

Table des matières

0	Préambule.....	5
0.1	Présentation du dossier	5
0.2	Présentation de la démarche	10
1	Analyse du site et de son environnement	13
1.1	Introduction	13
1.2	Présentation du site de Cadarache	13
1.2.1	Situation géographique	13
1.2.2	Présentation des entités présentes sur le site	16
1.2.3	Activités du site de Cadarache	18
1.2.4	Description des installations présentes sur le site de Cadarache	19
1.3	Météorologie et climatologie.....	39
1.3.1	Généralités.....	39
1.3.2	Températures.....	40
1.3.3	Direction et vitesse du vent	41
1.3.4	Précipitations	44
1.4	Géologie	47
1.4.1	Contexte général.....	47
1.4.2	Formations rencontrées	50
1.4.3	Contexte tectonique et reconstruction de l'histoire géologique du site.....	53
1.4.4	Risques en lien avec la géologie	54
1.5	Sismologie	56
1.5.1	Analyse du contexte sismotectonique	56
1.5.2	Sismotectonique de la Provence	59
1.5.3	Détermination des séismes enveloppe.....	61
1.5.4	Prise en compte des paléoséismes	62
1.5.5	Effets de site	64
1.6	Hydrologie.....	66
1.6.1	Généralités.....	66
1.6.2	Les cours d'eau du site	66
1.6.3	Le Verdon et les aménagements hydrauliques.....	70
1.6.4	Les cours d'eau à proximité du site	70
1.6.5	La Durance	70
1.6.6	Utilisation de l'eau en aval du site de Cadarache	72
1.6.7	Risques d'inondation.....	74
1.6.8	Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE).....	74
1.6.9	SAGE	78
1.7	Hydrogéologie.....	80
1.7.1	Contexte hydrogéologique à l'échelle du site	81
1.7.2	Aquifère des alluvions quaternaires.....	83
1.7.3	Aquifère dit « du Miocène ».....	83
1.7.4	Aquifère des calcaires du Crétacé – Jurassique.....	84
1.7.5	Conclusion	85
1.8	Ecosystèmes terrestre et aquatique	87
1.8.1	Introduction	87
1.8.2	Contexte écologique	88
1.8.3	Trames vertes et bleues en présence	92
1.8.4	Habitats naturels	93
1.8.5	Espèces végétales et animales remarquables	97
1.8.6	Zones humides	107
1.8.7	Fonctionnalités écologiques.....	108
1.8.8	Evaluation de l'enjeu écologique au sein de l'éco-complexe cadarachien	108
1.9	Etat de l'environnement	111
1.9.1	L'atmosphère	111

1.9.2	Le milieu aquatique	118
1.9.3	Le milieu terrestre	135
1.9.4	Conclusion	141
1.10	Milieu humain.....	142
1.10.1	Démographie et urbanisation	142
1.10.2	Ambiance sonore	143
1.10.3	Les transports	146
1.10.4	Paysages	148
1.10.5	Patrimoine culturel et historique	148
1.10.6	Urbanisme.....	153
1.10.7	Occupation des sols	155
1.10.8	Activités industrielles	164
1.10.9	Activités de loisirs.....	166
1.10.10	Zones de servitude.....	166
2	Impact des activités du site de Cadarache sur l'environnement.....	167
2.1	Généralités	167
2.2	Limites de prélèvements d'eau et de rejets du site.....	167
2.2.1	Prélèvements d'eau	167
2.2.2	Rejets d'effluents atmosphériques – composante radioactive	168
2.2.3	Rejets d'effluents atmosphériques – composante chimique	169
2.2.4	Rejets d'effluents liquides – composante radioactive	170
2.2.5	Rejets d'effluents liquide – composante chimique	171
2.2.6	Eaux collectées par le Ravin de la Bête	172
2.2.7	Rejets thermiques dans le canal EDF	172
2.3	Impact des prélèvements d'eau	172
2.3.1	Description du principe et des modalités des prélèvements d'eau.....	172
2.3.2	Incidence des prélèvements d'eau sur la ressource	176
2.4	Impacts des rejets d'effluents par voie atmosphérique	177
2.4.1	Origine des effluents	177
2.4.2	Caractérisations des effluents atmosphériques – composante radioactive	178
2.4.3	Calcul d'impact du rejet des effluents atmosphériques sur l'environnement – composante radioactive.....	179
2.4.4	Caractérisation des effluents atmosphériques – composante chimique.....	180
2.4.5	Calcul d'impact des rejets d'effluents atmosphériques sur l'environnement – composante chimique	182
2.4.6	Incidence des rejets d'effluents atmosphériques sur la qualité de l'air et des sols	183
2.4.7	Analyse de la compatibilité avec les plans de protection de l'atmosphère	184
2.5	Impacts des rejets d'effluents par voie liquide	185
2.5.1	Origine des effluents	185
2.5.2	Description du principe et des modalités des rejets d'effluents.....	188
2.5.3	Caractérisation des rejets d'effluents liquides – composante radiologique	190
2.5.4	Calcul d'impact des rejets d'effluents liquides sur l'environnement – composante radioactive.....	191
2.5.5	Cas particulier de l'INB 56.....	191
2.5.6	Caractérisation des rejets d'effluents liquides – composante chimique	192
2.5.7	Calcul d'impact des rejets d'effluents liquides sur l'environnement – composante chimique.....	194
2.5.8	Incidence des rejets sur le milieu aquatique	194
2.5.9	Incidence des rejets des eaux de drainage	194
2.5.10	Incidence des rejets thermiques	195
2.5.11	Analyse de la compatibilité avec le SDAGE.....	196
2.6	Impact sur la commodité du voisinage	197
2.6.1	Bruits.....	197
2.6.2	Vibrations.....	197
2.6.3	Odeurs	197

2.6.4	Emissions lumineuses.....	197
2.6.5	Transports.....	198
2.7	Impact sur le climat.....	198
2.8	Impact sur la faune et la flore.....	199
2.9	Impact sur les productions agricoles.....	205
2.10	Impact sur les paysages.....	205
2.11	Impact sur le patrimoine.....	206
2.12	Impact sur la protection des biens matériels et la sécurité publique.....	206
2.13	Impact socio-économique.....	207
2.13.1	Impact du Centre de Cadarache.....	207
2.13.2	Zoom sur l'impact du CEA-Cadarache.....	207
2.13.3	Impact d'ITER.....	208
2.13.4	Le pôle Capenergies.....	209
2.14	Les déchets radioactifs.....	211
2.14.1	Classification des déchets.....	211
2.14.2	Origine des déchets.....	213
2.14.3	Déchets entreposés.....	215
2.14.4	Gestion des déchets.....	216
2.14.5	Destination des déchets.....	216
2.14.6	Analyse de la compatibilité avec le PNGMDR.....	218
2.15	Les déchets conventionnels.....	219
2.15.1	Classification des déchets.....	219
2.15.2	Origine des déchets.....	219
2.15.3	Quantité de déchets produits.....	219
2.15.4	Gestion des déchets.....	221
2.15.5	Destination des déchets.....	221
2.15.6	Analyse de la compatibilité avec les plans de gestion.....	222
3	Incidence du site de Cadarache sur les zones Natura 2000.....	223
4	Mesures mises en œuvre pour minimiser les conséquences sur l'environnement.....	224
4.1	Introduction.....	224
4.2	Mesures générales prises pour minimiser les incidences.....	225
4.2.1	Mesures relatives à la sûreté.....	225
4.2.2	Démarche environnementale.....	226
4.2.3	Protection du patrimoine naturel.....	226
4.3	Dispositions pour limiter les rejets.....	227
4.3.1	Rejets gazeux radioactifs.....	227
4.3.2	Rejets liquides chimiques et radioactifs.....	228
4.4	Dispositions pour limiter les prélèvements d'eau.....	228
4.5	Dispositions pour limiter la consommation d'énergie.....	228
4.5.1	Electricité.....	228
4.5.2	Eclairage.....	229
4.5.3	Bâtiments.....	229
4.5.4	Chauffage.....	229
4.6	Dispositions pour limiter les transports.....	230
4.6.1	Transports collectifs.....	230
4.6.2	Véhicules de service.....	230
4.6.3	Visioconférences.....	230
4.7	Dispositions pour limiter les déchets.....	230
4.7.1	Déchets conventionnels.....	230
4.7.2	Déchets radioactifs.....	231
4.8	Le contrôle et la surveillance de l'environnement.....	232
4.8.1	Le contrôle des rejets d'effluents gazeux radioactifs des installations.....	232
4.8.2	Le contrôle des rejets liquides potentiellement radioactifs.....	234
4.8.3	La surveillance radiologique de l'environnement.....	237
4.8.4	La surveillance chimique de l'atmosphère.....	244

