base de résines ou de cire dissoute dans un solvant pétrolier) peuvent être appliqués à la surface du béton durci pour éviter la formation de fissures ou le faïençage lors du séchage.

### 2.1.3.4 Les produits utilisés dans les capteurs et les pompes à chaleur

Divers fluides peuvent être utilisés dans les PAC pour le transfert de calories/frigories, les fluides frigorigènes étant à l'état gazeux à température et pression ambiantes alors que les fluides caloporteurs sont toujours à l'état liquide.

Les circuits d'échanges étant étanches, sauf incident ou accident (fuite), ces derniers ne doivent pas se retrouver en contact avec la ressource en eau destinée à la production d'EDCH.

Par ailleurs, dans les systèmes verticaux ouverts, d'autres produits peuvent être utilisés.

#### 2.1.3.4.1 Les fluides frigorigènes

Ils appartiennent à plusieurs catégories de molécules utilisées pures ou en mélange (Béranger 2008) :

- les hydrofluorocarbures (HFC) :
  - o le R-134a<sup>3</sup> qui remplace le R-12<sup>4</sup>, chlorofluorocarbure (CFC) désormais interdit,
  - o le R-407c<sup>5</sup> qui remplace de R-22<sup>6</sup> (hydrochlorofluorocarbure – HCFC, dont l'utilisation sera interdite en 2012 en raison de son impact sur la couche d'ozone),
  - o le R-410a<sup>7</sup>, réfrigérant qui change d'état à température quasi-constante et qui est très utilisé dans les climatisations air-air,
  - o le R-404a<sup>8</sup> le plus fréquemment employé dans les pompes à chaleur sol/sol,
  - o le R-417a<sup>9</sup> actuellement peu utilisé ;
- les hydrocarbures et notamment le R-290 (propane) et le R-600a (isobutane) mais qui ne peuvent être utilisés qu'en faible quantité et à l'extérieur des habitations en raison de leur inflammabilité ;
- l'ammoniac (R-717) qui présente des risques d'émanations toxiques en cas de fuite.

L'usage de ces gaz à effet de serre est strictement réglementé et de plus en plus limité (cf. annexe 5).

#### 2.1.3.4.2 Les fluides caloporteurs

Ils sont le plus souvent composés d'eau et d'antigel à base d'éthylène ou de propylène glycol. Suivant la nature du matériau constitutif des capteurs, peuvent être présents des additifs tels que notamment (Circulaire DGS/PGE/1.D. n°942 du 2 juillet 1985; Circulaire DGS/PGE/1.D. n°357 du 2 mars 1987) :

- des agents anticorrosion (alcanolamines, carbonates alcalins, benzoates, silicates, phosphates alcalins, sulfites alcalins, polyamines, imidazoles, etc.) ;
- des biocides, des algicides et des fongicides (1,2-benzisothiazol-3(2H)-one, 2-méthyl-2H-isothiazole-3-one, ammoniums quaternaires, etc.) ;
- des dispersants et des séquestrants (chlorures de benzalkonium, acides polyacryliques et polyacrylates de sodium, éthylènediaminetétraacétate de tétrasodium, etc.) ;
- des mouillants, des détergents (lécithines, polyéthylèneglycols, esters gras d'amino alcool, ammoniums quaternaires, etc.) ;

<sup>3</sup> R-134a : 1,1,1,2-tetrafluoroéthane (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>F<sub>4</sub>).

<sup>4</sup> R-12 : Dichlorodifluorométhane (CCl<sub>2</sub>F<sub>2</sub>).

<sup>5</sup> R-407c : Mélange zéotropique de 52% de R-134a, de 25% de R-125 (pentafluoroéthane) et de 23% de R-32 (difluorométhane).

<sup>6</sup> R-22 : Chlorodifluorométhane (CHClF<sub>2</sub>).

<sup>7</sup> R-410a : Mélange de 50% de R-32 (difluorométhane) et de 50% de R-125 (pentafluoroéthane).

<sup>8</sup> R-404a : Mélange zéotropique de 52% de R-143a (1,1,1-trifluoroéthane), de 44% de R-125 et de 4% de R-134a.

<sup>9</sup> R-417a : Mélange de 46,6% de R-125, de 50% de R-134a et de 3,4% de butane.

- des agents antimousse, antiredéposition ou épaississants (méthylpolysiloxanes, gomme xanthane, *etc.*) ;
- des colorants ;
- *etc.*

La norme NF X 10-970 (janvier 2011) fixe des exigences pour les fluides caloporteurs utilisés dans les sondes géothermiques verticales (*cf.* annexe 5).

Par ailleurs, l'usage de fluides caloporteurs dans les circuits de chauffage destinés à la production d'eau chaude sanitaire fonctionnant en simple échange ou étant à simple paroi est réglementé afin de protéger les consommateurs d'EDCH en cas de détérioration des échangeurs thermiques (Afssa 2008b). Bien que cette réglementation ne s'applique pas aux fluides caloporteurs utilisés dans les échangeurs enterrés des PAC géothermiques, elle évite la mise sur le marché des fluides caloporteurs les plus toxiques pour les consommateurs (*cf.* annexe 5).

Les fluides caloporteurs à base d'éthylène ou de propylène glycol se dégradent dans la partie aérienne des terrains (zone non saturée). Ainsi le propylène glycol se dégrade en une dizaine de jours alors que l'éthylène glycol a une demi-vie estimée entre 2 et 12 jours. Cependant, lors d'un déversement important, l'éthylène glycol s'adsorbant peu sur les particules du sol pourra migrer rapidement vers la nappe (Gonsior et West 1995; Canada 2000).

#### 2.1.3.4.3 *Autres produits*

Des inhibiteurs de corrosion, des produits séquestrants et dispersants destinés à limiter le colmatage, *etc.*, peuvent être injectés dans les forages (*cf.* § 2.1.3.4.2).

Tableau I : Synthèse des dispositifs d'exploitation de la géothermie

Type de géothermie	Haute enthalpie	Moyenne enthalpie	Basse enthalpie	Très basse enthalpie			
Température de la ressource	> 150°C	Comprise entre 90°C et 150°C	Comprise entre 30°C et 90°C	< 30°C			
Profondeur approximative	4 à 6 km	2 à 4 km	1 à 2 km	0,5 à 1,5 m	3 à 10 m	50 à 400 m (10 à 30 m pour les pieux)	400 à 800 m
Usage	Électricité	Électricité Chaleur	Chaleur	Chaleur	Chaleur	Chaleur	Chaleur
Système de captage de l'énergie	<u>Système ouvert</u> Doublet de forages	<u>Système ouvert</u> Doublet de forages	<u>Système ouvert</u> Doublet de forages ou Forage unique avec rejet dans le milieu superficiel	<u>Système fermé</u> Capteur horizontal	<u>Système fermé</u> Corbeille	<u>Système fermé</u> Capteur vertical et pieux	<u>Système ouvert</u> Doublet de forages ou Forage unique avec rejet dans le milieu superficiel
Type de PAC				PAC à détente directe PAC mixte PAC à fluide intermédiaire	PAC à fluide intermédiaire	PAC à fluide intermédiaire	PAC au niveau du bâtiment
Produits utilisés dans les capteurs	Eau éventuellement additionnée d'inhibiteurs de corrosion et/ou de produits séquestrants et dispersants			Fluides frigorigènes et/ou caloporteurs			Eau

## 2.2 Énergie solaire thermique et photovoltaïque

L'énergie solaire peut servir :

- à récupérer de la chaleur : énergie solaire thermique,
- à produire de l'électricité : énergie solaire photovoltaïque.

### 2.2.1 Énergie solaire thermique et thermodynamique

Une installation solaire classique de type thermique comprend en général, cinq équipements permettant respectivement : le captage de chaleur, le transfert, le stockage, l'appoint électrique et la distribution. Des capteurs convertissent le rayonnement solaire en chaleur et la communiquent au liquide caloporteur circulant dans les tubes des capteurs et dans le circuit primaire. Un échangeur thermique (ballon dans le cas de la production d'eau chaude) transmet la chaleur au circuit secondaire. Enfin, un appoint électrique permet éventuellement d'atteindre la consigne de température au niveau du stockage de l'eau chaude afin d'éviter le développement des légionelles [Arrêté du 30 novembre 2005] (cf. figure 6).

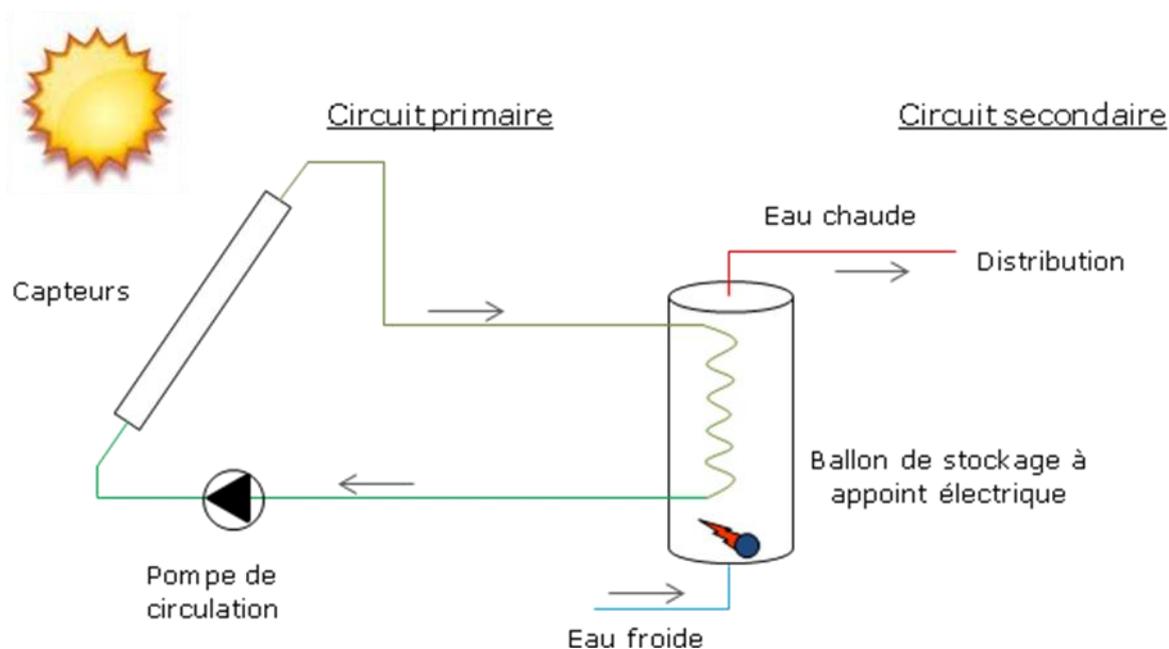


Figure 6 : Schéma simplifié d'une installation solaire thermique

L'énergie solaire thermique peut être utilisée pour la production d'eau chaude (chauffage, piscine et eau chaude sanitaire) dans les bâtiments individuels ou collectifs.

L'énergie solaire thermodynamique peut être utilisée pour la production industrielle de chaleur ou d'électricité *via* un échangeur thermique. Le rayonnement solaire est concentré à l'aide de capteurs paraboliques ou d'une « tour solaire »<sup>10</sup>. Le potentiel d'implantation de telles centrales reste limité en France métropolitaine en raison des niveaux d'ensoleillement et de transparence de l'atmosphère nécessaires.

L'analyse des risques vis-à-vis des ressources en eau liés aux dispositifs thermiques individuels essentiellement installés sur les bâtiments et aux dispositifs thermodynamiques industriels peu répandus, n'est pas abordée dans le présent rapport.

### 2.2.2 Énergie solaire photovoltaïque

Une centrale photovoltaïque permet de produire de l'électricité à partir de l'énergie lumineuse du soleil<sup>11</sup>. Cette transformation d'énergie se fait par l'intermédiaire de cellules photovoltaïques constituées d'une ou deux mince(s) couche(s) d'un matériau semi-conducteur (INGEROP).

Les capteurs (modules ou panneaux) solaires sont constitués d'assemblages de cellules photovoltaïques qui sont implantés sur des supports de fixation permettant d'assurer la résistance mécanique et l'étanchéité du système.

<sup>10</sup> [http://sfp.in2p3.fr/Debat/debat\\_energie/websfp/rivoire.htm](http://sfp.in2p3.fr/Debat/debat_energie/websfp/rivoire.htm)

<sup>11</sup> [http://www.ademe.fr/midi-pyrenees/a\\_2\\_08.html](http://www.ademe.fr/midi-pyrenees/a_2_08.html)

Les cellules photovoltaïques peuvent être de plusieurs types et principalement :

- en silicium cristallin et composées de fines tranches coupées à partir d'un seul cristal [cellules monocristallines (Mono c-Si)] ou d'un bloc de cristaux de silicium [cellules polycristallines (Poly c-Si)] ;
- en couches minces constituées de très fines couches d'un matériau photosensible déposées sur un support tel que le verre, l'acier inoxydable ou le plastique. En fonction du matériau photosensible déposé sur le support on distingue :
  - o les cellules en tellure de cadmium (CdTe),
  - o les cellules en cuivre indium sélénium (CIS).

Les cellules en silicium sont les plus utilisées pour les installations sur toitures et les cellules en tellure de cadmium (CdTe) pour les installations au sol. Les panneaux photovoltaïques au tellure de cadmium contiennent environ 7 g de cadmium, principalement sous forme de tellure de cadmium (CdTe) et de petites quantités de sulfure de cadmium (CdS) (Lincot *et al.* 2009) :

- les atomes de cadmium (Cd) sont engagés dans des liaisons fortes avec les atomes de tellure (Te) et de soufre (S). Ainsi en cas de bris d'un panneau, même si la lixiviation de Cd est possible, celle-ci sera limitée et très lente ;
- les couches contenant le cadmium sont placées entre deux plaques de verre de 3 mm d'épaisseur chacune. Ainsi en cas d'incendie, les fuites sont limitées par les plaques de verre et par fusion du verre il se forme une matrice inerte.

Pour les sites non reliés au réseau électrique, un système de stockage (généralement des batteries) est adjoint au dispositif. Ce type d'installation est surtout utilisé dans les lieux isolés pour alimenter des appareils électriques autonomes (lampadaires, horodateurs, phares, *etc.*), lorsque le raccordement au réseau public coûte trop cher ou lorsqu'il n'y a pas de réseau à proximité.

Dans le cas des dispositifs raccordés au réseau électrique, le courant continu issu des modules photovoltaïques doit être converti en courant alternatif normalisé (230-240 Volts – 50 Hertz) à l'aide d'un onduleur. Si nécessaire, un transformateur permettant d'élever la tension de sortie au niveau requis pour l'apport au réseau électrique, peut être installé (*cf.* figure 7).

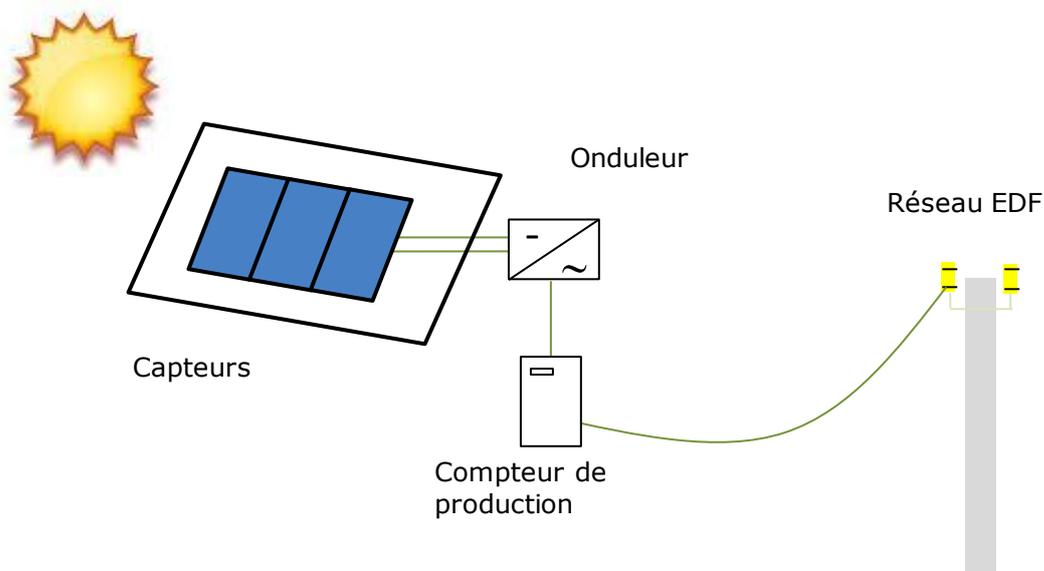


Figure 7 : Schéma d'une installation photovoltaïque

Les capteurs solaires peuvent être installés sur des toitures ou sur le sol. L'installation sur toiture ne sera pas étudiée dans l'analyse de risques car elle n'a pas d'impact particulier sur les ressources en eau souterraine.