4.8.5	Le contrôle et la surveillance chimique des prélèvements, transferts et rejets d'effluents liquides.....	244
4.9	Estimation des dépenses liées à l'environnement.....	247
5	Analyse des méthodes d'évaluation de l'impact des activités du site sur l'homme et l'environnement et des difficultés rencontrées.....	248
5.1	Méthode d'évaluation des impacts des rejets d'effluents.....	248
5.1.1	Impact dosimétrique (rejet de substances radioactives).....	248
5.1.2	Impact sanitaire et environnemental (rejet de substances chimiques).....	249
5.1.3	Utilisation du code CERES pour estimer l'impact en fonctionnement normal...250	
5.1.4	Conséquences potentielles des rejets d'effluents sur l'environnement et la santé humaine.....	254
5.1.5	Hypothèses et méthodes utilisées pour les calculs d'impact des rejets atmosphériques.....	256
5.1.6	Hypothèses et méthodes utilisées pour le calcul d'impact des rejets liquides..259	
5.2	Difficultés rencontrées.....	261
5.2.1	Caractérisation des effluents.....	261
5.2.2	Calculs d'impacts radiologique et chimique.....	261
5.2.3	Les calculs d'impact radiologique sur l'environnement.....	263
6	Impact des activités du site de Cadarache sur la santé.....	264
6.1	Impacts des rejets par voie atmosphérique.....	264
6.1.1	Impact résultant de l'exposition à des substances chimiques.....	264
6.1.2	Impact résultant de l'exposition à des substances radioactives.....	264
6.2	Impacts des rejets par voie liquide.....	264
6.2.1	Impact résultant de l'exposition à des substances chimiques.....	264
6.2.2	Impact résultant de l'exposition à des substances radioactives.....	264
6.2.3	Cas particulier de l'INB56.....	264
6.3	Impact dosimétrique global.....	266

0 Préambule

0.1 Présentation du dossier

Ce dossier présente les résultats de l'étude d'impact du site de Cadarache sur son environnement. Il se veut accessible au plus grand nombre, malgré le caractère parfois très spécialisé des thèmes abordés. Les principales unités employées et les conventions de notation sont explicitées à la fin de ce paragraphe.

Conseil au lecteur

Le lecteur qui souhaite avoir une rapide vue d'ensemble de l'étude et de ses résultats pourra se reporter à la synthèse (dénommée « résumé non technique »).

Pour faciliter la compréhension du lecteur non spécialiste du nucléaire, nous conseillons la lecture de « l'homme et la radioactivité » qui se trouve dans la pochette insérée dans la couverture du classeur. Dans ce même encart se trouvent un glossaire et un dictionnaire des sigles.

Architecture du dossier

Le dossier comprend 6 chapitres numérotés de 1 à 6 (le présent préambule est numéroté 0) :

- Chapitre 1 : Analyse de l'état du site et de son environnement
- Chapitre 2 : Impact des activités du site de Cadarache sur l'environnement
- Chapitre 3 : Incidence du site de Cadarache sur les zones Natura 2000
- Chapitre 4 : Mesures mises en œuvre pour minimiser les conséquences sur l'environnement
- Chapitre 5 : Analyse des méthodes d'évaluation de l'impact des activités du site sur l'environnement et difficultés rencontrées
- Chapitre 6 : Impact des activités du site de Cadarache sur la santé.

Il comprend également :

- Le résumé non technique de l'étude qui se trouve dans la pochette du classeur.
- Des annexes qui détaillent certains points du dossier, notamment la description des installations du site et les calculs d'impact. Dans l'annexe 6 figure la référence des textes réglementaires qui régissent les rejets et les prélèvements d'eau des installations du site de Cadarache.

Aide à la navigation

Dans le bandeau supérieur (au-dessus de la ligne orange) de chaque page, le titre du chapitre est rappelé en position centrale, ainsi que son numéro, à droite.

Il en est de même pour les annexes (repérées A1, A2, etc.) dans la partie droite du bandeau supérieur, à l'exception de l'annexe 1 où figure le nom de l'installation.

La pagination est séquentielle pour la totalité du dossier, sauf pour les documents insérés in extenso (Annexes 7 et 8).

La synthèse (résumé non technique)

La synthèse met en exergue les principaux points du dossier, dans un langage non technique.

Un système de renvoi vers le chapitre correspondant du corps du dossier permet au lecteur d'approfondir les points qu'il souhaite. Les renvois sont présentés sous la forme suivante : (☞ x.y.z) qui signifie que le détail de l'information développée dans la synthèse se trouve au chapitre x.y.z.

Correspondant CEA

Des informations complémentaires peuvent être obtenues auprès de Madame Cécile Borgia-Lamure (adresse postale : CEA, Bâtiment 101, 13108 Saint-Paul-lez-Durance Cedex ; adresse mèl : wwwcad@cea.fr).

Auteurs de l'étude

La version initiale de cette étude d'impact a été réalisée par le CEA, assisté des sociétés :

- SGS pour l'analyse des eaux de la Durance (René Ghadab) ;
- X. MONBAILLIU & ASSOCIES pour l'étude d'incidence sur les zones Natura 2000 ITER (Xavier Monbailliu) ;
- ALTHIS pour le diagnostic écologique (Patrick Cotton).

Elle reprend également certaines parties de l'étude d'impact d'ITER (Décret de Demande d'autorisation de création).

La réalisation de l'étude d'impact est un travail collectif qui mobilise de très nombreuses personnes et entités, dont notamment :

- le Laboratoire de Modélisation des Transferts dans l'Environnement (LMTE) du Service Mesures et modélisation des Transferts et des Accidents graves (SMTA) ;
- le Service de Protection contre les Rayonnements ionisants (SPR) ;
- le Service d'Assistance en Sûreté Sécurité (SA2S) ;
- le Service Technique et Logistique (STL) ;
- la Cellule Qualité Sécurité Environnement (CQSE) ;
- la Cellule de Sûreté et des Matières Nucléaires (CSMN).

Mise à jour du document

La version initiale de ce document date de février 2012.

Ce document ayant pour vocation d'être mis à jour régulièrement de manière à suivre l'évolution des activités implantées sur le Site de Cadarache, un certain nombre de modifications ont été apportées depuis sa version initiale et sont précisées dans le tableau suivant :

Chapitre / Paragraphe	Version	Nature des modifications apportées
1.1	Février 2012 – version initiale	-
1.2.1 à 1.2.3	Décembre 2015 – mise à jour indice 1	Mise à jour du nombre d'habitants par commune, des chiffres du CEA, des effectifs
1.2.4	Décembre 2015 – mise à jour indice 1	Mise à jour du statut des installations de type ICPE
1.3.1	Février 2012 – version initiale	-
1.3.2	Décembre 2015 – mise à jour indice 1	Mise à jour des données de température
1.3.3	Février 2012 – version initiale	-
1.3.4	Décembre 2015 – mise à jour indice 1	Mise à jour des données de pluviométrie
1.4	Février 2012 – version initiale	-
1.5	Février 2012 – version initiale	-
1.6.1	Février 2012 – version initiale	-
1.6.2	Décembre 2015 – mise à jour indice 1	Ajout d'une description du cours d'eau du Ravin de la Bête
1.6.3	Février 2012 – version initiale	-
1.6.4	Février 2012 – version initiale	-
1.6.5	Décembre 2015 – mise à jour indice 1	Mention de la modification du débit de réserve de la Durance
1.6.6	Décembre 2015 – mise à jour indice 1	Mise à jour de la carte du réseau hydrologique régional Ajout des communes concernées par le Syndicat Mixte de Pertuis Mise à jour du schéma d'utilisation des eaux en aval de Cadarache
1.6.7	Février 2012 – version initiale	-
1.6.8	Septembre 2017 – mise à jour indice 2	Mise à jour du paragraphe dédié au SDAGE
1.6.9	Septembre 2017 – mise à jour indice 2	Mise à jour du paragraphe dédié au SAGE
1.6.10	Septembre 2017 – mise à jour indice 2	Ajout d'un paragraphe dédié au contrat de rivières SAGE
1.7	Février 2012 – version initiale	-
1.8	Septembre 2017 – mise à jour indice 2	Chapitre mis à jour avec la nouvelle synthèse écologique réalisée par IF-Ecologie Conseil (mai 2017)
1.9	Décembre 2015 – mise à jour indice 1	Mise à jour du référentiel réglementaire Mise à jour des données relatives aux activités volumiques mesurées et aux analyses physico-chimiques résultant du programme de surveillance environnemental Mise à jour des données relatives à la surveillance de la qualité de l'air
1.10.1	Décembre 2015 – mise à jour indice 1	Mise à jour des données sur la base du recensement INSEE 2012
1.10.2	Décembre 2015 – mise à jour indice 1	Mise à jour des données sur la base de la campagne de mesures 2013
1.10.3 à 1.10.5	Février 2012 – version initiale	-
1.10.6	Décembre 2015 – mise à jour indice 1	Ajout d'un paragraphe relatif au SCOT et à l'urbanisme
1.10.7.1	Décembre 2015 – mise à jour indice 1	Mise à jour des données sur la base du dernier inventaire forestier (2009)
1.10.7.2	Décembre 2015 – mise à jour indice 1	Mise à jour des données sur la base du dernier recensement agricole (2010)
1.10.7.3	Février 2012 – version initiale	-
1.10.8/1.10.9	Février 2012 – version initiale	-
2.1	Décembre 2015 – mise à jour indice 1	Reformulation
2.2.1	Décembre 2015 – mise à jour indice 1	Mise à jour du référentiel réglementaire
2.2.2 à 2.2.5	Février 2012 – version initiale	-
2.2.6	Décembre 2015 – mise à jour indice 1	Ajout des eaux de drainage de la nappe au droit du LEFCA
2.2.7	Février 2012 – version initiale	-
2.3.1.1	Décembre 2015 – mise à jour indice 1	Suppression de la mention au forage de secours qui n'est plus en service
2.3.1.2 à 2.3.1.6	Février 2012 – version initiale	-
2.3.2.1	Décembre 2015 – mise à jour indice 1	Mise à jour de la quantité annuelle d'eau prélevée dans le canal EDF
2.3.2.2	Décembre 2015 – mise à jour indice 1	Suppression de la mention au forage de secours

Chapitre / Paragraphe	Version	Nature des modifications apportées
		qui n'est plus en service Ajout du prélèvement au droit de l'installation LEFCA (système de drainage de la nappe)
2.3.2.3	Février 2012 – version initiale	-
2.4.1 2.4.3	Février 2012 – version initiale	-
2.4.4	Décembre 2015 – mise à jour indice 1	Suppression de la contribution de l'ICPE 312
2.4.5	Février 2012 – version initiale	-
2.4.6	Décembre 2015 – mise à jour indice 1	Mise à jour du tableau relatif aux indices de qualité de l'air Mise à jour des données relatives aux mesures de NO ₂ et SO ₂
2.4.7	Décembre 2015 – mise à jour indice 1	Mise à jour du chapitre avec le PPA 2013
2.5.1	Décembre 2015 – mise à jour indice 1	Ajout des eaux de drainage (LEFCA)
2.5.2 à 2.5.8	Février 2012 – version initiale	-
2.5.9	Décembre 2015 – mise à jour indice 1	Ajout de l'impact du rejet des eaux de drainage (LEFCA)
2.5.10/2.5.11	Février 2012 – version initiale	-
2. 6	Février 2012 – version initiale	-
2. 7	Décembre 2015 – mise à jour indice 1	Mise à jour des données relatives aux émissions de CO ₂
2.8	Septembre 2017 – mise à jour indice 2	Chapitre mis à jour avec l'étude environnementale réalisée par IF-Ecologie Conseil (mai 2017)
2.9 à 2.12	Février 2012 – version initiale	-
2.13.1	Décembre 2015 – mise à jour indice 1	Mise à jour des données relatives à l'impact socio-économique
2.13.2 à 2.13.4	Février 2012 – version initiale	-
2.14	Février 2012 – version initiale	-
2.15	Décembre 2015 – mise à jour indice 1	Mise à jour des données relatives aux quantités de déchets conventionnels produits
3	Septembre 2017 – mise à jour indice 2	Chapitre mis à jour avec l'étude Natura 2000 réalisée par IF-Ecologie Conseil (mai 2017) – un renvoi est fait au rapport qui est en annexe 9 – les éléments, trop volumineux, n'ont pas été repris dans le corps du texte
4	Février 2012 – version initiale	-
5	Décembre 2015 – mise à jour indice 1	Reformulation
6	Décembre 2015 – mise à jour indice 1	Reformulation
Annexe 1 à 9	Septembre 2017 – mise à jour indice 2	Mise à jour des annexes 1 et 6. Ajout annexe 9

Les unités de la radioactivité et notations scientifiques utilisées dans le dossier

Le becquerel (Bq)

Un échantillon radioactif se caractérise par le nombre de désintégrations de noyaux radioactifs par seconde qui se produisent en son sein. L'unité est le becquerel, de symbole Bq.

1 Bq = 1 désintégration par seconde. Cette unité est très petite. On utilise communément les puissances de 10 pour indiquer les valeurs.

Exemples :

$1,5 \cdot 10^9$ Bq = 1,5 milliards de Becquerels (= $1,5 \times 1\,000\,000\,000$, le chiffre en exposant représente le nombre de 0)

$1,8 \cdot 10^6$ Bq = 1,8 millions de Becquerels (= $1,8 \times 1\,000\,000 = 1\,800\,000$ Bq).

A l'inverse, les concentrations de radioactivité ajoutée dans le milieu ambiant sont infinitésimales. On utilise alors les puissances de 10 négatives.

Exemple :

$1,5 \cdot 10^{-6}$ Bq/m³ = 1,5 millionnièmes de Becquerels par mètre cube (= $1,5 / 1\,000\,000$, le chiffre en exposant représente le nombre de 0) = 0,000 0015 Bq/m³

Les logiciels (le tableur Excel par exemple) utilisent une autre convention pour écrire les puissances de 10 positives et négatives :

$1,5E+09$ Bq = $1,5 \cdot 10^9$ Bq = 1 500 000 000 Bq

$1,5E-06$ Bq/m³ = $1,5 \cdot 10^{-6}$ Bq/m³ = 0,000 0015 Bq/m³

Les décrets et arrêtés régissant les limites de rejet sont exprimés en Giga Becquerels (GBq).

1 Giga Becquerel est égal à 1 milliard de Becquerels :

1 GBq = 1 000 000 000 Bq = $1 \cdot 10^9$ Bq = $1E+09$ Bq

Exemples :

550 000 Bq = $5,5 \cdot 10^5$ Bq = $5,5 \cdot 10^{-4}$ GBq = 0,00055 GBq

5 500 000 000 000 Bq = $5,5 \cdot 10^{12}$ Bq = $5,5 \cdot 10^3$ GBq

Le sievert (Sv)

Les effets biologiques de la radioactivité sur un organisme exposé (selon sa nature et les organes exposés) se mesurent en Sievert. A l'inverse des becquerels, cette unité est très grande. On utilise couramment le milli Sievert (mSv), ou millième de Sievert.

1 mSv = 10^{-3} Sv

1 μ Sv = 10^{-6} Sv

0.2 Présentation de la démarche

Réglementation applicable

Cette étude ne répond pas à une demande réglementaire ; elle s'inspire cependant, autant que faire se peut, de la réglementation qui définit le contenu des études d'impact des installations nucléaires : l'article R.122-5 du code de l'environnement complété par l'article 9 du décret n°2007-1557 du 2 novembre 2007 relatif aux installations nucléaires de base et au contrôle, en matière de sûreté nucléaire, du transport de substances radioactives.

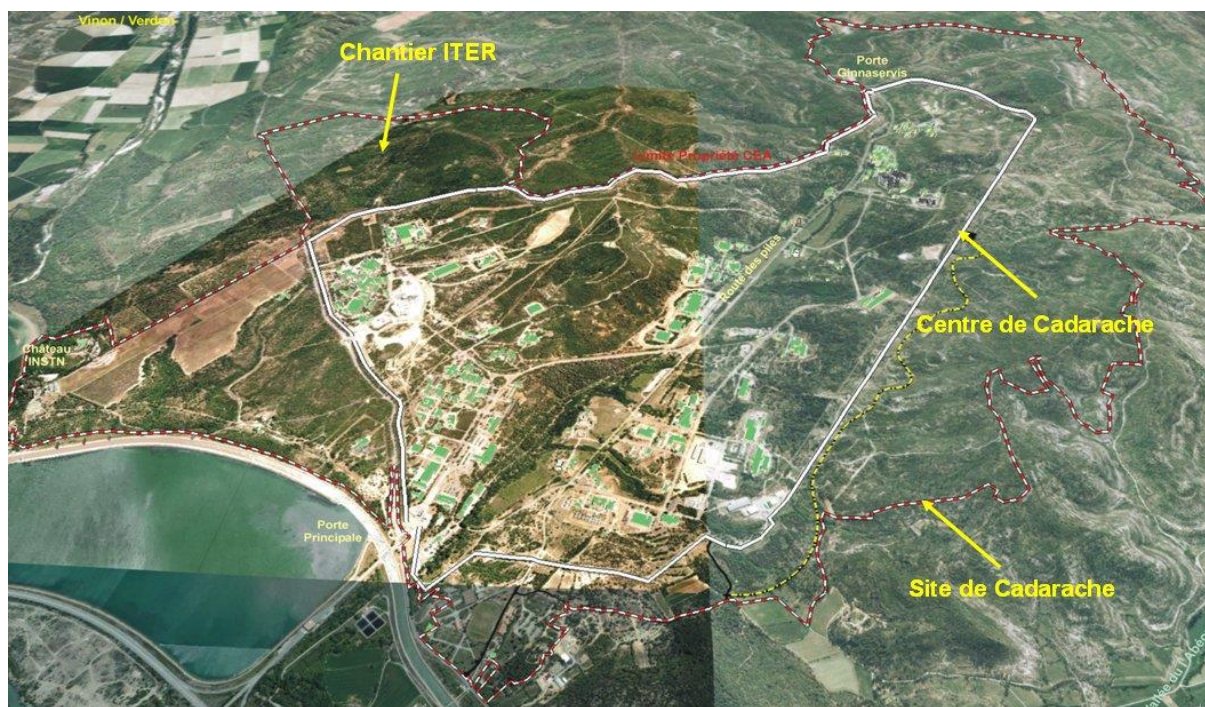
Elle reprend la majeure partie du contenu défini par l'article R122-5 du code de l'environnement, à l'exception de l'item n°5 : « Une esquisse des principales solutions de substitution examinées par le pétitionnaire ou le maître d'ouvrage et les raisons pour lesquelles, eu égard aux effets sur l'environnement ou la santé humaine, le projet présenté a été retenu » qui n'est pas applicable car l'étude d'impact du site de Cadarache analyse des installations déjà existantes et non pas une création ou une modification. Pour la même raison, le chapitre 4.5 « estimation des dépenses liées à l'environnement » a été adapté, de même que le plan de l'étude d'incidence sur les zones Natura 2000.