Les capteurs solaires fixes (dans de rares cas, ils sont mobiles pour suivre la course du soleil) sont montés sur une assise en acier zingué, en aluminium et parfois en bois.

Les installations au sol sont disposées en rangées et sont en général ancrées à l'aide de plots en béton de 50 cm de diamètre (ancrage à une profondeur de 120 cm maximum) ou de vis taraudées et filetées de 150 mm de diamètre (ancrage à une profondeur de 2 m maximum). Les fondations flottantes pour charges lourdes à traverses en béton préparées sur place ou préfabriquées sont plus rarement utilisées (sous-sol résistant au battage ou remblai ne permettant pas d'enfoncer des pieux). Dans ce dernier cas, la profondeur d'ancrage est limitée à 60 cm de profondeur (Nessi *et al.* 2011).

La hauteur des panneaux solaires au-dessus du sol varie entre 2 m et plus de 3 m.

Les raccordements entre les cadres des capteurs et les onduleurs sont réalisés en général à l'aide de câbles enterrés, posés côte à côte sur une couche de 10 cm de sable au fond d'une tranchée d'une profondeur d'environ 80 cm (Nessi *et al.* 2011). L'espacement entre les câbles et la largeur de la tranchée dépendent de l'intensité du courant prévu. Les câbles à « enterrabilité directe » tendent à remplacer les câbles placés dans des fourreaux. La profondeur d'enfouissement des câbles peut être réduite ou augmentée (1,20-1,30 m) notamment sous les parcelles agricoles.

La surface totale d'une installation photovoltaïque correspond au terrain industriel, généralement clôturé, qui comprend les voies d'accès pour les véhicules de maintenance ainsi que des emplacements de parking et des zones de manœuvre, les locaux de maintenance et les installations techniques. Ces dernières comprennent la surface de panneaux photovoltaïques, la plus vaste, les locaux techniques abritant les onduleurs, les transformateurs (ils peuvent contenir plus de 500 kg d'huile), les compteurs et les différentes installations de protection électrique, le poste de livraison accueillant les arrivées des câbles et assurant la jonction avec le réseau public de distribution d'électricité et les autres surfaces libres (Nessi *et al.* 2011; MEDDTL 2011). Les locaux techniques préfabriqués sont en général posés dans une fouille de 60 cm de profondeur sur une couche de 10 cm de sable.

La surface de l'installation dépend :

- de la nature du montage sur le support (installation mobile ou fixe) et de la hauteur des modules qui déterminent, entre autres, l'espace nécessaire entre les rangées,
- des rendements,
- des caractéristiques du site (pente du terrain, situation géographique). Dans le cas d'installations en plaine, une distance minimale entre les rangées de panneaux s'impose afin de réduire les ombres portées.

Sur un site donné, la puissance d'une centrale photovoltaïque est proportionnelle à la surface des modules installés. À titre d'exemple, la surface des installations en France est de 2 à 3 ha/MWc<sup>12</sup> (MEDDTL 2011).

La durée de vie d'une centrale photovoltaïque est estimée à une vingtaine d'années.

Le démantèlement de ces installations, non obligatoire aujourd'hui, peut être total. Les panneaux solaires ne sont en général pas nettoyés si ce n'est par la pluie. Les terrains sont entretenus régulièrement pour éviter l'ombre sur les structures et les risques d'incendie. Les modules produisant un courant continu les pompiers laissent brûler l'installation lors d'un incendie.

<sup>12</sup> ha/MWc : hectare par mégawatt crête.

## 2.3 Éolien

Les éoliennes ou aérogénérateurs utilisent la force du vent pour la convertir en électricité. Une éolienne se compose de pales, en général au nombre de trois, portées par un rotor et installées au sommet d'un mât vertical. Cet ensemble est fixé sur une nacelle dans laquelle se trouvent un générateur (cf. figure 8) et un moteur électrique permettant l'orientation de celle-ci face au vent.

Le vent, dont la vitesse doit être comprise entre 14 et 90 km/h (au-delà les éoliennes sont arrêtées pour des raisons de sécurité), entraîne les pales à raison de 10 à 25 tours par minute et l'énergie mécanique créée par la rotation est transformée, grâce au générateur, en énergie pouvant alimenter le réseau électrique.

Il existe différents types d'éoliennes :

- les grands aérogénérateurs d'une puissance de 2 MW qui permettent d'alimenter en électricité, hors chauffage, environ 2 000 foyers. Le mât a une hauteur de 100 m environ et les pales sont longues de 50 m ;
- les petits aérogénérateurs d'une puissance de 0,1 à 20 KW qui soit alimentent des bâtiments non reliés au réseau électrique, soit sont raccordés au réseau. La hauteur du mât varie de 10 à 35 m.

La construction d'une éolienne nécessite des fondations peu importante en superficie au regard de l'élévation de la machine :

- les fouilles de 3 à 5 m de profondeur présentent un diamètre de 15 à 20 m,
- un socle en béton de 400 m<sup>3</sup> environ est coulé dans cette fouille. Si la portance des terrains est insuffisante des pieux d'ancrage ou des colonnes ballastées (colonnes en béton avec une armature métallique), selon le cas, sont réalisés. En conséquence, les ancrages peuvent aller à quelques dizaines de mètres de profondeur. Les bétons, les produits de cure et les agents de démoulage pouvant être utilisés sont précisés aux § 2.1.3.2 et 2.1.3.3.

Actuellement, les études géotechniques permettant de définir la profondeur des fondations ne sont en général pas réalisées avant l'obtention du permis de construire.

Le raccordement de l'éolienne au réseau électrique se fait à l'aide de câbles enterrés à une profondeur d'environ 0,80 m mais, qui peut être portée à 1,20-1,30 m sous les parcelles agricoles. Les câbles à « enterrabilité directe » tendent à remplacer les câbles placés dans des fourreaux.

La construction d'une éolienne nécessite l'acheminement de pièces lourdes de grande envergure et la réalisation de voies d'accès ou l'aménagement de voies existantes et d'une aire de grutage d'une superficie de 1000 m<sup>2</sup> environ. La durée du chantier pour un champ d'éoliennes est de quelques mois (6 à 10).

400 à plus de 700 litres de lubrifiant peuvent être utilisés dans une éolienne (cf. § 2.1.3.1), la nacelle jouant le rôle de bac de rétention. Les transformateurs sont secs ou équipés d'un bac de rétention. La nacelle et les pales sont équipées de parafoudres.

La durée de vie d'une éolienne est de l'ordre d'une vingtaine d'années<sup>13</sup>.

<sup>13</sup> Tous les constructeurs proposent aujourd'hui des garanties de production sur 25 ans (la production est encore de 90% de la production initiale après 10 ans et de 80% après 25 ans). Les installations existantes montrent que les modules peuvent produire pendant 30 ans (MEDDTL 2011).

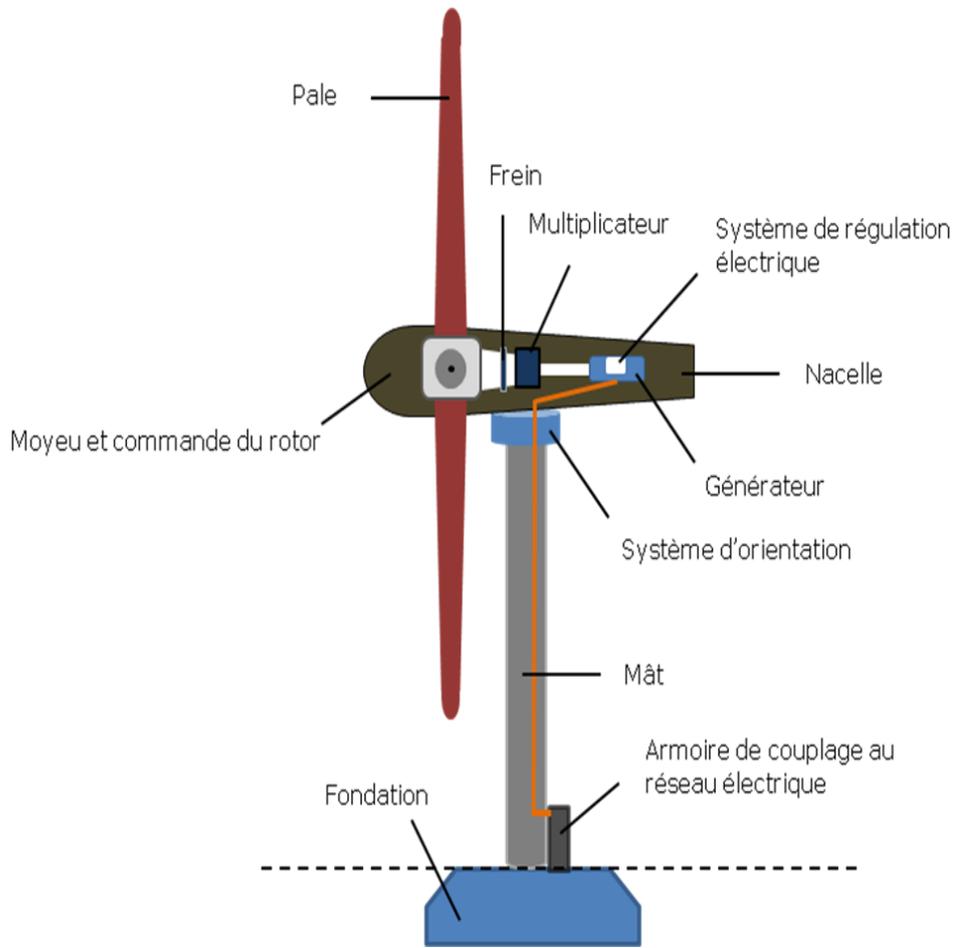


Figure 8 : Schéma d'une éolienne

### 3 Analyse des risques sanitaires inhérents aux dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables et mesures de maîtrise envisageables des points critiques

L'analyse des risques sanitaires liés à l'installation, à la maintenance, à l'exploitation et à l'abandon de dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables dans les PPC de captages destinés à la production d'EDCH a été réalisée en s'appuyant sur les méthodes suivantes :

- « Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité » (AMDEC),
- « Analyse des dangers et de détermination des points critiques pour leur maîtrise » (HACCP – *Hazard Analysis Critical Control Point*).

Les risques pour la ressource en eau ont été caractérisés en croisant :

1°) les dangers liés aux impacts des installations et/ou des opérations pendant les différentes phases des projets et l'existence ou non de moyens de maîtrise :

- phase d'étude,
- phase d'installation,
- phase d'exploitation et de maintenance,
- phase d'abandon ;

2°) avec la vulnérabilité intrinsèque de la nappe exploitée.

Pour cette analyse, ont été pris en compte les données de la bibliographie et le contenu des dossiers de demande d'installation de dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables dans les PPC destinés à la production d'EDCH reçus par les ARS et transmis à l'Anses par la DGS.

#### 3.1 Impacts des installations

N.B. : ne sont prises en compte que les opérations susceptibles d'avoir un impact sur les ressources en eau souterraines.

Tableau II : Impacts des installations d'exploitation de l'énergie géothermique – Systèmes fermés horizontaux et en corbeille

	Opération		Danger	Moyen de maîtrise
Phase d'installation	Conduite du chantier	Circulation d'engins de chantier et de véhicules de transport	Tassement du sol, imperméabilisation partielle <i>Mais, surfaces concernées limitées</i>	Aucun
		Entretien des véhicules et engins Utilisation de groupes électrogènes	Infiltration de polluants (hydrocarbures notamment) <i>Mais, chantier de courte durée (1 semaine)</i>	Entretien et réparation des engins hors des PPC Présence de kits anti-pollution (absorbants et floculants) sur le site
	Excavation du terrain (Systèmes horizontaux)	Réalisation d'une fouille de 1 à 2 m de profondeur et de quelques centaines de m <sup>2</sup> et d'une tranchée d'environ 30 m de longueur	Zone rendue plus perméable favorisant l'infiltration <i>Mais zone de petite extension et de faible profondeur</i>	Comblement à la fin du chantier, mais zone restant globalement plus perméable
	Excavation du terrain (Systèmes en corbeille)	Creusement de plusieurs trous de 3,5 m de profondeur et d'une tranchée de 60 cm de large et de moins de 1 m de profondeur	Zones rendues plus perméables favorisant l'infiltration <i>Mais zones de petite surface et de faible profondeur</i>	Comblement à la fin du chantier, mais zone restant globalement plus perméable
	Remplissage des capteurs avec des liquides frigorigènes ou caloporteurs		Fuites de fluides caloporteurs ou frigorigènes - Contamination de la nappe <i>Mais les fluides frigorigènes sont volatils et les fluides caloporteurs sont déversés dans la zone non saturée où la dégradation de la fraction glycolée est possible</i>	Contrôle du montage, test de pression à l'eau (Riederer 2010) Utilisation d'un mélange eau/propylène glycol non adjuvanté ou de fluides caloporteurs inscrits sur la liste « A » <sup>14</sup>
Phase d'exploitation et de maintenance	Apport de fluides caloporteurs		Fuites de fluides caloporteurs - Contamination de la nappe <i>Mais les fluides frigorigènes sont volatils et les fluides caloporteurs sont déversés dans la zone non saturée où la dégradation de la fraction glycolée est possible</i>	Utilisation d'un mélange eau/propylène glycol non adjuvanté ou de fluides caloporteurs inscrits sur la liste « A »
	Détérioration des réseaux enterrés		Fuites de fluides caloporteurs ou frigorigènes - Contamination de la nappe <i>Mais les fluides frigorigènes sont volatils et les fluides caloporteurs sont déversés dans la zone non saturée où la dégradation de la fraction glycolée est possible</i>	Connaissance et signalisation des réseaux enterrés
Phase d'abandon	Vidange du réseau		Fuites de fluides caloporteurs - Contamination de la nappe <i>Mais les fluides frigorigènes sont volatils et les fluides caloporteurs sont déversés dans la zone non saturée où la dégradation de la fraction glycolée est possible</i>	Récupération du fluide pour destruction ou recyclage auprès d'organismes agréés (Riederer 2010) Utilisation d'un mélange eau/propylène glycol non adjuvanté ou de fluides caloporteurs inscrits sur la liste « A »
	Abandon du réseau			Conservation d'un repérage de la localisation de l'installation abandonnée

<sup>14</sup> Circulaire DGS/PGE/1.D. n° 942 du 2 juillet 1985 relative au traitement thermique des eaux destinées à la consommation humaine (J.O. du 15 août 1985).