Aire de l'étude

L'aire physique de l'étude est la totalité de l'emprise foncière du CEA à laquelle s'ajoute celle d'ITER et les installations qui se trouvent à l'intérieur de cette emprise.

Par convention, cette aire d'étude sera dénommée « site de Cadarache ».

Toujours par convention, la dénomination « Centre de Cadarache » se réfère à l'emprise et aux installations qui se trouvent à l'intérieur de la clôture « CEA ».



Aire d'étude

D'un point de vue temporel, cette étude considère l'état actuel des installations, dont ITER en phase chantier.

Types d'installations présentes sur le site de Cadarache

Trois types d'installations se trouvent sur le site : les installations nucléaires de base (INB) civiles et secrètes (INBS-S), les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) et les autres installations qui ne relèvent pas de ces classements.

☞ INB

Une Installation Nucléaire de Base appartient à l'une des catégories mentionnées au paragraphe III de l'article 28 de la loi n° 2006-686 du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire (dite loi TSN) et répond aux caractéristiques fixées par le décret n° 2007-830 du 11 mai 2007 relatif à la nomenclature des installations nucléaires de base.

Plus simplement, c'est une installation nucléaire qui, de par sa nature, ou en raison de la quantité ou de l'activité de toutes les substances radioactives qu'elle contient, est soumise à une réglementation spécifique (loi TSN et décret du 2 novembre 2007 principalement). La loi TSN est à présent retranscrite dans le Code de l'environnement.

☞ INBS

Les INBS comprennent des installations nucléaires de base, qui sont classées « secrètes » par décision du Premier ministre sur proposition du ministre de la Défense ou du ministre chargé de l'Industrie pour leurs installations respectives.

Ce classement est prononcé lorsqu'une au moins des installations comprises dans le périmètre, dénommée installation individuelle, présente les caractéristiques techniques fixées par arrêté conjoint du ministre de la Défense et du ministre chargé de l'Industrie, intéresse la Défense nationale et justifie d'une protection particulière contre la prolifération nucléaire, la malveillance ou la divulgation d'informations classifiées.

Les installations nucléaires de base secrètes sont définies par leur périmètre fixé par le plan annexé à la décision de classement. En font partie l'ensemble des installations et équipements, nucléaires ou non, compris dans le périmètre susmentionné (article R1333-40 du Code de la Défense).

Les installations nucléaires de base (INB) comprises dans une INBS sont qualifiées d'« installations individuelles ».

Au sens du décret, une INBS est un périmètre géographique comprenant au moins une installation nucléaire de base intéressant la Défense. On peut noter cependant que le texte définissant les INBS qualifie également d'INBS les installations individuelles comprises dans ce périmètre.

☞ ICPE

Une Installation Classée pour la Protection de l'Environnement est une installation qui peut présenter des dangers ou des inconvénients pour la commodité des riverains, la santé, la sécurité, la salubrité publique, l'agriculture, la protection de la nature et de l'environnement, la conservation des sites et des monuments.

Dans le but de minimiser les risques relatifs à ces installations, la loi définit les procédures relatives aux installations classées pour la protection de l'environnement. Les ICPE sont régies par le Code de l'environnement.

☞ Autres installations :

On retrouve notamment dans cette catégorie les installations réglementées pour la mise en œuvre de substances radioactives autorisées par l'ASN au titre du code de la santé publique. Ces installations étaient classées ICPE radioactives jusqu'à la publication du décret n°2014-996.

Précisions sur quelques termes

Les termes incidence et impact sont utilisés indifféremment dans le document. Ils peuvent être considérés comme synonymes dans le domaine de l'environnement, bien qu'étymologiquement le mot incidence soit plus approprié.

Leurs définitions, dans le sens appliqué à l'environnement, issues du « Petit Robert » sont les suivantes :

- incidence : conséquence, effet, influence ;
- impact : effet d'une action forte, brutale.

Le mot « significatif » revient souvent dans les études d'impact. Le dictionnaire « Le trésor de la langue française informatisé » en donne la définition suivante : « qui est le signe, la preuve de quelque chose ; qui révèle quelque chose ».

Par extension, il sera considéré dans la présente étude qu'un impact est dit significatif quand on sait le discriminer de celui produit par les conditions qui prévalaient avant l'existence de la cause de l'impact étudié (les activités du site de Cadarache dans notre cas) et quand ses conséquences sont susceptibles de présenter un risque pour l'environnement ou la santé.

1 Analyse du site et de son environnement

1.1 Introduction

Le but de ce paragraphe est de présenter le site de Cadarache et son environnement sous tous ses aspects. Il débute par la situation géographique du site, puis la description des entités implantées et des installations exploitées.

Le milieu physique est ensuite abordé (météorologie, géologie, hydrologie, hydrogéologie), puis l'état physico-chimique, radiologique et biologique (milieu naturel, biotopes et écosystèmes). La présentation se termine par celle du milieu humain (démographie, urbanisation, activités et leurs conséquences, etc.).

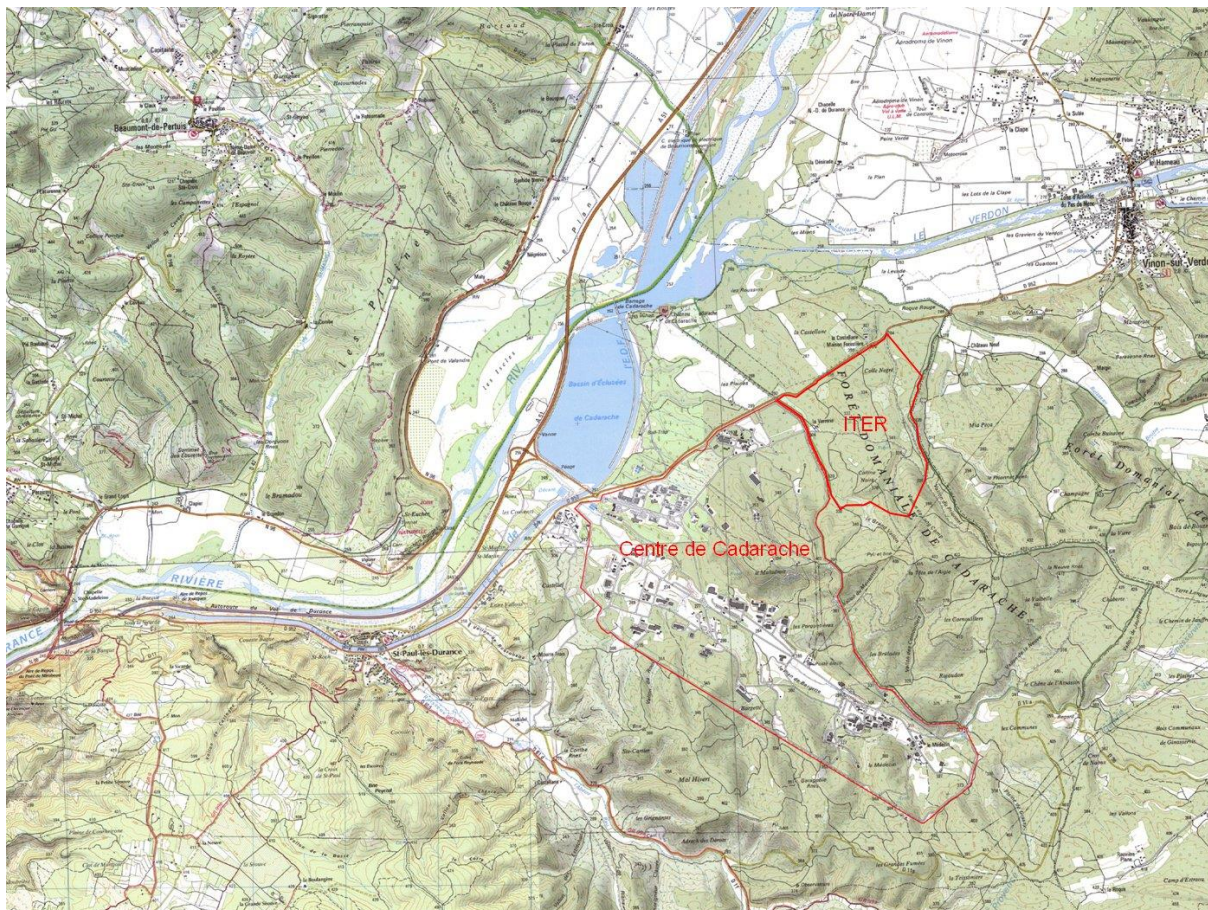
1.2 Présentation du site de Cadarache

1.2.1 Situation géographique

Le site de Cadarache se trouve à l'extrémité nord-est du département des Bouches-du-Rhône (13), sur la commune de Saint-Paul-Lez-Durance (1 000 habitants), à 15 km de Manosque (23 000 habitants), 20 km de Pertuis (19 000 habitants), 35 km d'Aix-en-Provence (144 000 habitants) et 60 km de Marseille (859 000 habitants).