Tableau III : Impacts des installations d'exploitation de l'énergie géothermique – Systèmes fermés verticaux

		Opération	Danger	Moyen de maîtrise
Phase d'installation	Aménagement de la zone de chantier	Création de voies d'accès (parfois empierrées), d'aires de stockage	Tassement du sol, imperméabilisation partielle Ruissellement d'eaux potentiellement contaminées <i>Mais, surfaces concernées limitées</i>	Limitation des surfaces mobilisées Création des pistes si possible hors des PPC Protection du chantier contre les eaux de ruissellement (déviation des eaux)
		Stockage de produits dangereux (hydrocarbures par exemple)	Infiltration de polluants <i>Mais, chantier de courte durée (1 à 2 semaines)</i>	Stockage en cuvettes de rétention
	Conduite du chantier	Circulation de véhicules de chantier dont la foreuse et de transport	Tassement du sol, imperméabilisation partielle <i>Mais, surfaces concernées limitées</i>	Aucun
		Entretien des véhicules Utilisation de groupes électrogènes	Infiltration de polluants (hydrocarbures notamment) <i>Mais, chantier de courte durée (1 à 2 semaines)</i>	Pas de stockage d'hydrocarbures et de fluides dans les PPC Entretien et réparation des engins hors des PPC Présence de kits anti-pollution (absorbants et floculants) sur le site
	Forages (capteurs verticaux)	Foration	Atteinte de la nappe	Aucun
			Mise en communication de réservoirs aquifères souterrains indépendants	Au regard de la technique de réalisation, il n'existe pas de moyen de maîtrise
		Boues éventuellement : - création d'une fosse à boues - injection de boues de forage	Infiltration et pollution de la ou des nappe(s) par les adjuvants des boues (soude, huiles minérales, polymères, polysaccharides, défloculants, résidus d'acidification, etc.) ou les microorganismes présents dans l'eau utilisée pour la préparation des boues	Respect des règles de l'art (norme NF X 10-970) Faire appel à un foreur agréé « Qualiforage »
			Colmatage des horizons aquifères traversés	
			En zone karstique, augmentation de la turbidité des eaux souterraines à la suite de pertes de boues et, potentiellement, infiltration de polluants	
		Utilisation de lubrifiants sur la foreuse et pour les filetages des tiges de la foreuse	Pollution de la nappe (hydrocarbures)	
	Utilisation de coulis adjuvanté	Alcalinisation, migration d'aluminium, de métaux ou de substances organiques dans l'eau de la nappe <i>Mais, surfaces concernées limitées</i>		
	Réalisation des fondations (pieux géothermiques)	Utilisation de béton adjuvanté, produits de cure et huiles de décoffrage	Écoulement de béton dans des cavités karstiques	Même si des techniques existent pour éviter l'écoulement de béton dans les cavités (occultation des excavations), elles ne suppriment pas tout danger
Infiltrations préférentielles le long des parois			Utilisation de bâches en polymères en fond et en périphérie de la fouille Réalisation d'un coffrage étanche empêchant l'infiltration de laitance de béton	
Alcalinisation, migration d'aluminium, de métaux ou de substances organiques dans l'eau de la nappe			Respect des règles de l'art concernant le choix du béton et sa mise en œuvre	
Remplissage des capteurs et pieux avec le fluide caloporteur		Fuites de fluide caloporteur - Contamination de la nappe <i>Volume de fluide caloporteur déversé faible. Mais la dégradation de la fraction glycolée du fluide en l'absence d'une épaisseur suffisante de terrain non saturé n'est pas forcément possible</i>	Contrôle du montage de la sonde, test de pression à l'eau (Riederer 2010) Utilisation d'un mélange eau/propylène glycol non adjuvanté ou de fluides caloporteurs inscrits sur la liste « A »	

	Opération	Danger	Moyen de maîtrise
Phase d'exploitation et de maintenance	Apport de fluides caloporteurs	Fuites de fluide caloporteur - Contamination de la nappe <i>Volume de fluide caloporteur déversé faible. Mais la dégradation de la fraction glycolée du fluide en l'absence d'une épaisseur suffisante de terrain non saturé n'est pas forcément possible</i>	Utilisation d'un mélange eau/propylène glycol non adjuvanté ou de fluides caloporteurs inscrits sur la liste « A »
	Vieillessement de l'étanchéité entre la sonde ou les pieux et sol	Contamination de la nappe par infiltration d'eaux parasites le long des sondes ou des pieux	Aucun
	Opérations de maintenance effectuées par des agents extérieurs à la production et/ou la distribution d'eau	Agents peu familiarisés avec les risques liés à l'EDCH	Établissement de conventions entre les différents acteurs, précisant notamment leurs responsabilités respectives Formation des agents
Phase d'abandon	Vidange de la PAC	Fuites de fluide caloporteur - Contamination de la nappe <i>Volume de fluide caloporteur déversé faible. Mais la dégradation de la fraction glycolée du fluide en l'absence d'une épaisseur suffisante de terrain non saturé n'est pas forcément possible</i>	Récupération du fluide pour destruction ou recyclage auprès d'organismes agréés (Riederer 2010) Utilisation d'un mélange eau/propylène glycol non adjuvanté ou de fluides caloporteurs inscrits sur la liste « A »
	Abandon des sondes et des pieux	Infiltration d'eaux parasites le long des sondes ou des pieux Contamination de la nappe	Obturation et étanchement de la sonde selon les règles de l'art Conservation d'un repérage de la localisation de la sonde abandonnée

Tableau IV : Impacts des installations d'exploitation de l'énergie géothermique – Systèmes ouverts

		Opération	Danger	Moyen de maîtrise
Phase d'étude	Reconnaissance sismique à l'explosif		Modification locale de l'infiltration <i>Mais le recours à la sismique à l'explosif est rare</i>	Aucun
	Reconnaissance mécanique	Foration	Atteinte de la nappe Mise en communication de réservoirs aquifères souterrains indépendants	Aucun
		Boues de forage avec la technique du rotary : - création d'une fosse à boues - injection de boues lors de la foration	Infiltration et pollution de la ou des nappe(s) par les adjuvants des boues (soude, huiles minérales, polymères, polysaccharides, défloculants, résidus d'acidification, etc.) ou les microorganismes présents dans l'eau utilisée pour la préparation des boues	Respect des règles de l'art (norme NF X 10-999) Faire appel à un foreur agréé « Qualiforage » Aucun
	Abandon du forage		Mise en communication de réservoirs aquifères souterrains indépendants	Respect des règles de l'art (norme NF X 10-999) Faire appel à un foreur agréé « Qualiforage »
			Contamination de la nappe par infiltration d'eaux parasites	Extraction du tubage et comblement des ouvrages selon les règles de l'art
Phase d'installation	Aménagement de la zone de chantier	Création de voies d'accès (parfois empierrées), d'aires de maintenance, de parkings, de locaux	Tassement du sol, imperméabilisation partielle Ruissellement d'eaux potentiellement contaminées <i>Mais, surfaces concernées limitées</i>	Limitation des surfaces mobilisées Création des pistes si possible hors des PPC Protection du chantier contre les eaux de ruissellement (déviation des eaux)
		Stockage de produits dangereux (hydrocarbures par exemple)	Infiltration de polluants	Stockage en cuvette de rétention
		Assainissement des locaux de chantier	Infiltration de polluants	Mise en place de sanitaires de chantier conformément à la réglementation
	Conduite du chantier	Circulation de véhicules lourds de chantier et de transport	Tassement du sol, imperméabilisation partielle <i>Mais, surfaces concernées limitées</i>	Aucun
		Alimentation et entretien des véhicules Utilisation de groupes électrogènes	Infiltration de polluants (hydrocarbures notamment)	Aucun stockage d'hydrocarbures et de fluides dans les PPC Entretien et réparation des engins hors des PPC Présence de kits anti-pollution (absorbants et floculants) sur le site
	Exécution de forage	Foration	Accès à la nappe Mise en communication de réservoirs aquifères	Aucun
		Boues de forage avec l'utilisation de la technique du rotary : - création d'une fosse à boues - injection de boues lors de la foration	Infiltration et pollution de la ou des nappe(s) par les adjuvants des boues (soude, huiles minérales, polymères, polysaccharides, défloculants, résidus d'acidification, etc.) ou les microorganismes présents dans l'eau utilisée pour la préparation des boues	Respect des règles de l'art (norme NF X 10-999) Faire appel à un foreur agréé « Qualiforage »
			Colmatage des horizons aquifères traversés	
		Utilisation de lubrifiants sur la foreuse et pour les filetages des tiges de la foreuse	En zone karstique, augmentation de la turbidité des eaux souterraines à la suite de pertes de boues et, potentiellement, infiltration de polluants	
			Pollution de la nappe (hydrocarbures)	
Développement du forage		Infiltration et pollution de la ou des nappe(s) par les produits utilisés (acides, polyphosphates)		
Utilisation de coulis adjuvanté	Alcalinisation, migration d'aluminium, de métaux ou de substances organiques dans l'eau de la nappe <i>Mais, surfaces concernées limitées</i>			

	Opération	Danger	Moyen de maîtrise
Phase d'exploitation et de maintenance	Prélèvement d'eau	Accès direct et permanent à la nappe	Aucun
		Interférence avec d'autres ouvrages sollicitant la même nappe	Élaboration par les autorités de plans d'exploitation de l'énergie géothermique Suivi piézométrique des nappes traversées
		Appel d'eau de moindre qualité (ex. : eau salée)	Étude préalable de l'incidence du pompage
		Mise en communication de nappes suite au percement des tubages dû à la corrosion	Utilisation d'inhibiteurs de corrosion
	Réinjection de l'eau utilisée dans la nappe	Accès direct et permanent à la nappe <i>Sauf en cas de rejet dans le milieu superficiel</i>	Aucun
		Modification à long terme de la température d'un secteur de la nappe (panache), réchauffement ou refroidissement suivant l'usage (chauffage ou climatisation)	Alternance des usages
		Modification des caractéristiques physicochimiques de la nappe (solubilité des gaz dissous dans l'eau, pH et équilibres des composés dissous) Un réchauffement de la nappe s'accompagne : <ul style="list-style-type: none"> <li>- de la diminution de la teneur en gaz dissous (perte de CO<sub>2</sub>)</li> <li>- d'une modification de la minéralisation de l'eau due à l'augmentation de la solubilité de nombreuses substances organiques et minérales et de métaux lourds</li> </ul> Un rejet froid pourra, à l'inverse, favoriser des processus de précipitations (risque de colmatage par précipitation de carbonates, d'hydroxydes de fer et de manganèse, etc.) Ces modifications de la chimie de la nappe autour de l'ouvrage d'injection peuvent favoriser les phénomènes de corrosion (eaux minéralisées, présence de courants électriques parasites et/ou de certaines souches bactériennes) et s'accompagner de la contamination des nappes sous-jacentes (Jaudin 1988; Bonte <i>et al.</i> 2011b)	Aucun
		Utilisation éventuelle d'inhibiteurs de corrosion, de produits séquestrants et dispersants si l'eau est corrosive ou incrustante	Aucun
		Modification des caractéristiques microbiologiques de l'eau de la nappe liée à l'augmentation de la température de la nappe (facteur déterminant pour l'écologie des bactéries) ou l'introduction de nutriments. Même si les recherches n'ont pas mis en évidence le développement d'espèces pathogènes (Winters 1992) ou d'augmentation du dénombrement cellulaire, elles ont montré une modification de la flore microbienne (Sowers <i>et al.</i> 2006; Brielmann <i>et al.</i> 2009; Bonte <i>et al.</i> 2011a; Bonte <i>et al.</i> 2011b)	Aucun
		Mise en communication de nappes, suite au percement des tubages dû à la corrosion	Utilisation d'inhibiteurs de corrosion
	Réhabilitation des forages	Infiltration et pollution de la ou des nappe(s) par les produits de nettoyage et de désinfection (acides, polyphosphates, désinfectants)	Élimination par pompage
	Opérations de maintenance effectuées par des agents extérieurs à la production et/ou la distribution d'eau	Agents peu familiarisés avec les risques liés à l'EDCH	Établissement de conventions entre les différents acteurs, précisant notamment leurs responsabilités respectives Formation des agents
Phase d'abandon	Abandon du forage	Mise en communication de nappes	Extraction du tubage et comblement des ouvrages selon les règles de l'art
		Contamination de la nappe par infiltration d'eaux parasites	

Tableau V : Impacts des installations d'exploitation de l'énergie solaire photovoltaïque

	Opération		Danger	Moyen de maîtrise
Phase d'installation	Aménagement de la zone de chantier	Création de voies d'accès d'une plate-forme de stockage et de chemins d'exploitation	Tassement du sol Imperméabilisation partielle <i>Mais, surfaces concernées limitées</i>	Limitation des surfaces mobilisées Création de voies d'accès et de la plate-forme de stockage si possible hors des PPC ou utilisation de voies existantes
		Stockage de produits dangereux (hydrocarbures par exemple)	Infiltration de polluants	Stockage en cuvettes de rétention
		Assainissement du chantier	Infiltration de polluants	Mise en place de sanitaires de chantier conformément à la réglementation
	Conduite du chantier	Circulation de véhicules de chantier et de transport	Infiltration d'hydrocarbures <i>Mais, utilisation des chemins d'exploitation</i>	Aucun
		Entretien des véhicules, utilisation de groupes électrogènes	Infiltration de polluants (hydrocarbures notamment).	Pas de stockage d'hydrocarbures et de fluides dans les PPC Entretien et réparation des engins hors des PPC Présence de kits anti-pollution (absorbants et floculants) sur le site
	Modification de la topographie du site		Déplacement et mélange de terre Modification de la perméabilité du sol et des conditions d'écoulements, possibilité d'infiltration d'hydrocarbures	Interdiction de retravailler le site
	Pose ou construction des supports des panneaux solaires	Décapage du sol éventuel, création de secteurs drainants Imperméabilisation du sol <i>Mais sur une faible surface</i>		Choix de supports reposant sur le sol
		Imperméabilisation du sol <i>Mais sur une faible surface</i>		Choix de fondations à faible emprise (ex. : pieux)
	Implantation d'abris préfabriqués ou construction de bâtiments pour les équipements électriques et la maintenance		Imperméabilisation du sol <i>Mais sur une faible surface</i>	Installation si possible à l'extérieur des PPC
	Pose de câbles et de boîtes de jonction enterrés		Déplacement et mélange de terre Modification de la perméabilité du sol Infiltrations préférentielles au niveau des tranchées (=drains)	Pose de câbles à « enterrabilité directe »
Phase d'exploitation et de maintenance	Utilisation de véhicules		Infiltration de polluants (hydrocarbures) <i>Mais, circulation sur les chemins d'exploitation et fréquences limitées</i>	Aucun
	Utilisation de divers matériaux pour le montage des modules.		Entraînement d'éléments métalliques (ex. : Zn <sup>2+</sup> si acier galvanisé) <i>Mais rétention possible dans la zone non saturée du terrain</i>	Aucun
	Recouvrement du sol par des modules (30 à 35% de l'emprise totale pour une installation fixe en rangées).	Concentration des précipitations au pied des modules		Aucun vis-à-vis de la modification des écoulements
		Modification de l'infiltration et du ruissellement		Écartement suffisant des panneaux pour assurer la transparence hydraulique
		Érosion du sol		Maintenir l'enherbement pour limiter l'érosion
	Utilisation d'équipements électriques (onduleurs, transformateurs, poste de livraison, câbles, modules, etc.)		Incendie Sous produits de combustion mal connus (mobilité et toxicité) Pas de possibilité d'éteindre la combustion <i>Mais concernant les panneaux en TeCd, les fuites en Cd sont limitées par les plaques de verre et par formation d'une matrice inerte avec le verre lors de la fusion (Lincot et al.)</i>	Respect des normes pour les équipements électriques Utilisation d'abris résistants à l'incendie Installation de parafoudres conformes aux normes Entretien de la végétation au sol dans l'installation et en périphérie Création d'une bande sans végétation en périphérie de l'installation Déclenchement d'une alarme transmise à un service capable d'intervenir en urgence
	Opérations de maintenance effectuées par des agents extérieurs à la production et/ou la distribution d'eau		Agents peu familiarisés avec les risques liés à l'EDCH	Établissement de conventions entre les différents acteurs, précisant notamment leurs responsabilités respectives Formation des agents
	Nettoyage des surfaces des modules		Écoulement de produits de nettoyage <i>Mais en général auto-nettoyage par l'eau de pluie</i>	Utilisation exclusive d'eau
Entretien de la végétation de la parcelle		Entraînement d'herbicides	Entretien mécanique	
Bris de panneaux		Lixiviation possible de Cd <i>Mais limitée et très lente (Lincot et al.) et rétention dans la zone non saturée du sol</i>	Aucun	

	<b>Opération</b>	<b>Danger</b>	<b>Moyen de maîtrise</b>
<b>Phase d'abandon</b>	Abandon d'éléments en béton ou de panneaux	Imperméabilisation partielle	Les panneaux usagés doivent être récupérés pour être recyclés Nettoyage complet du site, labour, remise en prairie
	Abandon des câbles	Zones d'infiltration privilégiées	Aucun
	Ouvertures de tranchées pour retirer les câbles	Déplacement et mélange de terre Modification de la perméabilité du sol Infiltrations préférentielles au niveau des tranchées (=drains)	Remblaiement