Situation du site de Cadarache



Carte du site de Cadarache (avec les clôtures du Centre) et de ses environs

Le site se trouve près de la confluence de la Durance et du Verdon, à proximité des départements des Alpes-de-Haute-Provence, du Var et du Vaucluse. La commune de Saint-Paul-Lez-Durance est située à l'extrémité sud de la vallée de la moyenne Durance, peu avant un rétrécissement très marqué au niveau du défilé de Mirabeau.

Le site, propriété du CEA, occupe une superficie totale de 1 600 hectares, dont 900 hectares sont clôturés et regroupent les installations du CEA et de l'IRSN ; 180 hectares contigus au nord-est sont également clôturés pour ITER.

Le reste du site n'est pas clôturé ; il abrite notamment le château de Cadarache, les locaux de l'institut National des Sciences et Techniques Nucléaires (INSTN) et les installations de la Direction de la Recherche Technologique (DRT).

L'orientation principale est-ouest est parallèle à une petite vallée affluente de la Durance (Ravin de la Bête), le long de laquelle est implantée la majeure partie des réacteurs expérimentaux du CEA.



Plan du Centre de Cadarache



Plan des futures installations d'ITER

Le reste du site consiste en une zone surplombant cette vallée, moyennement inclinée vers la Durance et s'étaguant entre 250 et 400 mètres d'altitude. Le terrain, relativement accidenté, est en majeure partie couvert de forêts (bois domaniaux formés surtout d'espèces méditerranéennes).

Le site est desservi par la route départementale D 952, la nationale N 96 qui longe la rive droite de la Durance et l'autoroute A 51, laquelle emprunte l'ancien lit de la Durance.

1.2.2 Présentation des entités présentes sur le site

De nombreuses entités sont présentes sur le site. Cette présentation se limitera aux exploitants d'installations soumises à autorisation (au sens du Code de l'Environnement) ou du Code de la santé publique) : Installations Nucléaires de Base (INB), Installation Nucléaire de Base Secrète (INBS), Installation Classée pour la Protection de l'Environnement (ICPE) ou installations mettant en œuvre des substances radioactives autorisées par l'ASN.

1.2.2.1 CEA

Acteur majeur de la recherche, du développement et de l'innovation, le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives intervient dans quatre grands domaines : les énergies bas carbone (nucléaire et renouvelables), les technologies pour l'information et les technologies pour la santé, les Très Grandes Infrastructures de Recherche (TGIR), la défense et la sécurité globale.

Pour chacun de ces quatre grands domaines, le CEA s'appuie sur une recherche fondamentale d'excellence et assure un rôle de soutien à l'industrie.



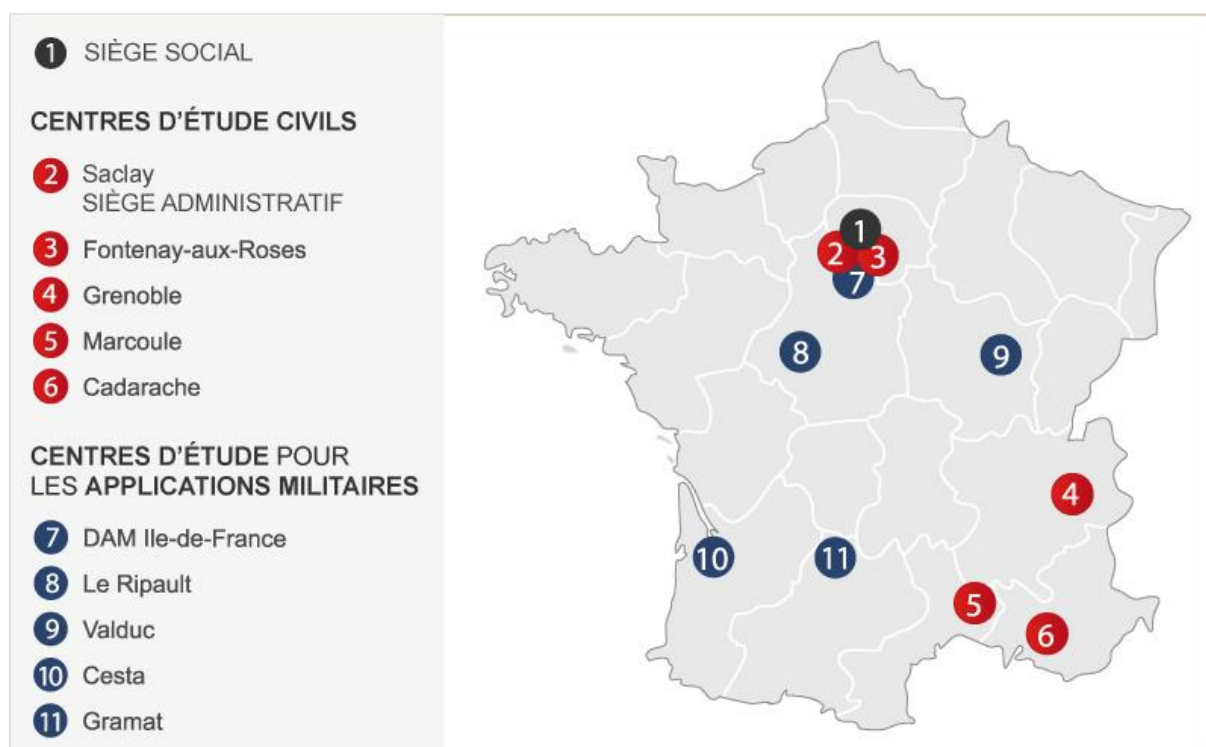
Le CEA en chiffres (fin 2014)

- ☞ 10 centres de recherche
- ☞ 4 plateformes régionales de transfert technologique
- ☞ 4,3 milliards d'euros de budget (civil et défense)
- ☞ 3 Idex (Initiatives d'Excellence)
- ☞ 27 Equipex (Equipements d'Excellence)
- ☞ 33 Labex (Laboratoires d'Excellence)
- ☞ 16 110 salariés (techniciens, ingénieurs, chercheurs et collaborateurs)
- ☞ 1 504 doctorants et 276 post-doctorants
- ☞ 5022 publications en 2013
- ☞ Plus de 760 projets européens
- ☞ 27 Pôles de compétitivité, dont 18 où le CEA est administrateur
- ☞ 53 accords-cadres en vigueur avec les universités et écoles
- ☞ 51 unités de recherche (dont 45 Unités Mixtes de Recherche (UMR) sous co-tutelle du CEA et de partenaires académiques)
- ☞ 751 dépôts de brevets prioritaires en 2014
- ☞ 169 start-up technologiques créées depuis 1972 dont 106 depuis 2000
- ☞ Plus de 500 partenaires industriels dont 300 financent des recherches à plus de 50 k€/an

Le CEA est implanté sur 10 Centres répartis dans toute la France. Il développe de nombreux partenariats avec les autres organismes de recherche, les collectivités locales et les universités. A ce titre, le CEA est partie prenante des alliances nationales coordonnant la recherche française dans les domaines de l'énergie (ANCRE), des sciences de la vie et de la santé (AVIESAN), des sciences et technologies du numérique (ALLISTENE) et des sciences de l'environnement (AllEnvi).

Reconnu comme un expert dans ses domaines de compétences, le CEA est pleinement inséré dans l'espace européen de la recherche et exerce une présence croissante au niveau

international. Le CEA a le statut d'EPIC (Etablissement Public à caractère Industriel et Commercial).



Implantation des Centres d'études CEA

1.2.2.2 ITER Organization

« ITER Organization » est une organisation internationale de droit public établie par « l'accord sur l'établissement de l'organisation internationale ITER (qui signifie « le chemin » en latin) pour l'énergie de fusion en vue de la mise en œuvre conjointe du projet ITER » signé le 21 novembre 2006, par le gouvernement de la République Populaire de Chine, la Communauté Européenne de l'Energie Atomique, le gouvernement de la République d'Inde, le gouvernement du Japon, le gouvernement de la République de Corée, le gouvernement de la Fédération de Russie et le gouvernement des Etats-Unis d'Amérique, entré en vigueur le 24 octobre 2007, et déposé auprès de l'Agence Internationale pour l'Energie Atomique (AIEA).



L'organisation internationale est responsable de la conception de l'installation de recherche, de sa construction prévue pendant 10 ans, de son exploitation pendant 20 ans et de sa mise à l'arrêt.

1.2.2.3 ITER France

L'Agence ITER France (AIF) est en interface permanente avec les différentes structures impliquées dans la réalisation du projet : ITER Organization, mais également l'agence européenne « Fusion For Energy » (F4E), basée à Barcelone, et responsable notamment de la construction des bâtiments de l'installation de recherche et d'éléments non transportables (bâtiments de bureaux par exemple), et enfin la mission ITER, placée auprès du Préfet de Région PACA, qui accompagne l'implantation d'ITER et veille au respect des engagements de la France (logement, école internationale de Manosque, aménagement routier à très grand gabarit « Itinéraire ITER », etc.).

Créée au sein du CEA, l'Agence ITER France est composée d'une vingtaine de spécialistes en charge de missions diverses :

- * gérer les travaux de viabilisation du site avant le démarrage des travaux de construction de l'installation de recherche ;
- * accueillir les collaborateurs ITER et leurs familles ;
- * rassembler la contribution française (en argent et en nature) ;
- * élaborer les dossiers de sécurité et de sûreté pour le compte d'ITER Organization ;
- * démanteler l'installation à la fin de son exploitation.

Entre 2007 et 2009 l'Agence ITER France a été responsable de la viabilisation du site (défrichement et terrassement) et des travaux annexes tels que la réalisation des réseaux d'alimentation en eau et en électricité. L'Agence a également supervisé la construction du siège d'ITER, livré en octobre 2012.

1.2.2.4 IRSN

L'IRSN est un établissement public à caractère industriel et commercial placé sous la tutelle conjointe des ministères chargés de l'écologie, de l'industrie, de la recherche, de la défense et de la santé.

Le champ de compétences de l'IRSN couvre l'ensemble des risques liés aux rayonnements ionisants, utilisés dans l'industrie ou la médecine, ou encore les rayonnements naturels. Plus précisément, l'IRSN exerce ses missions d'expertise et de recherche dans les domaines suivants :



- * surveillance radiologique de l'environnement et intervention en situation d'urgence radiologique ;
- * radioprotection de l'homme ;
- * prévention des accidents majeurs dans les installations nucléaires ;
- * sûreté des réacteurs ;
- * sûreté des usines, des laboratoires, des transports et des déchets ;
- * expertise nucléaire de défense.

L'IRSN est notamment l'exploitant d'une ICPE sur le site de Cadarache et d'installations mettant en œuvre des substances radioactives autorisées par l'ASN au titre du code de la santé publique.

1.2.3 Activités du site de Cadarache

1.2.3.1 Le Centre de Cadarache

Créé en 1959 et inauguré en 1963, le Centre CEA de Cadarache se consacre à des activités de recherche expérimentale et de développement dans le domaine de l'énergie nucléaire de fission et de fusion, des nouvelles technologies de l'énergie, de la biologie végétale et de la microbiologie.

Le Centre accueille des unités de la Direction de l'Energie Nucléaire (DEN), de la Direction de la Recherche Technologique (DRT), de la Direction des Sciences de la Matière (DSM), de

la Direction des Sciences du Vivant (DSV) ainsi que de l'Institut des Sciences et Techniques Nucléaires (INSTN).

Des entreprises et organismes non CEA sont également implantés à l'intérieur du Centre : Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire (IRSN), AREVA NC, AREVA TA, AREVA STMI, AREVA NDE Solutions France (INTERCONTROLE).

Les effectifs du Centre sont, pour 2013 (cf. plaquette de présentation éditée en 2014), d'environ : 2 400 salariés du CEA, dont 130 doctorants et post-doctorants ; 700 collaborateurs extérieurs français et étrangers (scientifiques, stagiaires, intérimaires, etc.) ; 1 000 salariés du Groupe AREVA et de l'IRSN ; 2 000 emplois en sous-traitance.

Le Centre comprend 480 bâtiments, dont 20 Installations Nucléaires de Base (INB) et une Installation Nucléaire de Base secrète (INB-S) exploitées par le CEA. Les 24 Installations Classées pour la Protection de l'Environnement implantées sur le Centre sont exploitées soit par le CEA (23 ICPE) soit par l'IRSN (1 ICPE).

1.2.3.2 ITER

ITER Organization emploie des hommes et des femmes venus d'une trentaine de pays pour travailler ensemble dans le cadre du programme de coopération internationale ITER. Son effectif devrait atteindre les mille salariés durant la phase opérationnelle d'ITER. Actuellement, environ 500 personnes sont employées directement, et 350 interviennent en tant que contrats externes. (source : site internet ITER).

Les travaux de construction des bâtiments scientifiques et des installations annexes qui accueilleront le programme expérimental ITER ont débuté au mois de juillet 2010. Depuis, bulldozers, bétonnières et grues s'activent sur la plateforme surélevée de 42 hectares, aménagée sur le site.

L'Organisation internationale ITER est un exploitant nucléaire en France depuis le Décret n° 2012-1248 du 9 novembre 2012 l'autorisant à créer une installation nucléaire de base dénommée « ITER » sur son site sur la commune de Saint-Paul-lez-Durance.


Le site d'ITER dispose également d'une ICPE exploitée par l'Agence ITER France.


1.2.4 Description des installations présentes sur le site de Cadarache


Les installations présentes sur le site de Cadarache sont décrites ci-après. Seules les principales installations, notamment celles susceptibles d'avoir une incidence sur l'environnement sont présentées afin de ne pas alourdir la présentation. Les Installations nucléaires de base sont tout d'abord présentées, puis l'Installation nucléaire de base secrète, ensuite les installations classées pour la protection de l'environnement les plus importantes, le chantier ITER et enfin les installations non classées les plus notables.


La présentation détaillée de chaque installation classée ainsi que ses rejets figure en Annexe 1.


1.2.4.1 Présentation des Installations nucléaires de base (INB)

INB 22-PEGASE-CASCAD		
Exploitant	CEA	
Description	Installation d'entreposage sous eau de combustibles irradiés et à sec de fûts de sous-produits de fabrication d'éléments combustibles (PEGASE). Installation d'entreposage à sec de combustibles nucléaires irradiés (CASCAD)	
Autorisation	Décret d'autorisation de création de Pégase du 17/04/1980 modifié par le décret d'autorisation de création de CASCAD du 04/09/1989	
Remarques	A l'origine l'installation Pégase avait pour vocation le test en vraie grandeur d'éléments combustibles de réacteurs refroidis au gaz. Cette fonction est à l'arrêt depuis le 19/12/1975	


INB 24- CABRI		
Exploitant	CEA	
Description	Réacteur expérimental de type piscine à eau légère destiné à l'étude des combustibles de réacteurs soumis à des régimes accidentels ou incidentels ainsi qu'aux études associées.	
Autorisation	Déclarée comme INB par lettre SJC 64.590 du 27/05/1964, modifiée par Le décret n°2006-320 du 20 mars 2006.	
Remarques	L'installation est en cours de modification pour installer notamment une nouvelle boucle expérimentale qui permettra de tester avec une meilleure représentativité les éléments combustibles des réacteurs à eau sous pression (réacteurs actuels du parc EDF). Cette installation a été autorisée à diverger par décision CODEP-CLG-2015-041738 du 13 octobre 2015.	


INB 25-RAPSODIE-LDAC		
Exploitant	CEA	
Description	Réacteur à neutrons rapides en démantèlement (RAPSODIE). Laboratoire de Découpage et d'Examens après irradiation des Assemblages Combustibles en démantèlement (LDAC).	
Autorisation	RAPSODIE déclarée par lettre SJC 64.590 du 27/05/1964. Autorisation de mise en exploitation LDAC : CSIA 66-226 du 20/12/1966.	
Remarques	RAPSODIE est à l'arrêt depuis le 15/4/1983 et en cours d'assainissement. Le LDAC est à l'arrêt depuis 1997. A l'intérieur du périmètre de l'INB, des laboratoires d'analyse restent en fonctionnement.	


<p>INB 32-ATPu</p>		
Exploitant	CEA, exploitant technique opérationnel AREVA-NC.	
Description	Atelier de Technologie du Plutonium : fabrication de combustibles à base d'oxyde mixte d'uranium et de plutonium (homogénéisation, pastillage, frittage, gainage).	
Autorisation	Déclarée comme INB par lettre SJC 64.590 du 27/05/1964. Décret de démantèlement n°2009-263 du 6 mars 2009.	
Remarques	En fonction depuis 1962, l'ATPu a cessé toute activité commerciale en juillet 2003 pour entrer dans une phase de traitement des rebuts, de reconditionnement des matières et d'assainissement. Il est entré en phase de démantèlement début 2009.	

<p>INB 37A-STD</p>		
Exploitant	CEA	
Description	Cette installation est constituée d'une station de traitement des déchets (STD). Elle traite et conditionne les déchets solides.	
Autorisation	Déclarée comme INB par lettre SJC 64.590 du 27/05/1964. Arrêté du 9 juin 2015 fixant le périmètre de l'installation nommée station de traitement des déchets (STD). Décision n° CODEP-DRC-027225 du président de l'Autorité de sûreté nucléaire du 9 juillet 2015 enregistrant l'installation nucléaire de base n° 37-A dénommée station de traitement des déchets (STD).	
Remarques	Cette installation est en exploitation.	


INB 37B-STE		
Exploitant	CEA	
Description	Cette installation est composée d'une Station de Traitement des Effluents (STE). Elle assurait le traitement par évaporation des effluents liquides suivi de l'enrobage des concentrats dans une matrice en ciment.	
Autorisation	Déclarée comme INB par lettre SJC 64.590 du 27/05/1964. Arrêté du 9 juin 2015 fixant le périmètre de l'installation nommée station de traitement des effluents (STE). Décision n° CODEP-DRC-027232 du président de l'Autorité de sûreté nucléaire du 9 juillet 2015 enregistrant l'installation nucléaire de base n° 37-B dénommée station de traitement des effluents (STE).	
Remarques	Cette installation est remplacée par l'INB 171 AGATE. Cette installation est en phase d'assainissement et mise à l'arrêt définitif en vue de son démantèlement futur.	


INB 39-MASURCA		
Exploitant	CEA	
Description	Réacteur d'essais maquette critique, où des expériences de neutronique sur les cœurs de la filière des réacteurs à neutrons rapides sont réalisées.	
Autorisation	Décret de création du 14/12/1966.	