Tableau VI : Impacts des installations d'exploitation de l'énergie éolienne

		Opération	Danger	Moyen de maîtrise
Phase d'installation	Aménagement de la zone de chantier	Création de voies d'accès (parfois empierrées), de l'aire de grutage	Tassement du sol Imperméabilisation partielle <i>Mais, surfaces concernées limitées</i>	Limitation des surfaces mobilisées Création des accès si possible hors des PPC Réutilisation des voies existantes
		Stockage de produits dangereux (hydrocarbures par exemple)	Infiltration de polluants	Stockage en cuvette de rétention
		Assainissement du chantier	Infiltration de polluants	Mise en place de sanitaires de chantier conformes à la réglementation
	Conduite du chantier	Circulation de véhicules lourds de chantier et de transport	Tassement du sol, imperméabilisation partielle <i>Mais, surfaces concernées limitées</i>	Aucun
		Alimentation en carburant et entretien des véhicules Utilisation de groupes électrogènes	Infiltration d'hydrocarbures notamment	Pas de stockage d'hydrocarbures et de fluides dans les PPC Entretien et réparation des engins hors des PPC Présence de kits anti-pollution (absorbants et floculants) sur le site
	Réalisation de fouilles pouvant atteindre 5 m de profondeur pour un diamètre de 20 m. Recours parfois nécessaire à des colonnes ballastées ou des pieux qui peuvent atteindre une vingtaine de mètres de profondeur		Atteinte de la nappe ou réduction de la couche protectrice au dessus du toit de la nappe  <i>Remarque : les études géotechniques permettant de définir la profondeur des fondations ne sont en général pas réalisées avant l'obtention du permis de construire alors que cela devrait être une obligation</i>	Aucun
	Fouilles ouvertes pendant plusieurs semaines		Création d'un chemin préférentiel pour l'infiltration	Coulage du béton dès la fin de réalisation des fouilles
	Emploi possible de « brise roche »		Création de fissures et infiltrations	Aucun
	Utilisation de béton adjuvanté (400 m <sup>3</sup> par éolienne), produits de cure et huiles de décoffrage	Écoulement de béton dans des cavités karstiques		Même si des techniques existent pour éviter l'écoulement de béton dans les cavités (occultation des excavations), elles ne suppriment pas tout danger
		Infiltrations préférentielles le long des parois		Utilisation de bâches en polymères en fond et en périphérie de la fouille Réalisation d'un coffrage étanche empêchant l'infiltration de laitance de béton
		Alcalinisation, migration d'aluminium, de métaux ou de substances organiques dans l'eau de la nappe		Respect des règles de l'art concernant le choix du béton et sa mise en œuvre
	Nettoyage des toupies ayant contenu le béton		Infiltration de polluants	Nettoyage hors PPC
	Installation ou construction de bâtiments annexes pour les équipements électriques		Imperméabilisation partielle du sol <i>Mais, surfaces concernées limitées</i>	Installation si possible à l'extérieur des PPR
	Pose de câbles enterrés		Modification de la perméabilité du sol Infiltrations préférentielles au niveau des tranchées (=drains)	Pose de câbles à « enterrabilité directe »
Apport d'huile pour le multiplicateur (jusqu'à 700 L)		Déversement d'huile <i>Mais, la nacelle sert de bac de rétention</i>	Aucun	

	Opération	Danger	Moyen de maîtrise
Phase d'exploitation et de maintenance	Utilisation de véhicules	Infiltration d'hydrocarbures <i>Mais, surfaces concernées et fréquences limitées</i>	Aucun
	Lubrification des éléments mobiles (1fois par an par exemple)	Déversement d'huile <i>Mais, la nacelle sert de bac de rétention</i>	Aucun
	Utilisation de liquides diélectriques dans les transformateurs et/ou condensateurs	Fuite de liquides diélectriques	Utilisation de transformateurs et/ou condensateurs secs ou installés sur un bac de rétention
	Présence d'installation en hauteur (plus de 100 m)	Foudroiement en cas d'orage, incendie	Protection des installations contre la foudre Déclenchement d'une alarme transmise à un service capable d'intervenir en urgence
	Opérations de maintenance effectuées par des agents extérieurs à la production et/ou la distribution d'eau	Agents peu familiarisés avec les risques liés à l'EDCH	Établissement de conventions entre les différents acteurs, précisant notamment leurs responsabilités respectives Formation des agents
Phase d'abandon	Abandon des fondations en béton et de certains équipements	Imperméabilisation partielle et infiltrations préférentielles	Récupération totale des équipements hors sol Destruction de la partie superficielle du massif bétonné Nettoyage complet du site
	Abandon des câbles	Zones d'infiltration privilégiées	Aucun

### 3.2 Vulnérabilité de la nappe dans les périmètres de protection des captages

La vulnérabilité de la nappe est fonction :

- du type de nappe (nappe captive, semi-captive ou libre),
- et pour les nappes libres :
  - o de l'épaisseur de la zone non saturée et donc de la profondeur de la nappe,
  - o de la perméabilité de la zone non saturée.

#### 3.2.1 Les nappes captives et semi-captives

La couverture imperméable ou semi-perméable de ces nappes assure une protection vis-à-vis de l'infiltration dans celles-ci, de la plupart des contaminants, à partir du moment où cette couverture présente une continuité. Cette protection est d'autant plus efficace que d'une part cette couverture est épaisse et d'autre part que la charge hydraulique de la nappe est importante. Dans le cas des nappes semi-captives, il ne faut pas ignorer cependant les phénomènes de drainance, naturels ou induits par l'exploitation des captages, qui vont pouvoir favoriser l'infiltration de certains composés. Les nappes captives et semi-captives sont peu ou pas vulnérables si l'écran argileux qui protège la nappe est préservé en tout ou partie.

#### 3.2.2 Les nappes libres

L'épaisseur de la zone non saturée mais aussi la perméabilité du terrain constituant celle-ci, détermineront l'aptitude de cette zone à retenir et à permettre une dégradation de certains contaminants.

Les nappes libres dont la surface piézométrique est peu profonde (à moins de 10 m en hautes eaux) sont vulnérables et ce d'autant plus que la perméabilité du terrain est forte alors que celles dont la surface piézométrique se trouve à plus de 10 m de profondeur en hautes eaux, avec une zone saturée perméable, le sont moins.

Lorsque la zone non saturée est non argileuse et/ou fracturée, la perméabilité est forte ( $K > 10^{-4}$  m/s) et la protection de la nappe faible. Inversement lorsque le terrain est argileux ou compact ( $K$  de  $10^{-4}$  à  $10^{-7}$  m/s) la protection de la nappe est forte.

Tableau VII : Vulnérabilité d'une nappe libre

	Surface piézométrique nappe < 10 m	Surface piézométrique nappe > 10 m
Perméabilité > $10^{-4}$ m/s	Nappe vulnérable	Nappe peu vulnérable
$10^{-7}$ m/s < Perméabilité < $10^{-4}$ m/s	Nappe très peu vulnérable	Nappe non vulnérable

Contenu de l'hétérogénéité du milieu karstique, les projets d'installation de dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables doivent comprendre une étude de vulnérabilité du secteur concerné, au regard notamment de :

- l'existence ou non d'une couverture protectrice,
- la densité des zones d'infiltration, de l'importance des eaux de ruissellement, etc.

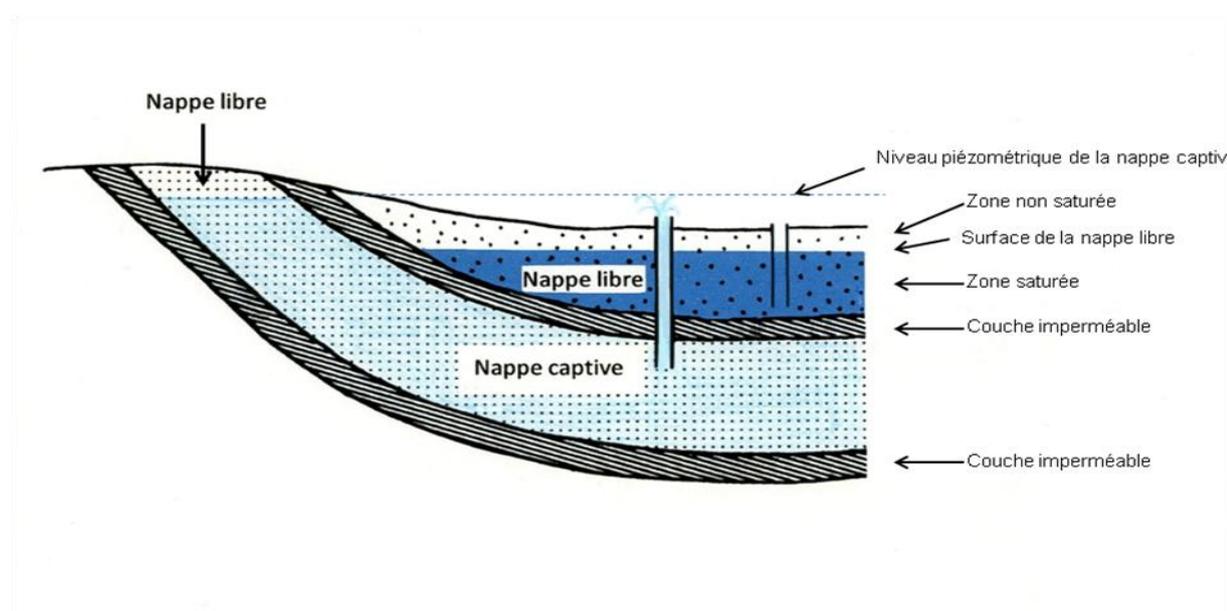


Figure 9 : Schéma représentatif des types de nappes et de leur vulnérabilité

### 3.3 Résultat de l'analyse des risques

Les risques de dégradation de la qualité des eaux souterraines, liés à l'installation de dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables dans les PPC découlent du croisement des dangers inhérents aux différentes phases du projet (étude, installation, exploitation, maintenance, abandon) et de l'existence ou non de moyens de maîtrise avec la vulnérabilité

intrinsèque de la nappe exploitée. C'est la phase du projet qui présente le plus de risques pour la nappe qui détermine le risque global lié à l'installation d'un dispositif.

Dans le PPI, les installations à créer étant très proches des ouvrages de captage d'eau et l'accès à ce périmètre de personnes non compétentes en matière d'EDCH rendent le risque élevé. En outre, au regard des dispositions réglementaires relatives aux PPC, la création de nouvelles activités en dehors de celles qui sont explicitement autorisées dans la DUP, est interdite et en raison du risque évoqué, l'installation de dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables dans le PPI d'un captage ne devrait pas faire partie des activités autorisées.

Le risque lié à l'installation de dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables dans les PPR est présenté de façon détaillée dans le tableau VIII. Par ailleurs, en zone karstique, les risques liés à l'installation de dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables ne peuvent être évalués qu'au cas par cas après une étude de vulnérabilité réalisée par un hydrogéologue agréé en matière d'hygiène publique (Arrêté du 15 mars 2011).

Dans les PPE, si pour tous les dangers identifiés, des mesures de maîtrise sont mises en œuvre, les risques seront plus faibles que dans le PPR en raison de l'éloignement du dispositif vis-à-vis du captage d'eau. En outre, au regard des dispositions réglementaires relatives aux PPC, l'installation de dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables ne peut être interdite mais seulement réglementée dans le PPE.

Lorsque le captage n'est pas doté de ses PPC, le risque lié à l'installation de dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables dans l'aire d'alimentation du captage ne peut être évalué qu'au cas par cas au regard de leur proximité vis-à-vis du captage. Cette évaluation doit être faite par un hydrogéologue agréé en matière d'hygiène publique (Arrêté du 15 mars 2011).

Par ailleurs, tout projet d'installation de dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables doit être compatible avec les servitudes d'utilité publique (fixées par arrêtés préfectoraux ou ministériels), les documents d'urbanisme locaux et les réglementations en vigueur.

Tableau VIII : Résultat de l'analyse des risques liés à l'installation de dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables dans les périmètres de protection rapprochée (PPR)

Vulnérabilité de la nappe *	Nappe captive et semi-captive (pas de zone non saturée)	Nappe libre dont la surface piézométrique < 10 m en hautes eaux		Nappe libre dont la surface piézométrique > 10 m en hautes eaux	
		Zone non saturée perméable (> 10 <sup>-4</sup> m/s)	Zone non saturée semi-perméable (de 10 <sup>-7</sup> à 10 <sup>-4</sup> m/s)	Zone non saturée perméable (> 10 <sup>-4</sup> m/s)	Zone non saturée semi-perméable (de 10 <sup>-7</sup> à 10 <sup>-4</sup> m/s)
Installation d'exploitation de l'énergie géothermique Systèmes fermés horizontaux et en corbeilles	Risque Négligeable	Risque Modéré	Risque Faible	Risque Faible	Risque Faible
Installation d'exploitation de l'énergie géothermique Systèmes fermés verticaux	Risque Négligeable (si la base cimentée des sondes ou des pieux est à plus de 3 m au-dessus de la base de la couverture imperméable de la nappe)	Risque Élevé	Risque Élevé	Risque Élevé	Risque Élevé
	Risque Modéré à Élevé (si la base cimentée des sondes ou des pieux est à moins de 3 m au-dessus de la base de la couverture imperméable de la nappe)				
Installation d'exploitation de l'énergie géothermique Systèmes ouverts	Risque Élevé	Risque Élevé	Risque Élevé	Risque Élevé	Risque Élevé
Installation d'exploitation de l'énergie solaire photovoltaïque	Risque Négligeable	Risque Élevé	Risque Faible	Risque Faible	Risque Faible
Installation d'exploitation de l'énergie éolienne	Risque Négligeable (si la base des fondations est à plus de 3 m au-dessus de la base de la couverture imperméable de la nappe)	Risque Élevé	Risque Élevé	Risque Faible (si la base des fondations est à plus de 3 m au-dessus des plus hautes eaux de la nappe)	Risque Négligeable (si la base des fondations est à plus de 3 m au-dessus des plus hautes eaux de la nappe)
	Risque Modéré à Élevé (si la base des fondations est à moins de 3 m au-dessus de la base de la couverture imperméable de la nappe)			Risque Élevé (si la base des fondations est à moins de 3 m au-dessus des plus hautes eaux de la nappe)	Risque Modéré à Élevé (si la base des fondations est à moins de 3 m au-dessus des plus hautes eaux de la nappe)

\* Milieu karstique : étude de vulnérabilité au cas par cas (cf. paragraphe 3.2).

## 4 Contexte réglementaire

### 4.1 Code de la Santé Publique : Dispositions relatives aux périmètres de protection des captages d'eau destinée à la consommation humaine

En application des articles L. 1321-2 et R. 1321-13 du CSP, la détermination des périmètres de protection est obligatoire autour des points de captages publics d'eau destinée à la consommation humaine (DGS 2009). Les PPC comprennent :

- un périmètre de protection immédiate (PPI) : « *À l'intérieur du périmètre de protection immédiate, dont les limites sont établies afin d'interdire toute introduction directe de substances polluantes dans l'eau prélevée et d'empêcher la dégradation des ouvrages, les terrains sont clôturés, sauf dérogation prévue dans l'acte déclaratif d'utilité publique, et sont régulièrement entretenus. Tous les travaux, installations, activités, dépôts, ouvrages, aménagements ou occupations des sols sont interdits, en dehors de ceux qui sont explicitement autorisés dans l'acte déclaratif d'utilité publique.* ».
- un périmètre de protection rapprochée (PPR), au sein duquel sont « *interdits les travaux, installations, activités, dépôts, ouvrages, aménagements ou occupation des sols susceptibles d'entraîner une pollution de nature à rendre l'eau impropre à la consommation humaine. Les autres travaux, [...] peuvent faire l'objet de prescriptions, et sont soumis à une surveillance particulière.* » ;
- éventuellement un périmètre de protection éloignée (PPE), au sein duquel « *peuvent être réglementés les travaux, installations [...] qui, compte tenu de la nature des terrains, présentent un danger de pollution pour les eaux prélevées ou transportées, du fait de la nature et de la qualité des produits polluants liés à ces travaux [...] ou de l'étendue des surfaces que ceux-ci peuvent occuper.* ».

L'instauration des PPC est un outil réglementaire qui contribue à protéger les points de captage contre les sources de pollutions ponctuelles et accidentelles pouvant survenir dans leur proche environnement. Le guide technique du ministère chargé de la santé paru en mai 2008 précise les objectifs à atteindre par les périmètres de protection (DGS 2008a) :

- le PPI, de petite extension (quelques centaines de m<sup>2</sup> en général) a pour objet de protéger le captage de la malveillance, des déversements directs sur l'ouvrage et des contaminations microbiologiques (parasites, bactéries, virus) ;
- le PPR doit constituer une zone tampon vis-à-vis des activités à risque présentes à proximité du captage à protéger. Cette zone doit offrir un délai de réaction suffisant vis-à-vis des pollutions qui pourraient se produire. Les activités présentes au moment de son élaboration ne s'opposent pas à la production d'une eau de qualité, même si certaines améliorations de l'existant sont nécessaires. En revanche et sauf pour les captages en nappe captive, la possibilité d'interdiction de toute nouvelle activité doit être étudiée (gradation avec le type d'aquifère) ;
- le PPE est le plus souvent sans objet, sauf dans l'optique d'une gestion de la pollution diffuse d'un aquifère.

Seul le PPI est obligatoire, mais pour la grande majorité des ressources, le PPR est indispensable (ressource sans protection naturelle).

Les PPC et les servitudes afférentes sont fixés et déclarés d'utilité publique par arrêté préfectoral d'autorisation d'utilisation du captage en vue de la consommation humaine (pris au titre de l'article R.1321-6 du CSP) qui est inscrit :

- dans les documents d'urbanisme de la (des) commune(s) concernées (POS, PLU), afin d'être pris en compte dans les projets d'aménagement sur le(s) territoire(s) communal(aux) ;

- au recueil des actes administratifs.

Il peut également être inscrit à la conservation des hypothèques, bien que cette inscription ne soit plus obligatoire depuis la loi n° 2004-806 du 9 août 2004.

Les ARS s'appuient sur les dispositions de l'arrêté préfectoral de DUP des PPC, lorsqu'il existe, pour instruire les demandes d'installation de systèmes de récupération d'énergies renouvelables dans ces derniers. Si des dispositions pour l'installation de ces systèmes ne sont pas prévues dans l'arrêté préfectoral de DUP des PPC, l'avis d'un hydrogéologue agréé en matière d'hygiène publique, saisi par l'ARS, doit être recueilli (Arrêté du 15 mars 2011) et, si nécessaire, l'arrêté préfectoral doit être modifié.

## **4.2 Dispositions réglementaires et autres applicables aux installations d'exploitation d'énergies renouvelables**

L'installation de dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables est réglementée principalement par les codes suivants et leurs textes d'application :

- le code minier,
- le code de l'environnement,
- le code des collectivités,
- le code de l'urbanisme,
- le code de la santé publique si leur installation est prévue dans les PPC (cf. § 4.1.1).

L'objectif de ces différents codes est de maîtriser l'utilisation du sol et du sous-sol, de contrôler les prélèvements d'eau et les rejets au regard de la protection de la ressource en eau, mais aussi de protéger la population des nuisances sonores, esthétiques, d'éviter la pollution de l'air, de protéger la faune et la flore, etc.

Les réglementations, normes techniques, lignes directrices et certifications applicables aux différents types d'installations et aux produits utilisés dans ces dernières sont précisés dans les annexes suivantes :

- annexe 2 : géothermie,
- annexe 3 : capteurs solaires photovoltaïques,
- annexe 4 : éoliennes,
- annexe 5 : produits utilisés dans les dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables.

## 5 Conclusions

Les risques de dégradation de la qualité des eaux souterraines, liés à l'installation de dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables dans les PPC découlent du croisement des dangers inhérents aux différentes phases des projets (étude, installation, exploitation, maintenance, abandon) et de l'existence ou non de moyens de maîtrise avec la vulnérabilité intrinsèque de la nappe exploitée. C'est la phase du projet qui présente le plus de risques pour la nappe qui détermine le risque global lié à l'installation d'un dispositif.

Le risque évoqué dans la suite du texte sera le risque global de dégradation de la qualité des eaux souterraines.

1°) Dans le PPI, le risque lié à l'installation de dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables est jugé élevé en raison de la très grande proximité des installations à créer avec les ouvrages de captage d'EDCH et de l'accès à ce périmètre de personnes non compétentes en matière d'EDCH. En outre, au regard des dispositions réglementaires relatives aux PPC, la création de nouvelles activités en dehors de celles qui sont explicitement autorisées dans l'acte déclaratif d'utilité publique, est interdite et en raison du risque évoqué, l'installation de dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables dans le PPI d'un captage ne devrait pas faire partie des activités autorisées.

2°) Dans le PPR, le risque lié à l'installation de dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables est présenté de façon détaillée dans le tableau IV.

Le risque lié à l'installation de systèmes géothermiques fermés horizontaux et en corbeille est jugé négligeable, faible ou modéré en fonction de la vulnérabilité de la nappe car ces systèmes sont peu profonds et ne vont pas se situer dans la nappe captée.

Le risque lié à l'installation de systèmes géothermiques fermés verticaux est jugé élevé en présence d'une nappe libre car rien ne garantit que l'étanchéité entre la sonde ou les pieux et le sol va être totale, que les systèmes vont bien vieillir et que des eaux parasites ne vont pas s'infiltrer le long des sondes ou des pieux. En revanche, le risque est jugé négligeable en présence d'une nappe captive ou semi-captive, sous réserve qu'un écran argileux soit conservé entre la base cimentée de la sonde ou des pieux et la nappe sous-jacente afin de maintenir cette dernière en pression (base cimentée des sondes ou des pieux à plus de 3 m au-dessus de la base de la couverture imperméable de la nappe).

Concernant les doublets géothermiques et quelle que soit la vulnérabilité de la nappe, le risque lié à leur installation dans les PPR est jugé élevé.

Le risque lié aux installations solaires photovoltaïques est jugé faible ou négligeable, excepté en milieu perméable dans les zones où la nappe est libre et peu profonde (< 10 m).

Pour les installations d'éoliennes, le risque :

- est jugé négligeable dans le cas d'une nappe captive ou semi-captive si la base de leurs fondations laisse subsister une épaisseur d'au moins 3 m de l'écran mettant en charge cette dernière ;
- est jugé élevé en présence d'une nappe libre peu profonde (surface piézométrique < 10 m) ;
- est jugé faible ou négligeable en présence d'une nappe libre dont la surface piézométrique en hautes eaux se situe à une profondeur > 10 m, à condition que la base des fondations se situe à plus de 3 m au-dessus du niveau des plus hautes eaux de la nappe.

Par ailleurs, en zone karstique, les risques liés à l'installation de dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables ne peuvent être évalués qu'au cas par cas après une étude de vulnérabilité réalisée par un hydrogéologue agréé en matière d'hygiène publique.

Tout accident dans un système d'exploitation d'énergie renouvelable installé dans un PPR susceptible d'avoir un impact sur la qualité de l'eau doit être immédiatement signalé à l'ARS. Un bilan technique du fonctionnement des dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables installés dans les PPR faisant apparaître les incidents et leurs impacts éventuels sur la qualité de l'eau doit être fourni chaque année aux ARS.

3°) Dans le PPE et si pour tous les dangers identifiés des mesures de maîtrise sont mises en œuvre, les risques seront plus faibles que dans le PPR en raison de l'éloignement du dispositif vis-à-vis du captage d'eau. En outre, au regard des dispositions réglementaires relatives aux PPC, l'installation de dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables ne peut être interdite mais seulement réglementée dans le PPE.

Par ailleurs, Il convient de souligner que les risques de pollution des aquifères seront les mêmes qu'ils soient ou non utilisés pour la production d'EDCH d'où la nécessité, pour préserver des ressources futures, de respecter pour les dispositifs susceptibles d'être installés en dehors des PPC, les mêmes exigences que pour ceux situés dans les dits périmètres.

4°) Lorsque le captage n'est pas doté de ses PPC, le risque lié à l'installation de dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables dans l'aire d'alimentation du captage ne peut être évalué qu'au cas par cas au regard de leur proximité vis-à-vis du captage. Cette évaluation doit être faite par un hydrogéologue agréé en matière d'hygiène publique.

## 6 Choix bibliographique, règlements et normes

### 6.1 Bibliographie

- Afssa (2008a). "Lignes directrices pour l'installation de turbines hydroélectriques sur des canalisations d'eaux brutes utilisées pour la production d'eaux destinées à la consommation humaine, sur des canalisations d'eaux en cours de traitement et sur des canalisations d'eaux destinées à la consommation humaine." Rapport n° 2008-SA-0013.
- Afssa (2008b). "Modalités d'évaluation des fluides caloporteurs pouvant être utilisés dans les installations de traitement thermique des eaux destinées à la consommation humaine fonctionnant en simple échange." Rapport n° 2007-SA-0107.
- Anses (2010). "Lignes directrices pour l'évaluation de l'innocuité sanitaire des lubrifiants utilisés dans les installations de production, de distribution et de conditionnement d'eau destinée à la consommation humaine." Rapport n° 2007-SA-0096.
- Albouy L.; Foucher J.C.; Goyénèche O. (2005). "Capteurs géothermiques verticaux pour pompes à chaleur – Aspects réglementaires, règles de l'art et qualification des entreprises de forage." BRGM/ADEME/EDF.
- Baumgärtner J.; Teza D.; Hettkamp T.; Homeier G.; Baria R.; Michelet S. (2005). "Electricity production from hot rocks." Proceedings World Geothermal Congress - Antalya - Turkey.
- Béranger B. (2008). "Les pompes à chaleur." Editions Eyrolles.
- Bonte M.; Stuyfzand P.J.; Hulsmann A.; Van Beelen P. (2011a). "Underground thermal energy storage: environmental risks and policy developments in the Netherlands and European Union." Ecology and Society **16**(1): art22.
- Bonte M.; Stuyfzand P.J.; Van den berg G.A.; Hijnen W.A.M. (2011b). "Effects of aquifer thermal energy storage on groundwater quality and the consequences for drinking water production: a case study from the Netherlands." Water Science & Technology **63**(9): 1922-1931.
- Bouchot V.; Sanjuan B.; Lopez S. (2010a). "La production d'électricité par géothermie - 1. Les réservoirs conventionnels: Bouillante: vers un modèle ?" Géochronique **114** (BRGM - Société Géologique de France): 37-39.
- Bouchot V.; Lopez S.; Bialkowski A.; Colnot A.; Rigollet C. (2010b). "La géothermie à l'échelle de la ville." Géochronique **114**(BRGM - Société Géologique de France): 25-36.
- Brielmann H.; Griebler C.; Schmidt S.I.; Michel R.; Lueders T. (2009). "Effects of thermal energy discharge on shallow groundwater ecosystems." FEMS Microbiology Ecology **68**(3): 273-286.
- Canada (2000). "Loi canadienne sur la protection de l'environnement (1999) - Rapport d'évaluation de la liste des substances d'intérêt prioritaire - Suivi du rapport sur l'état de la science - Éthylène glycol." Environnement Canada - Santé Canada.
- Castany G. et Margat J. (1977). "Dictionnaire français d'hydrogéologie." Editions du BRGM.
- CETIAT (2008). "Les puits canadiens/provençaux – Guide d'information".
- CIMbéton (2005). "Fiches techniques – Tome 1 – Les constituants des bétons et des mortiers." Centre d'information sur le ciment et ses applications.
- CIMbéton (2006). "Fiches techniques – Tome 2 – Les bétons : formulation, fabrication et mise en œuvre." Centre d'information sur le ciment et ses applications.
- Coz J.C. (2009). "Énergies renouvelables et qualité de l'eau des captages d'eau souterraine". Mémoire d'Ingénieur du génie sanitaire – École des hautes études en santé publique (EHESP). (Rapport non publié).
- DGS (2009). "Eau et Santé - Bilan - Protéger les captages destinés à la production d'eau potable." Ministère de la santé et des sports.
- DGS (2008a). "Conditions de mise sur le marché et d'utilisation des bétons et mortiers entrant au contact d'eau potable." Ministère de la santé et des sports. (Étude non publiée).
- DGS (2008b). "Eau et santé - Guide technique - Protection des captages d'eau - Acteurs et stratégies." Ministère de la santé et des sports.
- Gentier S. et Genter A. (2010). "La production d'électricité par géothermie - 2. Le pilote scientifique de Soultz-sous-Forêt (Bas-Rhin) - Enjeux et perspectives." Géochronique **114** (BRGM - Société Géologique de France): 40-44.
- Gonsior S. et West R.-J. (1995). "Biodegradation of glycol ethers in soil." Environmental Technology and Chemistry **14**(8): 1273-1279.
- INGEROP "Projet de parc photovoltaïque à Goulien (29) - Annexe n°1 : description des modules."

- Jaudin F. (1988). "Eaux souterraines et pompes à chaleur, guide pour l'utilisation de l'eau souterraine à des fins thermiques." Edition BRGM.
- Laplaige P. et Desplan A. (2005). "Vue synthétique de la géothermie basse énergie en France." Géologues 145 (Spécial Energies 2): 79-82.
- LeDu H. (2010). "La géothermie en France." Géochronique 114(BRGM - Société Géologique de France): 18-25.
- Lemane J. et Gourmez D. (2008). "Guide technique - Pompe à chaleur géothermique sur aquifère - Conception et mise en oeuvre." BRGM Editions, manuel co-édité par l'ADEME, l'ARENE et le BRGM.
- Lincot D.; Gaucher R.; Alsema E.; Million A.; Jäger-Waldau A. (2009). "Aspects environnementaux, de santé et de sécurité des systèmes photovoltaïques de First Solar contenant du tellure de cadmium." Rapport réalisé sous l'autorité du Ministère français de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer.
- MEEDDM (2010). "Guide de l'étude d'impact sur l'environnement des parcs éoliens - Actualisation 2010."
- MEDDTL (2011). "Guide de l'étude d'impact sur l'environnement des installations photovoltaïques au sol."
- Nessi M.C.; Nicot-Berenger J.; Thérond P.G.; Robert S. (2011). "Mesures de prévention et de protection associées aux centrales photovoltaïques au sol." Note confidentielle non publiée (EDF énergies nouvelles).
- OFEFP (2004). "Instruction pratiques pour la protection des eaux souterraines." Publié par l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage.
- Riederer P. (2010). "Pompe à chaleur géothermique - Chauffage et rafraîchissement en maison individuelle - Conception, mise en oeuvre et entretien." CSTB Editions.
- Sanner B. (2008). "Guidelines, standards, certification and legal permits for ground source heat pumps in the european union." Unpublished manuscript:  
[http://www.sanner-geo.de/media/iea\\$20hpc\\$202008\\$20sanner\\$20standards.pdf](http://www.sanner-geo.de/media/iea$20hpc$202008$20sanner$20standards.pdf)
- Sowers L.; York K.P.; Stiles L. (2006). "Impact of thermal buildup on groundwater chemistry and aquifer microbes." Unpublished manuscript:  
[http://intraweb.stockton.edu/eyos/energy\\_studies/content/docs/FINAL\\_PRESENTATIONS/4A-5.pdf](http://intraweb.stockton.edu/eyos/energy_studies/content/docs/FINAL_PRESENTATIONS/4A-5.pdf)
- Sustrac G. (2005a). "Le programme de géothermie Roches Chaudes Sèches (RCS) de Soultz-sous-Forêts (Alsace) : avancements et perspectives." Géologues 145 (Spécial Energies 2): 87-88.
- Sustrac G. (2005b). "Les pompes à chaleur." Géologues 145 (Spécial Energies 2): 89-92.
- Terrusse A. (2005). "L'apport de la géothermie pour le chauffage collectif à Châteauroux." Géologues 145 (Spécial Energies 2): 83-86.
- Tschumper R. (2009). "Autorisation des sondes géothermiques : carte interactive." Office des eaux et des déchets (OED) – Direction des travaux publics, des transports et de l'énergie du canton de Berne.  
[http://agi.s3.amazonaws.com/geodbmeta/lpi/ERDSOND\\_2010\\_02\\_LANG\\_FR.PDF](http://agi.s3.amazonaws.com/geodbmeta/lpi/ERDSOND_2010_02_LANG_FR.PDF)
- Winters A. L. (1992). "Summary of research on microbiological processes - International energy agency subtask." Unpublished manuscript:  
<http://www.osti.gov/energycitations/servlets/purl/10122061-fHeDI4/10122061.pdf>

## 6.2 Réglementation

Directive 2009/28/CE du 23 avril 2009 relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables et modifiant puis abrogeant les directives 2001/77/CE et 2003/30/CE.