INB 42-EOLE		
Exploitant	CEA	
Description	Réacteur d'essais, maquette critique de type piscine à eau lourde ou légère à des fins d'études neutroniques.	
Autorisation	Décret de création du 23/06/1965.	
Remarques	Le réacteur se situe dans le même bâtiment que le réacteur MINERVE (INB 95).	

INB 52-ATUE 	
Exploitant	CEA
Description	Atelier d'uranium enrichi.
Autorisation	Autorisation de création de 1962. Déclarée comme INB par lettre SJC 68.036 du 08/01/1968. Décret de démantèlement n°2006-154 du 8 février 2006.
Remarques	Arrêt des activités en 1995. Démantèlement en cours.


INB 53-MCMF 	
Exploitant	CEA
Description	Le Magasin Central de Matières Fissiles entrepose des matières nucléaires non irradiées, gère les flux de matières entre les Centres nucléaires, les Centres de production, les établissements industriels nationaux et certains pays étrangers.
Autorisation	Agrément de la CSIA pour la construction du bâtiment principal (62-54 du 26/06/1962) et son extension (63-83 du 2/7/1963). Déclarée comme INB par lettre SJC 68.036 du 08/01/1968.
Remarques	Les matières présentes dans le MCMF sont en cours de transfert vers l'installation MAGENTA.

INB 54-LPC 	
Exploitant	CEA, exploitant technique opérationnel AREVA-NC.
Description	Le Laboratoire de Purification Chimique assure les opérations de contrôle des combustibles fabriqués à l'ATPu ainsi que le suivi des opérations de traitement des rebuts.
Autorisation	Déclarée comme INB par lettre SJC 68.036 du 08/01/1968. Décret de démantèlement n°2009-262 du 6 mars 2009.
Remarques	Mis en service en 1965, le LPC a cessé toute activité commerciale pour entrer dans une phase de traitement des rebuts, de reconditionnement des matières et d'assainissement. Il est entré en phase de démantèlement début 2009.


INB 55-LECA-STAR		
Exploitant	CEA	
Description	<p>Laboratoire d'Examen des Combustibles Actifs (LECA) : examens destructifs et non destructifs sur des éléments combustibles ainsi que sur des matériaux fortement irradiés provenant de réacteurs expérimentaux et de réacteurs des différentes filières nucléaires.</p> <p>Station de Traitement, d'Assainissement et de Reconditionnement des combustibles irradiés (STAR) : stabilisation et reconditionnement avant traitement des éléments combustibles provenant de la filière uranium naturel – graphite – gaz.</p>	
Autorisation	Autorisation d'exploitation du LECA par la CCSIA du 17/06/1964. LECA déclaré comme INB par lettre SJC 68.036 du 08/01/1968. Décret de création de STAR du 04/09/1989.	


INB 56-Parc d'entreposage		
Exploitant	CEA	
Description	<p>Entreposage en surface de déchets solides en attente d'évacuation (hangars et fosses). Entreposage en piscine de combustibles irradiés expérimentaux en transit. Entreposage en tranchées de déchets radioactifs produits par les installations du Centre.</p>	
Autorisation	Déclarée comme INB par lettre SJC 68.036 du 08/01/1968. Autorisation de mise en service des tranchées en 1969.	
Remarques	Tranchées exploitées de 1969 à 1974, en cours d'assainissement.	

INB 92-PHEBUS		
Exploitant	CEA	
Description	<p>Réacteur d'essais de type piscine à barreaux d'oxyde d'uranium faiblement enrichi. De fonctionnement intermittent, l'installation est un outil pour l'étude des hypothèses d'accident pouvant affecter un réacteur à eau sous pression. Extension PF : installation de simulation du comportement et du transport des produits de fission (PF) dans une installation en cas de fusion du cœur.</p>	
Autorisation	Décret de création N° 77-801 du 05/07/1977. Décret de modification de Phébus pour la réalisation des programmes PF N° 91-1154 du 07/11/1991.	

INB 95-MINERVE		
Exploitant	CEA	
Description	Réacteur d'essais, maquette critique de type piscine.	
Autorisation	Décret de création n°77-1072 du 21/09/1977.	
Remarques	Le réacteur se situe dans le même bâtiment que le réacteur EOLE (INB 42).	

INB 123-LEFCA		
Exploitant	CEA	
Description	Laboratoire d'Etudes et de Fabrication expérimentales de Combustibles nucléaires Avancés : études sur le plutonium, l'uranium, les actinides et leurs composés sous toutes leurs formes (alliages, céramiques, composites) en vue de leur application aux réacteurs nucléaires.	
Autorisation	Décret de création du 23/12/1981.	

INB 156-CHICADE		
Exploitant	CEA	
Description	Laboratoire de recherche et développement sur les déchets nucléaires : traitement de déchets liquides aqueux, décontamination, conditionnement des déchets solides, expertise et contrôle de colis de déchets conditionnés.	
Autorisation	Décret de création du 29/03/1993.	

INB 164 CEDRA		
Exploitant	CEA	
Description	Traitement et entreposage de déchets radioactifs faiblement et moyennement radioactifs.	
Autorisation	Décret de création n°2004-1043 du 4/10/2004.	

INB 169 MAGENTA 	
Exploitant	CEA
Description	Caractérisation, conservation et conditionnement des matières nucléaires.
Autorisation	Décret de création n°2008-1004 du 25/09/2008.

INB 171 AGATE 	
Exploitant	CEA
Description	Traitement des effluents liquides radioactifs (concentration par évaporation).
Autorisation	Décret de création n°2009-332 du 25/03/2009. Autorisation de mise en service de l'INB par décision ASN n° 2014-DC-0428 du 29 avril 2014.

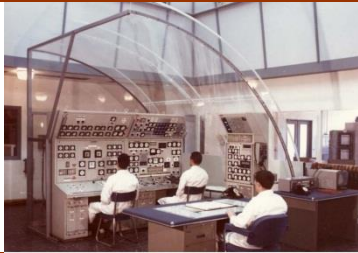
INB 172 RJH 	
Exploitant	CEA
Description	Réacteur d'irradiation à haut flux de neutrons.
Autorisation	Décret de création n°2009-1219 du 12/10/2009.
Remarques	Projet en partenariat national et international. Le RJH est amené à prendre le relais du réacteur OSIRIS de Saclay.


1.2.4.2 Description de l'Installation nucléaire de base secrète (INB-S)

La zone où se trouvent les installations décrites dans le présent chapitre, appelée INBS-PN (Installation Nucléaire de Base Secrète pour la Propulsion Nucléaire) est soumise à des règles de protection du secret de Défense Nationale. La modification de cette zone pour y


intégrer le RES a été autorisée par Décret du 31/07/2003. La zone INB-S comprend les installations présentées ci-après.

<p>RNG</p>		
Exploitant	CEA, exploitant technique opérationnel AREVA-TA.	
Description	Réacteur Nouvelle Génération, le RNG est une transformation de la CAP (Chaudière Avancée Prototype), ancienne INB 82.	
Autorisation	Autorisation de chargement du RNG donnée le 09/06/1989 par CCSIA/89-174.	
Remarques	Ce réacteur a permis de qualifier les innovations technologiques des réacteurs nucléaires de propulsion navale et de former les équipages de la Marine nationale, Arrêt définitif en octobre 2005 mais un certain nombre d'équipements et de systèmes sont encore en activité.	

<p>PAT</p>		
Exploitant	CEA, exploitant technique opérationnel AREVA-TA.	
Description	Prototype à terre.	
Autorisation	Autorisation définitive CSIA/65-135 du 28/01/1965.	
Remarques	Premier réacteur de qualification et d'entraînement du programme nucléaire naval pour la Marine Nationale. Mis en service en 1964. Mise à l'arrêt définitif en 1992.	

<p>AZUR</p>		
Exploitant	CEA, exploitant technique opérationnel AREVA-TA.	
Description	Réacteur « pile critique » qui permet de tester les cœurs neufs des réacteurs nucléaires de propulsion navale.	
Autorisation	Autorisation de construction donnée par décision 61-29 du 27/06/1961.	


FSMC	
Exploitant	CEA, exploitant technique opérationnel AREVA-TA.
Description	Fabrication, Stockage et Manutention de Combustible : le FSMC permet l'étude et la fabrication des combustibles nucléaires utilisés par la Marine Nationale.
Autorisation	Autorisation de construction donnée par la décision HC/CD 80-300 du 4/12/1980. Autorisation de poursuite d'exploitation HC/00-343 DDSN/00-259 du 18/10/2000.


RES	
	
Exploitant	CEA, exploitant technique opérationnel AREVA-TA.
Description	Réacteur expérimental d'essais.
Autorisation	Autorisation de construction donnée par décision HC/99-372 du 02/08/99.
Remarques	Le RES est composé d'une partie piscine et d'une partie réacteur. L'installation RES piscine permettant l'entreposage et l'examen des combustibles irradiés, est en exploitation depuis octobre 2005. A terme, le RES remplacera le RNG.