Loi n° 2000-108 du 10 février 2000 relative à la modernisation et au développement du service public de l'électricité.

Loi n° 2004-806 du 9 août 2004 relative à la politique de santé publique.

Loi n° 2010-874 du 27 juillet 2010 de modernisation de l'agriculture et de la pêche.

Décret n° 78-498 modifié du 28 mars 1978 relatif aux titres de recherches et d'exploitation de géothermie.

Décret n°2000-877 du 7 septembre 2000 relatif à l'autorisation d'exploiter les installations de production d'électricité.

Décret n°2001-410 du 10 mai 2001 relatif aux conditions d'achat de l'électricité produite par des producteurs bénéficiant de l'obligation d'achat.

Décret n° 2006-648 du 2 juin 2006 relatif aux titres miniers et aux titres de stockage souterrain.

Décret n° 2006-649 du 2 juin 2006 relatif aux travaux miniers, aux travaux de stockage souterrain et à la police des mines et des stockages souterrains.

- Décret n° 2007-1307 du 4 septembre 2007 relatif à l'application de la loi n° 2000-108 du 10 février 2000 modifiée relative à la modernisation et au développement du service public de l'électricité et portant dispositions transitoires.
- Décret n° 2008-652 du 2 juillet 2008 relatif à la déclaration des dispositifs de prélèvement, puits ou forages réalisés à des fins d'usage domestique de l'eau et à leur contrôle ainsi qu'à celui des installations privatives de distribution d'eau potable.
- Décret n° 2009-496 du 30 avril 2009 relatif à l'Autorité administrative de l'Etat compétente en matière d'environnement prévue aux articles L. 122-1 et L. 122-7 du code de l'environnement.
- Décret n° 2009-1414 du 19 novembre 2009 relatif aux procédures administratives applicables à certains ouvrages de production d'électricité.
- Décret n° 2010-1700 du 30 décembre 2010 modifiant la colonne A de l'annexe à l'article R. 511-9 du code de l'environnement relative à la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement.
- Arrêté du 30 novembre 2005 modifiant l'arrêté du 23 juin 1978 relatif aux installations fixes destinées au chauffage et à l'alimentation en eau chaude sanitaire des bâtiments d'habitation, des locaux de travail ou des locaux recevant du public.
- Arrêté du 5 décembre 2006 relatif aux modalités de mesurage des bruits de voisin.
- Arrêté du 17 décembre 2008 relatif au contrôle des installations privatives de distribution d'eau potable, des ouvrages de prélèvement, puits et forages et des ouvrages de récupération des eaux de pluie.
- Arrêté du 15 mars 2011 relatif aux modalités d'agrément, de désignation et de consultation des hydrogéologues en matière d'hygiène publique.
- Circulaire du 26 avril 1982 relative à la modification du règlement sanitaire départemental type (annexe relative au traitement thermique des eaux destinées à la consommation humaine).
- Circulaire DGS/PGE/1.D. n°942 du 2 juillet 1985 relative au traitement thermique des eaux destinées à la consommation humaine - Article 16-9 du Règlement Sanitaire Départemental type.
- Circulaire DGS/PGE/1.D. n°357 du 2 mars 1987 relative à la mise à jour des listes de fluides et additifs utilisés pour le traitement thermique des eaux destinées à la consommation humaine.
- Circulaire du 3 mars 2008 relative aux perturbations par les aérogénérateurs du fonctionnement des radars fixes de l'Aviation civile, de la Défense nationale, de Météo-France et des ports et navigation maritime et fluviale (PNM).
- Circulaire du 3 septembre 2009 relative à la préparation de l'avis de l'autorité environnementale.
- Circulaire du 18 décembre 2009 relative au développement et au contrôle des centrales photovoltaïques au sol.

### 6.3 Normes

- DIN 8901 (Décembre 2002) : Refrigerating systems and heat pumps - Protection of soil, ground and surface water - Safety and environmental requirements and testing.
- DVGW (2 Juni 2010) : Positionspapier - Erdwärmennutzung in Trinkwassereinzugsgebieten.
- FD P (Décembre 2009) : Béton – Définition et classification des environnements chimiques agressifs – recommandations pour la formulation des bétons. Guide UTE C 15-712-1 (Juillet 2010) : Installations photovoltaïques raccordées au réseau public de distribution.
- NF EN 61400-1 (Juin 2006) : Éoliennes - Partie 1 : exigences de conception.
- NF EN 61400-2 (Octobre 2006) : Aérogénérateurs - Partie 2 : exigences en matière de conception des petits aérogénérateurs.
- NF X 10-970 (Janvier 2011) : Forage d'eau et de géothermie - Sonde géothermique verticale (échangeur géothermique vertical en U avec liquide caloporteur en circuit fermé) - Réalisation, mise en oeuvre, entretien, abandon.
- NF X 10-999 (Avril 2007) : Forage d'eau et de géothermie - Réalisation, suivi et abandon d'ouvrages de captage ou de surveillance des eaux souterraines réalisés par forages.
- NF X 10-980 (Avril 2007) : Forage d'eau et de géothermie - Réalisation, suivi et abandon d'ouvrages de captage ou de surveillance des eaux souterraines réalisés par forages – Démarches administratives.
- prNF X 10-950 : Forage d'eau et de géothermie – Ciment pour géothermie – Exigences.
- prNF X 10-960 : Forage d'eau et de géothermie – Systèmes caloporteurs pour eau glycolée et tubes de type polymère (boucles de sonde) – Exigences.
- SIA 384/6 (2010) : Sondes géothermiques.
- VDI 4640 – Part 1-4 (2000-2004) : Thermal use of the underground.

## Annexe 1 : Lettre de saisine



Ministère de la santé et des sports

2010 -SA- 0 0 47

Paris, le 22 FEV. 2010

Direction générale de la santé  
Sous-direction de la prévention des risques  
liés à l'environnement et à l'alimentation  
Bureau de la qualité des eaux

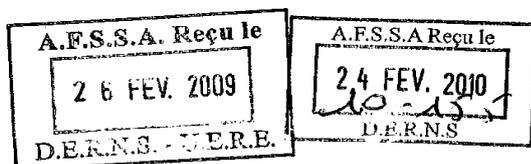
DGS/EA4 N° 64

Personne chargée du dossier :  
Melle Bérengère LEDUNOIS  
Tél. : 01.40.56.69.18  
Fax : 01.40.56.50.56  
Mél : berengere.ledunois@sante.gouv.fr

Le Directeur général de la santé

à

Monsieur le Directeur général de l'Agence  
française de sécurité sanitaire des aliments  
A l'attention de la DERNS  
27-31 rue du Général Leclerc  
BP 19  
94701 MAISONS-ALFORT CEDEX



**Objet** : Risques sanitaires liés à l'installation, à la maintenance, à l'exploitation et à l'abandon de dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables dans les périmètres de protection des captages d'eau destinée à la consommation humaine

**N/Réf.** : n° 100006 (numéro de dossier à rappeler dans toute correspondance)

En transposant en droit français la Directive 2001/77/CE du 27 septembre 2001 avec la Loi de programmation fixant les orientations de la politique énergétique (loi POPE du 13 juillet 2005), la France s'est engagée à développer les énergies renouvelables afin de réduire sa dépendance à la fois sur le plan énergétique et de l'approvisionnement en matières premières, et diminuer ses émissions de gaz à effet de serre (en application des accords de Kyoto).

La France s'est fixée avec la loi POPE des objectifs nationaux où figurent notamment :

- l'augmentation de 15 % à 21 % de la part de la consommation nationale d'électricité d'origine renouvelable. Celle-ci proviendra de l'éolien, de la biomasse et, dans une moindre mesure, de l'hydroélectricité ;
- l'augmentation de 50% de la production de chaleur d'origine renouvelable en 2015, telle que la géothermie.

S'y ajoutent les objectifs du Grenelle de l'environnement qui préconisent l'augmentation de la part des énergies renouvelables dans la consommation finale d'énergie (23 % en 2020).

Face à la multiplication des études d'implantation d'énergies renouvelables et la recherche de terrains propices à l'implantation de ces sites de production, les périmètres de protection des captages (PPC) utilisés pour la production d'eau potable présentent l'avantage d'avoir une emprise au sol importante (plusieurs dizaines d'hectares) sans pour autant être nécessairement en compétition avec l'activité agricole. A ce titre, les DDASS sont de plus en plus sollicitées par les promoteurs mais également par les collectivités qui souhaitent valoriser ces surfaces.

Pour instruire ces demandes, les DDASS s'appuient sur les dispositions de l'arrêté préfectoral de déclaration d'utilité publique (DUP) des PPC, lorsqu'il existe, qui, en application de l'article R.1321-13 du code de la santé publique, doit prévoir que :

- pour le périmètre de protection rapprochée sont « interdits les travaux, installations, activités, dépôts, ouvrages, aménagements ou occupation des sols susceptibles d'entraîner une pollution de nature à rendre l'eau impropre à la consommation humaine. Les autres travaux, [...] peuvent faire l'objet de prescriptions, et sont soumis à une surveillance particulière. » ;
- pour le périmètre de protection éloignée, « peuvent être réglementés les travaux, installations [...] qui, compte tenu de la nature des terrains, présentent un danger de pollution pour les eaux

1/2

14, avenue Duquesne - 75 350 Paris 07 SP  
[www.sante-sports.gouv.fr](http://www.sante-sports.gouv.fr)

*prélevées ou transportées, du fait de la nature et de la qualité des produits polluants liés à ces travaux [...] ou de l'étendue des surfaces que ceux-ci peuvent occuper ».*

Toutefois, face à la multiplication des demandes d'implantation d'énergie renouvelable, de nombreuses DDASS ont sollicité l'avis de la DGS afin de disposer d'une position sanitaire nationale et d'intégrer, si besoin, de nouvelles dispositions dans les futurs arrêtés de DUP des PPC.

C'est pourquoi la Direction générale de la santé souhaite disposer d'une évaluation des risques sanitaires liés à l'installation, à la maintenance, à l'exploitation et à l'abandon des différents dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables (pompes à chaleur géothermique, capteurs solaires, éoliennes, etc) dans les périmètres de protection rapprochée et éloignée des captages ou, à défaut, à proximité des captages lorsque ces périmètres n'ont pas été définis réglementairement, selon la nature du terrain et l'hydrogéologie. Cette évaluation des risques s'accompagnera de propositions de mesures de maîtrises appropriées devant être mises en œuvre si l'interdiction de leur implantation n'était pas justifiée.

Je vous précise enfin que la présente saisine relative à la :

**DEMANDE D'EVALUATION DES RISQUES SANITAIRES LIES A L'INSTALLATION, A LA MAINTENANCE,  
A L'EXPLOITATION ET A L'ABANDON DE DISPOSITIFS D'EXPLOITATION D'ENERGIES  
RENOUVELABLES DANS LES PERIMETRES DE PROTECTION DES CAPTAGES D'EAU UTILISEE POUR  
LA PRODUCTION D'EAU POTABLE**

est enregistrée à la Direction générale de la santé sous le numéro : 100006.

Vous voudrez bien me transmettre votre avis sur ce dossier dans un délai de 12 mois à compter de la date de réception du présent courrier.

  
Jocelyne **BOUDOT**  
Sans-directrice de la prévention des risques  
liés à l'environnement et à l'alimentation

## Annexe 2 : Dispositions réglementaires et autres applicables à la géothermie

### Dispositions réglementaires

L'installation de dispositifs d'exploitation de l'énergie géothermique est réglementée principalement par les codes minier, de l'environnement, des collectivités territoriales et leurs textes d'application.

#### Le code minier

Conformément à l'article 131 du code minier, tout sondage, ouvrage souterrain ou travail de fouille (quel qu'en soit l'objet) de profondeur supérieure à 10 m est soumis à déclaration auprès de la Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL) et recensé à la Banque des données du sous-sol (BSS).

En outre, la recherche et l'exploitation de gîtes géothermiques sont soumises aux dispositions suivantes :

- géothermie haute température (température > 150°C en surface et profondeur > 100 m) : obligation d'obtention d'un permis exclusif de recherche par arrêté ministériel puis d'une concession par décret en Conseil d'État (cf. titres II et III du code minier, décrets n° 2006-648 et n°78-498 modifié),
- géothermie basse température (température < 150°C en surface et profondeur > 100 m ou débit calorique > 200 thermies/h) : obligation d'obtention d'un permis de recherche puis d'exploitation, délivré par la préfecture (cf. articles 98 à 103 du code minier et décret n° 78-498 modifié),
- géothermie basse température et de minime importance (température < 150°C en surface et profondeur < 100 m et débit calorique < 200 thermies/h) : exemption de titre minier et obligation de déclaration (cf. décret n° 78-498 modifié).

Par ailleurs sont soumis à l'autorisation prévue par l'article 83 du code minier, l'ouverture de travaux de recherches et d'exploitation de gîtes géothermiques.

#### Le code de l'environnement

Les articles R. 214-1 et suivants du code de l'environnement soumettent à autorisation ou déclaration en préfecture les opérations suivantes pouvant intervenir dans le cas des exploitations de géothermie :

- forage d'eau non destiné à un usage domestique (rubrique 1.1.1.0) : déclaration ;
- prélèvements d'eau souterraine (rubrique 1.1.2.0.) :
  - o volume prélevé  $\geq$  200 000 m<sup>3</sup>/an : autorisation,
  - o volume prélevé > 10 000 m<sup>3</sup>/an mais < 200 000 m<sup>3</sup>/an : déclaration ;
- prélèvements d'eau dans des zones spécifiques de déséquilibre hydrologique, appelées zones de répartition des eaux (rubrique 1.3.1.0.) :
  - o capacité  $\geq$  8 m<sup>3</sup>/h : autorisation,
  - o dans les autres cas : déclaration ;
- réinjection dans une même nappe des eaux prélevées pour la géothermie (rubrique 5.1.1.0.) :
  - o capacité totale de réinjection  $\geq$  80 m<sup>3</sup>/h : autorisation,
  - o capacité totale de réinjection > à 8 m<sup>3</sup>/h mais < 80 m<sup>3</sup>/h : déclaration ;
- recherche et exploitation de gîtes géothermiques (rubrique 5.1.2.0.) : autorisation.

De plus, les arrêtés du 11 septembre 2003 fixent les règles techniques minimales permettant d'exécuter un ouvrage soumis à déclaration ou autorisation au titre du code de l'environnement dans le respect de la protection des eaux souterraines.

Par ailleurs, les pompes à chaleur sur nappe ne sont plus soumises à déclaration ou autorisation au titre de la rubrique 2920 de la législation relative aux installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) [décret n° 2010-1700 du 30 janvier 2010].

Ainsi les opérations de géothermie relèvent :

- du code minier si elles exploitent une nappe considérée comme un gîte géothermique au titre du code minier,
- du code de l'environnement si elles exploitent une nappe qui n'est pas considérée comme un gîte géothermique.

Toutefois, l'autorisation ou la déclaration obtenue au titre du code minier vaut autorisation ou déclaration au titre du code de l'environnement (Décret n°2006-649 du 2 juin 2006).

#### Le code général des collectivités territoriales

Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2009 et en application de l'article L. 2224-9 du code des collectivités territoriales, tout particulier utilisant ou souhaitant réaliser un ouvrage de prélèvement d'eau souterraine (puits ou forage) à des fins d'usage domestique (prélèvement < 1000 m<sup>3</sup>/an) doit déclarer cet ouvrage ou son projet en mairie (Décret n°2008-652 du 2 juillet 2008 et arrêté du 17 décembre 2008).

Par ailleurs, concernant les rejets, l'article L. 2224-12 du code des collectivités territoriales précise que : « *Les communes et les groupements de collectivités territoriales, après avis de la commission consultative des services publics locaux, établissent, pour chaque service d'eau ou d'assainissement dont ils sont responsables, un règlement de service définissant, en fonction des conditions locales, les prestations assurées par le service ainsi que les obligations respectives de l'exploitant, des abonnés, des usagers et des propriétaires.* ». Ainsi, des règlements locaux définissent les conditions d'admission des rejets. À titre d'exemple, certains stipulent que sont interdits les déversements dans les réseaux d'eaux usées, d'effluents entraînant une température supérieure à 30°C et d'eaux utilisées dans des installations de traitement thermique ou des installations de climatisation. Par ailleurs, certains règlements précisent que les eaux de nappe, les eaux de source, les rejets ou vidange des installations de traitement thermique ou de climatisation ne sont pas considérés comme des eaux pluviales et qu'elles ne doivent pas être rejetées dans les réseaux d'assainissement y compris pluvial.

### **Normes techniques, lignes directrices, certifications**

L'installation de dispositifs d'exploitation de l'énergie géothermique nécessite le respect de certaines règles techniques. Des normes françaises (NF X10-970, NF X10-999, NF X10-980, prNF X 10-950 et prNF X 10-960), allemandes (VDI 4640 - Part 1-4 et DIN 8901), suisses (SIA 384/6), etc. existent et d'autres sont en développement dans de nombreux pays (Sanner 2008).

Par ailleurs, les foreurs peuvent adhérer à la démarche française « Qualiforage » et s'engager notamment à réaliser les ouvrages selon les règles de l'art (*cf.* la liste et la carte des foreurs agréés sur le site [www.geothermie-perspectives.fr](http://www.geothermie-perspectives.fr)).

Les installateurs de PAC peuvent adhérer à la démarche française « QualiPAC » et s'engager à respecter ses référentiels, ses critères et sa charte qualité.

## Dispositions spécifiques relatives à l'installation de dispositifs d'exploitation de l'énergie géothermique dans les périmètres de protection existantes dans d'autres pays

### Allemagne

L'Association allemande pour le gaz et l'eau (DVGW<sup>15</sup>) a publié le 2 juin 2010 un document de position relatif à la géothermie (toute forme d'exploitation allant jusqu'à une profondeur de 400 mètres) dans les zones de captage d'eau destinée à la consommation humaine. Elle souligne les risques encourus pour les eaux souterraines au regard notamment de la possibilité de pollution par les additifs utilisés dans les travaux de forage, la mise en communication de différents aquifères, des fuites de fluides caloporteurs et de l'altération de la composition des eaux souterraines due à la perte ou à l'apport de chaleur. Elle s'interroge également sur les effets cumulatifs dus au grand nombre d'installations et recommande :

1. que les installations géothermiques soient soumises à déclaration auprès de l'administration spécialisée compétente et obtiennent l'autorisation de cette dernière ;
2. de faire appel à des experts indépendants qualifiés (connaissance des réglementations et des règles techniques : géologie/hydrogéologie, travaux de forages, exploitation géothermique, etc.) ;
3. d'accorder la primauté à la protection des « nappes phréatiques » sur l'énergie géothermique et interdire leur exploitation dans :
  - les régions karstiques et fortement fissurées (perméabilité  $> 10^{-2}$  m/s),
  - les aquifères présentant un système multicouche marqué ou d'importantes différences de pression,
  - les aquifères avec une nappe artésienne,
  - les régions d'exploitation minière présentant un risque d'affaissement,
  - les régions tectoniques actives,
  - les régions dans lesquelles les eaux souterraines corrodent les matériaux d'injection,
  - les régions avec couches gazéifères,
  - les sites contaminés et leurs zones en aval,
  - les régions dans lesquelles l'énergie géothermique a été totalement exploitée ;
4. de ne pas exploiter l'énergie géothermique dans les zones de protection I<sup>16</sup>, II<sup>17</sup> et III/IIIA<sup>18</sup> des captages d'eau destinée à la consommation humaine. Il ne sera possible de faire une exception, au cas par cas en fonction des conditions hydrogéologiques, que dans les zones de protection IIIB<sup>15</sup> et seulement si les fluides caloporteurs utilisés ne sont pas dangereux pour l'eau ;
5. que les autorités compétentes élaborent des plans d'exploitation de l'énergie géothermique afin d'éviter les nuisances réciproques et la surexploitation d'un aquifère ;
6. que le choix d'emplacement d'un site d'exploitation géothermique fasse l'objet d'un examen minutieux (données géotechniques, autres installations utilisant les eaux souterraines, etc.) ;
7. que la construction des installations soit réalisée par des entreprises spécialisées certifiées ;
8. que les matériaux de construction et les consommables ne soient pas dangereux pour les eaux souterraines ;
9. que l'espace annulaire du puits de forage autour de la sonde soit étanche ;

<sup>15</sup> Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches.

<sup>16</sup> Zone I : zone s'étendant sur 10 mètres environ autour du captage, équivalente au périmètre de protection immédiate français.

<sup>17</sup> Zone II : zone s'étendant sur 100 mètres environ autour du captage, correspondant à une isochrone de transfert de 50 jours (seulement adaptée aux milieux poreux fins), équivalente au périmètre de protection rapprochée français.

<sup>18</sup> Zone III : zone assimilable au périmètre de protection éloignée français, subdivisée dans les milieux poreux en zone IIIA (zone s'étendant sur 2 kilomètres environ autour du captage) et IIIB (zone s'étendant au-delà de 2 kilomètres).

10. une surveillance minutieuse de la construction et de l'exploitation du site ainsi que la remise à l'administration compétente d'une documentation détaillée de toutes les opérations effectuées ;
11. qu'une déclaration de responsabilité de l'exploitant de l'installation géothermique en cas de pollution soit exigée ;
12. que les installations défectueuses ou désaffectées soient démontées selon les règles de l'art.

### **Suisse (Canton de Berne)**

Afin de préserver la qualité des eaux souterraines et protéger les autres biens environnementaux, l'Office des eaux et des déchets (OED) a élaboré une carte consultable sur son site internet ([www.be.ch/oed](http://www.be.ch/oed), dans la rubrique relative aux « sondes géothermiques ») précisant les zones où l'installation de sondes géothermiques est admise dans le canton de Berne, si leur profondeur est soumise à des restrictions ou si d'autres investigations s'imposent (Tschumper 2009). La pose de sondes géothermiques est interdite :

1. dans les zones de protection des captages destinés à l'exploitation d'eau potable et dans les zones de protection des eaux souterraines (secteur A<sub>u</sub> et certaines zones du secteur B). Toutefois des dérogations pour les installer dans certaines zones à la périphérie du secteur A<sub>u</sub> peuvent être obtenues si la nappe phréatique est peu importante sur la base d'investigations réalisées par les géologues conseils. La profondeur des forages peut être soumise à restriction ;
2. dans les régions abritant de grandes nappes phréatiques ou des nappes souterraines superposées. Des investigations plus précises sont nécessaires pour les autoriser dans ces zones ;
3. dans les régions caractérisées par la présence de roches karstiques (calcaire ou gypse) ou de phénomènes karstiques, telles les dolines. Dérogent à cette interdiction des zones, telles que celles qui présentent une couche de couverture épaisse, qui sont formées de roches meubles et de molasse dans lesquelles les sondes sont autorisées, mais avec une profondeur limitée ;
4. dans les zones de glissement de terrain, reconnues ou potentielles ;
5. dans les zones à eaux artésiennes. Cependant des autorisations peuvent être accordées sur la base d'investigations complémentaires ;
6. dans les zones pouvant abriter du gaz naturel ;
7. dans les sites pollués (anciennes décharges, lieux d'accident) et des investigations complémentaires s'imposent pour les autoriser dans le cas d'aires d'activité, de zones industrielles et de stands de tir.

Les conduites et installations souterraines n'ayant pas été prises en compte pour l'élaboration de cette carte, il incombe au maître d'ouvrage ou au responsable du projet de réunir les informations nécessaires.

De façon plus générale, en Suisse, tous les dispositifs d'exploitation de l'énergie du sol et du sous-sol (puits de prélèvement et ouvrages de restitution pour l'utilisation des eaux souterraines à des fins de chauffage ou de refroidissement, sondes et pieux géothermiques, forages géothermiques, circuits enterrés) sont interdits dans les zones de protection des eaux souterraines utilisées pour la production d'eau potable S1 (zone de captage) et S2 (zone de protection rapprochée) et peuvent être autorisés au cas par cas dans la zone S3 (zone de protection éloignée) (OFEFP, 2004).

### **Autres**

Aux Pays-Bas, certaines provinces appliquent le principe de précaution et interdisent les systèmes géothermiques verticaux ouverts dans les PPC (Bonte, 2011a).

## Annexe 3 : Dispositions réglementaires et autres applicables aux capteurs solaires photovoltaïques

### Dispositions réglementaires

L'installation de centrales solaires est réglementée principalement par les codes de l'environnement et de l'urbanisme et leurs textes d'application auxquels s'ajoutent les réglementations relatives à la production d'électricité (raccordement, achat, conformité électrique) (Décret n°2009-1414 du 19 novembre 2009 et circulaire du 18 décembre 2009).

#### Le code de l'urbanisme

Les installations solaires sur le sol sont soumises à déclaration préalable (DP) ou à permis de construire (PC), selon leur capacité de production d'électricité, leur hauteur au sol, leur localisation et la surface hors œuvre brute (SHOB) des constructions annexes (cf. articles R. 421-1, R. 421-2, R. 421-9, R. 421-11 et R. 421-17).

L'obligation de DP ou PC dépend de la puissance crête des installations (cf. tableau VIII).

Tableau IX : Obligations réglementaires

	< 3 kWc	3 ≤ kWc ≤ 250	> 250 kWc
<b>Centrale solaire au sol</b>	Aucune formalité si hors secteur protégé <sup>19</sup> et hauteur au sol < 1,8 m	Déclaration préalable ou permis de construire si en secteur sauvegardé	Etude d'impact, enquête publique et permis de construire

L'obligation de DP ou de PC n'est pas toujours liée à l'installation de panneaux photovoltaïques, mais à la construction des bâtiments annexes abritant les équipements électriques. Les critères de soumissions à autorisation d'occupation du sol sont ceux de la réglementation générale :

- PC pour toute construction liée au parc, créant une SHOB > 20 m<sup>2</sup> ou d'une hauteur > 12 m et de 2 m<sup>2</sup> de SHOB,
- DP de travaux, pour toute construction créant une SHOB > 2 m<sup>2</sup> ou dépassant 12 m de haut,
- permis d'aménagement, si le parc nécessite des exhaussements et affouillements d'au moins 2 m de hauteur sur une surface > 2ha.

Si les câbles électriques enterrés sont dispensés de formalités au titre de l'urbanisme, les lignes électriques de tension > 63 kV doivent faire l'objet d'un PC et celles de tension < 63 kV d'une DP.

Tout projet, soumis ou non à DP ou PC, doit respecter les règles générales d'urbanisme (article R. 111-21).

Par ailleurs, la circulaire du 18 décembre 2009 réaffirme la priorité donnée à l'intégration des installations solaires aux bâtiments, limite les possibilités d'implantation d'installations au sol dans une zone agricole en application de l'article R. 111-14 du code de l'urbanisme et rappelle que ces projets restent soumis à d'autres législations comme celle sur l'eau.

Toutefois, de nouvelles dispositions concernant la préservation des espaces agricoles ont été introduites par la loi n° 2010-874 du 27 juillet 2010 et des constructions et installations nécessaires à des équipements collectifs peuvent être autorisées dans les zones naturelles, agricoles ou forestières sous certaines conditions.

<sup>19</sup> Les secteurs protégés sont les périmètres de monuments historiques, les sites inscrits et classés, les secteurs sauvegardés et les zones de protection du patrimoine architectural, urbain et paysager.

### Le code de l'environnement

Au titre du code de l'environnement, une étude d'impact et une enquête publique sont obligatoires pour les projets au sol d'une puissance crête supérieure à 250 kilowatts (kWc) (cf. articles R. 122-8 et R. 123-1 – Annexe I).

Le ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement a édité un guide pour réaliser l'étude d'impact des installations photovoltaïques au sol (MEDDTL 2011). Ce guide précise qu'une expertise hydrogéologique est à réaliser pour une installation dans les périmètres de protection (rapprochée, éloignée) d'une ressource en eau, que les effets sur les eaux de ruissellement pendant l'exploitation (modification des écoulements, risques de pollution due aux matériaux et matériels) sont à analyser, *etc.*

De plus, les parcs solaires peuvent être soumis à la Loi sur l'eau (article R. 214-1 du code de l'environnement) et à déclaration ou autorisation au titre des rubriques suivantes :

- rubrique 2.1.5.0. (rejet d'eaux pluviales dans les eaux douces superficielles ou sur le sol ou dans le sous-sol). Si la surface totale du projet (augmentée de la surface correspondant à la partie du bassin naturel dont les écoulements sont interceptés par le projet) est supérieure à 1 ha mais inférieure à 20 ha, l'installation est soumise à une déclaration. Si la surface totale du projet est supérieure à 20 ha, alors c'est une autorisation qui est nécessaire ;
- rubrique 3.2.2.0. (installations, ouvrages, remblais dans le lit majeur d'un cours d'eau). Si la surface soustraite est supérieure ou égale à 400 m<sup>2</sup> mais inférieure à 10 000 m<sup>2</sup>, l'installation est soumise à une déclaration. Si la surface soustraite est supérieure à 10 000 m<sup>2</sup>, alors c'est une autorisation qui est nécessaire ;
- rubrique 3.3.1.0. (assèchement, mise en eau, imperméabilisation, remblais de zones humides ou de marais). Si la zone asséchée est supérieure à 0,1 ha mais inférieure à 1 ha, l'installation est soumise à une déclaration. Si la zone asséchée est supérieure ou égale à 1 ha, alors c'est une autorisation qui est nécessaire ;
- rubrique 3.3.2.0. (réalisation de réseaux de drainage). Si le drainage a une superficie supérieure à 20 ha mais inférieure à 100 ha, l'installation est soumise à déclaration. Si le drainage a une superficie supérieure à 100 ha, l'installation est soumise à autorisation.

### Le droit relatif à l'électricité

Les projets d'installation sont soumis à autorisation d'exploiter par le ministère du développement durable s'ils ont une puissance supérieure ou égale à 4,5 MWc ou à déclaration s'ils ont une puissance supérieure à 250 kWc et inférieure à 4,5 MWc ou sont réputés déclarés s'ils ont une puissance inférieure à 250 kWc (articles 6 à 9 de la loi n° 2000-108 du 10 février 2000 et article 6.1 du décret n°2000-877 du 7 septembre 2000).

### **Normes techniques, lignes directrices, certifications**

Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2011, les installations photovoltaïques raccordées au réseau public de distribution doivent être conformes au guide UTE C 15-712-1 qui fixe des règles pour la conception, l'installation et le contrôle des systèmes photovoltaïques en sus des normes applicables aux différents équipements.

## Annexe 4 : Dispositions réglementaires et autres applicables aux éoliennes

### Dispositions réglementaires

L'installation d'un parc éolien est réglementée principalement par le code de l'environnement et le code de l'urbanisme et leurs textes d'application auxquels s'ajoutent les réglementations relatives à la production d'électricité (Décret n°2007-1307 du 4 septembre 2007 et décret n°2001-410 du 10 mai 2001), à la concession d'utilisation du domaine public maritime dans le cas des projets en mer, à la lutte contre les bruits de voisinage (articles R. 1334-32 à R. 1334-35 du code de la santé publique et arrêté du 5 décembre 2006). De plus, la circulaire du 3 mars 2008 impose la réalisation d'une étude d'influence sur d'éventuelles perturbations des radars. Que le projet d'installation se situe dans une zone de développement éolien (ZDE) ou non, il est soumis à la même procédure.

#### Le code de l'environnement

Les projets terrestres dont la hauteur du mât est supérieure à 50 mètres font l'objet d'une étude d'impact (article R. 122-8) et d'une enquête publique (article R. 123-1 – Annexe I). Les projets dont la hauteur du mât est inférieure ou égale à 50 mètres font l'objet, non pas d'une étude d'impact (article R. 122-5), mais d'une notice d'impact (article R. 122-9). L'autorisation d'une éolienne relève du préfet de région (Décret n°2009-496 du 30 avril 2009 et circulaire du 3 septembre 2009).

Le ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer a édité des guides méthodologiques de l'étude d'impact spécifiques à ce type de projets (MEEDDM 2010). Le guide de 2010 précise que « *l'implantation d'une éolienne est interdite en PPI, envisageable selon recommandations en PPR* ».

La durée de vie d'un parc est estimée à 20 ans et selon le code de l'environnement, l'exploitant du parc est responsable de son démantèlement et de la remise en état du site en fin d'exploitation.

#### Le code de l'urbanisme

Les éoliennes dont la hauteur du mât est supérieure à 12 mètres sont soumises à permis de construire.

#### Les zones de développement éolien (ZDE)

La loi POPE impose qu'une éolienne, petite ou grande, se situe dans une ZDE pour bénéficier de l'obligation d'achat de l'électricité produite. Une ZDE se définit par son périmètre et la puissance minimale et maximale qui pourra y être installée.

L'existence de zones de protection du patrimoine architectural, urbain et paysager (ZPPAUP) ou de zones naturelles d'intérêt écologique, faunistique et floristique (ZNIEFF) peut s'opposer à la création d'une ZDE ou à l'implantation de parcs éoliens.

La proposition d'installation d'un parc éolien dans une ZDE ne présume pas de son autorisation finale.

#### Évolution prévue de la réglementation

La loi portant engagement national pour l'environnement dite Grenelle 2 prévoit un renforcement des contraintes d'implantation des éoliennes puisqu'à partir du 12 juillet 2011, certaines éoliennes seront assujetties à la législation sur les installations classées pour la protection de l'environnement. L'obligation de démantèlement et de remise en état du site devrait également être exigée, les fondations devraient être enlevées jusqu'à 1 m de profondeur et seuls les câbles proches de la machine et des équipements devraient être retirés du sol (dans un rayon de 10 m autour des installations).

En complément des ZDE il est prévu de réaliser des Schémas Régionaux Éoliens (SRE) indiquant les zones où il est possible d'implanter de nouvelles ZDE. C'est le Préfet de région qui sera chargé de les élaborer.

### **Normes techniques, lignes directrices, certifications**

Les normes de la série NF EN 61400 (Éoliennes) existent et notamment les normes NF EN 61400-1 et 2 relatives aux exigences de conception.

## Annexe 5 : Dispositions réglementaires et autres applicables aux produits utilisés dans les dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables

### Dispositions réglementaires

#### Fluides caloporteurs

Une réglementation spécifique aux fluides caloporteurs pouvant être utilisés dans les installations de traitement thermique des eaux destinées à la consommation humaine fonctionnant en simple échange existe.

L'article R. 1321-57 du CSP précise que « *les réseaux intérieurs ne doivent pas pouvoir, du fait des conditions de leur utilisation, notamment à l'occasion de phénomènes de retour d'eau, perturber le fonctionnement du réseau auquel ils sont raccordés ou engendrer une contamination de l'eau distribuée dans les installations privées de distribution* ».

La circulaire du 26 avril 1982 modifiant le règlement sanitaire départemental type (RSD) et plus particulièrement son article 16-9 prévoit que seuls les fluides caloporteurs ayant reçu un avis favorable du Conseil supérieur d'hygiène publique de France (CSHPF) peuvent être introduits dans les installations fonctionnant en simple échange. En outre, une instruction technique du centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB)<sup>20</sup> définit les règles de conformité des échangeurs thermiques et de leurs installations au présent article (nature des matériaux, pression de l'eau potable à l'intérieur de l'échangeur en permanence supérieure à la pression du fluide vecteur, existence d'un moyen de détection d'une fuite éventuelle, signalisation pour indiquer la nature des fluides caloporteurs utilisés, etc.).

Les circulaires DGS/PGE/1.D. n° 942 du 2 juillet 1985 et DGS/PGE/1.D. n° 357 du 2 mars 1987 précisent la classification des fluides caloporteurs pouvant être introduits dans les installations fonctionnant en simple échange (listes A, B et C) :

- liste A : fluides caloporteurs pouvant être utilisés dans les installations de traitement thermique des eaux destinées à la consommation humaine fonctionnant en simple échange,
- liste B : liste des additifs pouvant être introduits dans les circuits de chauffage utilisés pour le traitement thermique des eaux destinées à la consommation humaine (simple échange),
- liste C : fluides caloporteurs et lubrifiants pouvant être utilisés dans les pompes à chaleur fonctionnant en simple échange.

Après l'Afssa (2001 à 2010), c'est maintenant l'Anses qui évalue, selon les modalités définies en juin 2008 (Afssa 2008b) les demandes d'inscription en liste « A » et « C » de fluides caloporteurs pouvant être utilisés dans les installations de traitement thermique des eaux destinées à la consommation humaine fonctionnant en simple échange.

L'évaluation conduite par l'Anses vise à protéger les consommateurs d'EDCH en cas d'incidents et/ou d'accidents et évite la mise sur le marché des fluides caloporteurs les plus toxiques. La majorité des fluides caloporteurs ayant reçu un avis favorable de l'Anses sont à base de propylène glycol.

Cependant, cette disposition ne permet pas, à elle seule, d'assurer la protection des usagers. Il est important d'utiliser des fluides dont la qualité technique et l'efficacité (pouvoirs anti-corrosion et anti-gel par exemple) ont été vérifiées (ATEC du CSTB par exemple) et de respecter des règles

<sup>20</sup> Instruction technique du CSTB n°235 de décembre 1982 - Cahier n°1815.

techniques lors de la conception, l'installation, l'entretien et de démontage de systèmes contenant des fluides caloporteurs afin d'éviter les incidents et/ou accidents.

### Fluides frigorigènes

Les fluides frigorigènes fluorés les plus utilisés sont à base de chlorofluorocarbures (CFC), d'hydrochlorofluorocarbures (HCFC) et d'hydrofluorocarbures (HFC). Ils sont couverts par deux protocoles internationaux de Montréal pour les substances appauvrissant la couche d'ozone (SAO) et de Kyoto pour les gaz fluorés à effet de serre (GFES), dont les dispositions sont reprises dans le règlement n° 2037/2000 relatif aux SAO et le règlement n° 842/2006 relatif aux GFES. Les CFC, HCFC et HFC utilisés comme fluides frigorigènes dans les équipements frigorifiques et climatiques sont également soumis aux dispositions des articles R. 543-75 à R. 543-123 du code de l'environnement.

Ces dispositions :

- interdisent les CFC dans la maintenance des équipements utilisant ces fluides, les fluides frigorigènes conditionnés dans des emballages ne permettant pas leur récupération, et ceux ne faisant pas l'objet d'un dispositif de reprise ;
- visent à limiter les émissions de fluide dans l'atmosphère par :
  - o l'obligation de contrôles d'étanchéité (tous les ans pour les appareils contenant plus de 2 Kg de fluide, tous les 6 mois les appareils contenant plus de 30 Kg de fluide et au moins un mois après l'apparition d'une fuite sur un appareil) et de conserver pendant trois ans une fiche dite « d'intervention » précisant la nature et le volume de fluide récupéré et/ou réintroduit,
  - o l'interdiction de dégazage dans l'atmosphère sauf celui nécessaire à la sécurité des personnes,
- obligent les exploitants d'équipements frigorifiques et climatiques à faire appel à des entreprises enregistrées en préfecture pour les opérations suivantes : mise en service d'une installation, entretien et réparation, contrôle d'étanchéité, vidange).

D'autres fluides ne relevant pas de ces réglementations tels que l'ammoniac et le CO<sub>2</sub> peuvent également être utilisés.

Quelque soit le fluide frigorigène utilisé, certaines des installations peuvent être soumises à déclaration ou à autorisation au titre de la législation relative aux installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE).

## **Normes techniques, lignes directrices, certifications**

### Fluides caloporteurs

Il convient de souligner que la qualité technique des fluides caloporteurs est tout aussi importante que leur conformité aux exigences sanitaires (pouvoir anti-corrosion et anti-gel par exemple). Les fluides caloporteurs bénéficient, pour certains, d'un avis technique (ATEC)<sup>21</sup> quand leurs productions sont certifiées CSTBat. L'obtention d'une autorisation du ministère chargé de la santé après avis favorable de l'Anses est un critère obligatoire pour l'octroi d'un ATEC pour un fluide destiné à être utilisé dans les installations fonctionnant en simple échange pour l'élaboration d'eau chaude sanitaire.

Selon la norme NF X 10-970, le liquide caloporteur d'une sonde géothermique verticale ne doit avoir aucune répercussion sur l'environnement en cas de fuite. Il doit être biodégradable à *minima* 98% (par exemple mélange eau et monopropylène glycol ou équivalent) et être de qualité alimentaire.

<sup>21</sup> Les ATEC sont délivrés par un groupe spécialisé composé d'experts de la profession et instruits par le CSTB et constituent un avis sur l'aptitude à l'emploi d'un produit (ou d'un système) non traditionnel, destiné à la construction.

## Annexe 6 : Synthèse des déclarations publiques d'intérêts des experts par rapport au champ de la saisine

### RAPPEL DES RUBRIQUES DE LA DECLARATION PUBLIQUE D'INTERETS

<b>IF</b>	Intérêts financiers dans le capital d'une entreprise
<b>LD</b>	Liens durables ou permanents (Contrat de travail, rémunération régulière...)
<b>IP</b>	Interventions ponctuelles (travaux scientifiques, rapports d'expertise, activités de conseil, conférences, colloques, actions de formation...)
<b>SR-A</b>	Autres liens sans rémunération ponctuelle (Participation à des conseils d'administration, scientifiques d'une firme, société ou organisme professionnel)
<b>VB</b>	Activités donnant lieu à un versement au budget d'une structure dont l'expert est responsable ou dans laquelle il exerce une responsabilité scientifique (correspondant à la rubrique 3 de la DPI)
<b>SR</b>	Autres liens sans rémunération (Parents salariés dans des personnes morales visées par la loi – voir paragraphe de la notice de la DPI ; autres intérêts considérés comme préjudiciables à l'impartialité de l'expert)

### SYNTHESE DES DECLARATIONS PUBLIQUES D'INTERETS DES MEMBRES DU CES PAR RAPPORT AU CHAMP DE LA SAISINE

NOM	Prénom <i>Rubriques de la DPI</i> Description de l'intérêt	Date de déclaration des intérêts
<b>Analyse Anses :</b>	<i>en cas de lien déclaré</i>	
<b>ANDRES</b>	<b>Yves</b>	09/09/2010 16/04/2011
<b>Analyse Anses :</b>	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
<b>BOUDENNE</b>	<b>Jean-Luc</b>	26/07/2010 07/02/2011
<b>Analyse Anses :</b>	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
<b>CABASSUD</b>	<b>Corinne</b>	12/09/2010
<b>Analyse Anses :</b>	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
<b>CARRÉ</b>	<b>Jean</b>	01/09/2009 12/08/2010 22/03/2011
<b>Analyse Anses :</b>	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
<b>CHUBILLEAU</b>	<b>Catherine</b>	08/09/2010 08/02/2011
<b>Analyse Anses :</b>	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
<b>CORREC</b>	<b>Olivier</b> <b>IP</b> CSTB : Action de recherche sur la qualité technique des fluides caloporteurs depuis 2009	25/05/2009 26/09/2010 03/05/2011
<b>Analyse Anses :</b>	<i>Pas de risque de conflits d'intérêts par rapport à la thématique de la saisine</i>	
<b>DAGOT</b>	<b>Christophe</b>	15/10/2008 12/04/2011
<b>Analyse Anses :</b>	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
<b>DUBROU</b>	<b>Sylvie</b>	23/02/2009 09/09/2010 20/04/2011
<b>Analyse Anses :</b>	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	

<b>GOUSAILLES</b>	<b>Michel</b>	17/09/2010 18/04/2011
<b>Analyse Anses :</b>	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
<b>HÉDUIT</b>	<b>Alain</b>	20/08/2010 09/02/2011
<b>Analyse Anses :</b>	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
<b>HUMBERT</b>	<b>Jean-François</b>	17/07/2010 03/05/2011
<b>Analyse Anses :</b>	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
<b>JOYEUX</b>	<b>Michel</b>	25/02/2009 05/08/2010 23/04/2011
<b>Analyse Anses :</b>	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
<b>LE BÂCLE</b>	<b>Colette</b>	23/09/2010 03/05/2011
<b>Analyse Anses :</b>	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
<b>LE CANN</b>	<b>Pierre</b>	28/02/2009 08/09/2010 15/03/2011
<b>Analyse Anses :</b>	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
<b>LEVI</b>	<b>Yves IP</b> EDF : membre du Conseil de l'environnement depuis 2005 (Vacation)	08/02/2009 04/09/2010 13/03/2011
<b>Analyse Anses :</b>	<i>Pas de risque de conflits d'intérêts par rapport à la thématique de la saisine</i>	
<b>MATHIEU</b>	<b>Laurence</b>	26/08/2010 27/03/2011
<b>Analyse Anses :</b>	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
<b>MAZELLIER</b>	<b>Patrick</b>	20/03/2009 25/08/2010 27/01/2011
<b>Analyse Anses :</b>	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
<b>MUDRY</b>	<b>Jacques IP et VB</b> CEA : GT crues souterraines donnant lieu à versement au laboratoire de l'université de Franche-Comté (2008) (0% du budget)	26/02/2009 15/09/2010 13/04/2011
<b>Analyse Anses :</b>	<i>Pas de risque de conflits d'intérêts par rapport à la thématique de la saisine</i>	
<b>PONTIÉ</b>	<b>Maxime</b>	27/08/2010 23/02/2011
<b>Analyse Anses :</b>	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
<b>POURCHER</b>	<b>Anne-Marie</b>	02/09/2010 09/02/2011
<b>Analyse Anses :</b>	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
<b>TARDIF</b>	<b>Robert</b>	21/09/2010 08/02/2011
<b>Analyse Anses :</b>	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
<b>TREMBLAY</b>	<b>Michèle</b>	02/09/2010 14/04/2011
<b>Analyse Anses :</b>	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	

<b>WELTÉ</b>	<b>Bénédicte</b> <b>IP</b> ASTEE : Groupe de travail distribution et protection de la ressource depuis 1990 (Aucune rémunération)	14/01/2009 23/08/2010 10/02/2011
<b>Analyse Anses :</b>	<i>Pas de risque de conflits d'intérêts par rapport à la thématique de la saisine</i>	

#### SYNTHESE DES DECLARATIONS PUBLIQUES D'INTERETS DES MEMBRES DU GT PAR RAPPORT AU CHAMP DE LA SAISINE

<b>NOM</b>	<b>Prénom</b> <b>Rubriques de la DPI</b> Description de l'intérêt <i>en cas de lien déclaré</i>	<b>Date de déclaration des intérêts</b>
<b>ALCAYDE</b>	<b>Gilbert</b>	15/01/2009 08/08/2010
<b>Analyse Anses :</b>	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
<b>CARRÉ</b>	<b>Jean</b> (Membre du CES Eaux)	01/09/2009 12/08/2010 22/03/2011
<b>Analyse Anses :</b>	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
<b>CORREC</b>	<b>Olivier</b> (Membre du CES Eaux) <b>IP</b> CSTB : Action de recherche sur la qualité technique des fluides caloporteurs depuis 2009	25/05/2009 26/09/2010 03/05/2011
<b>Analyse Anses :</b>	<i>Pas de risque de conflits d'intérêts par rapport à la thématique de la saisine</i>	
<b>HERAULT</b>	<b>Sophie</b>	16/02/2009 12/09/2010 30/12/2010
<b>Analyse Anses :</b>	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
<b>LE CANN</b>	<b>Pierre</b> (Membre du CES Eaux)	28/02/2009 08/09/2010 15/03/2011
<b>Analyse Anses :</b>	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
<b>MUDRY</b>	<b>Jacques</b> (Membre du CES Eaux) <b>IP et VB</b> CEA : GT crues souterraines donnant lieu à versement au laboratoire de l'université de Franche-Comté (2008) (0% du budget)	26/02/2009 15/09/2010 13/04/2011
<b>Analyse Anses :</b>	<i>Pas de risque de conflits d'intérêts par rapport à la thématique de la saisine</i>	
<b>PEIGNER</b>	<b>Patrick</b>	21/02/2009 09/08/2010
<b>Analyse Anses :</b>	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	



Agence nationale de sécurité sanitaire  
de l'alimentation, de l'environnement et du travail  
27-31 avenue du général Leclerc  
94701 Maisons-Alfort Cedex  
[www.anses.fr](http://www.anses.fr)