1.2.4.3 Description des Installations classées pour la protection de l'environnement

Certaines installations du site de Cadarache relèvent de la nomenclature des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) du fait des équipements implantés (groupes froids, tours aéroréfrigérantes, batteries, etc.) ainsi que des produits et substances stockés et manipulés (substances radioactives, fioul, produits chimiques dangereux, etc.). Elles peuvent être à caractère nucléaire ou non nucléaire. Les principales installations présentées sont, dans l'ordre, les ICPE CEA réglementées par l'arrêté préfectoral du 25 septembre 2006, l'ICPE exploitée par l'IRSN et l'ICPE exploitée par ITER.

Chaufferie centrale (bâtiments 257 et 276)	
	
Exploitant	CEA
Type ICPE	Autorisation
Description	Chaufferie du Centre (fourniture eau surchauffée, chauffage au gaz ou au fioul en secours) et parc de stockage d'hydrocarbures.

COMIR (bâtiment 225)		
Exploitant	CEA	
Type ICPE	Autorisation	
Description	Etude de combustibles irradiés (mesures qualitatives et quantitatives), mise au point de systèmes de caractérisation de déchets nucléaires.	

Décontamination-démantèlement (bâtiment 312)		
Exploitant	CEA	
Type ICPE	Autorisation	
Description	Cette ICPE regroupe tous les équipements nécessaires à la réalisation des différentes opérations de décontamination, de démantèlement, de tri, de reconditionnement, de caractérisation et de traitement des déchets, ainsi que la laverie du linge sortant de zone contrôlée.	

Déposante déchets conventionnels zone de transit		
Exploitant	CEA	
Type ICPE	Déclaration	
Description	Réception, station de transit de déchets industriels provenant d'installations classées, d'ordures ménagères et de résidus urbains.	

Eau lourde (bâtiment 237)	
Exploitant	CEA
Type ICPE	Autorisation
Description	Entreposage d'eau lourde.


HRT (bâtiments 201 à 204)	
	
Exploitant	CEA
Type ICPE	Déclaration
Description	Le hall de recherches technologiques regroupe les activités liées aux expérimentations sur les métaux liquides.


INTERCONTROLE SUD (bâtiments 443 et 464)	
	
Exploitant	CEA, exploitant technique opérationnel INTERCONTROLE
Type ICPE	Autorisation
Description	Maintenance et étalonnage d'équipements d'inspection des réacteurs à eau pressurisée.


Laboratoire d'Analyses RadioChimiques (LARC) (bâtiment 152)	
Exploitant	CEA
Type ICPE	Autorisation
Description	Analyses chimiques et radiochimiques.


Laboratoire d'analyses IBEB (bâtiments 156, 158, 178, 185)		
Exploitant	CEA	
Type ICPE	Déclaration	
Description	Recherche fondamentale sur la toxicologie nucléaire, la radiobiologie et l'écophysiologie végétales.	

Laboratoire UO2 (bâtiment 315)		
Exploitant	CEA	
Type ICPE	Autorisation	
Description	Recherche et développement pour la fabrication de combustibles à base d'oxyde d'uranium ou de thorium.	


MMB (bâtiment 411)		
Exploitant	CEA	
Type ICPE	Autorisation	
Description	Magasin des matières brutes : entreposage d'uranium naturel ou appauvri, des fûts de thorium et des fûts de matières radioactives pouvant contenir du thorium, de l'uranium naturel, de l'uranium faiblement enrichi.	

PLINIUS (bâtiment 281)	
Exploitant	CEA
Type ICPE	Autorisation
Description	La plateforme PLINIUS a pour vocation l'étude du corium (magma issu de la fusion du cœur d'un réacteur nucléaire) et des dispositions pour le gérer.

RHODIA (bâtiments 420-465)	
Exploitant	CEA
Type ICPE	Autorisation
Description	Entreposage de terres rares.

SPR Laboratoire d'analyses (bâtiment 310)	
Exploitant	CEA
Type ICPE	Autorisation
Description	Laboratoire de mesure de radioactivité et préparation de sources d'iode radioactif pour les contrôles des pièges à iode.


Station d'épuration (zone 110)		
Exploitant	CEA	
Type ICPE	Autorisation	
Description	Station d'épuration collective des eaux résiduaires industrielles.	


Station de pompage (bâtiment 955)		
Exploitant	CEA	
Type ICPE		
Description	Installations de pompage d'eau et de potabilisation.	

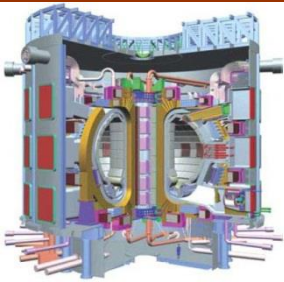
Station de transit DID (zone 1)		
Exploitant	CEA	
Type ICPE	Autorisation	
Description	Transit des déchets industriels dangereux en attente d'évacuation vers les filières agréées.	

TORE SUPRA (bâtiments 500, 507, 510, 511)	
Exploitant	CEA
Type ICPE	Enregistrement
Description	Dispositif expérimental permettant l'étude physique des plasmas chauds, denses et confinés magnétiquement.

TOTEM (bâtiment 224)	
Exploitant	CEA
Type ICPE	Autorisation
Description	Recherche et développement sur le comportement des éléments constitutifs des réacteurs, développement de nouvelles méthodes de caractérisation des déchets.


La Rotonde (bâtiment 801)		
Exploitant	CEA	
Type ICPE	Autorisation	
Description	Plateforme logistique pour la gestion et le contrôle des déchets radioactifs de faible et très faible activité.	


SERIS (bâtiments 166, 186 et bâtiments associés)		
Exploitant	IRSN	
Type ICPE	Autorisation	
Description	Réalisation d'études et de recherches en laboratoire sur les mécanismes de transport et de transfert des radionucléides dans les écosystèmes. Laboratoire d'expérimentation sur des composantes de l'environnement (sols et matériels biologiques) pour l'étude des transferts dans l'environnement.	

ITER		
Exploitant	ITER France (puis ITER organisation)	
Type ICPE	Autorisation (puis INB)	
Description	Chantier de construction d'une installation de fusion nucléaire.	

1.2.4.4 Autres installations


PLATEFORME MADERE (bâtiment 230 B)		
Exploitant	CEA	
Type d'installation	Installation mettant en œuvre de substances radioactives, autorisée par l'ASN au titre du Code de la santé publique (anciennement ICPE radioactive)	
Description	Conception, fabrication de détecteurs neufs et mesure d'activité de détecteurs irradiés.	

<p>Poséidon (bâtiments 217, 218, 728, 756, 704)</p>		
Exploitant	CEA	
Type d'installation	Installation mettant en œuvre de substances radioactives, autorisée par l'ASN au titre du Code de la santé publique (anciennement ICPE radioactive)	
Description	La plateforme Poséidon est destinée aux études sur les composants des cœurs de réacteur et des circuits associés. Elle est composée de l'installation Hermès (essais hydrauliques sur des maquettes d'assemblages combustibles pouvant contenir de l'oxyde d'uranium) et d'un hall qui permet de réaliser des essais relatifs aux générateurs de vapeur et à la qualification de robinetterie.	

<p>CEZANNE-AMANDE (bâtiments 422 et 468)</p>		
Exploitant	IRSN	
Type d'installation	Installation mettant en œuvre de substances radioactives, autorisée par l'ASN au titre du Code de la santé publique	
Description	Production de neutrons pour des activités de recherche et d'expertise en dosimétrie et en métrologie des neutrons.	


<p>EPICUR (bâtiments 327)</p>		
Exploitant	IRSN	
Type d'installation	Installation mettant en œuvre de substances radioactives, autorisée par l'ASN au titre du Code de la santé publique	
Description	Etudes relatives à la chimie de l'iode et du ruthénium sous rayonnement gamma.	


<p>LEAR (bâtiment 327A)</p>		
Exploitant	IRSN	
Type d'installation	Installation mettant en œuvre de substances radioactives, autorisée par l'ASN au titre du Code de la santé publique	
Description	Laboratoire d'expérimentation mettant en œuvre des produits chimiques et radioactifs dans le domaine de la physico-chimie des produits de fission.	

SIGMA (bâtiment 424)		
Exploitant	IRSN	
Type d'installation	Installation mettant en œuvre de substances radioactives autorisée par l'ASN au titre du Code de la santé publique	
Description	Production de neutrons pour des activités de recherche et d'expertise en dosimétrie et en métrologie des neutrons.	

Les autres installations sont des immeubles à usage tertiaire et des locaux de service, on notera parmi ceux-ci les deux restaurants et le poste d'alimentation électrique du Centre.

Intendance (bâtiment 115)		
Description	Fourniture de carburants aux véhicules circulant sur le Centre de Cadarache.	

Restaurants 1 et 2		
Description	Capacité d'accueil = 1750 personnes Nombre moyen de repas servis chaque jour = 4 500 en semaine, 30 le week-end Personnel = 85	

Poste 63 kV		
Description	Poste de livraison d'électricité haute tension du Centre. Type « Sous Enveloppe Métallique », alimenté par 2 lignes aériennes 63kV. 3 transformateurs 63/15kV de 36MVA 3 jeux de barres 15kV géographiquement distincts.	

Sur le site, à l'extérieur des zones clôturées, se trouve le château de Cadarache, monument historique du XV^{ème} siècle. Restauré par le CEA, il sert à présent de maison d'hôte et accueille également des séminaires et conférences.

A proximité du château se trouvent les locaux de L'Institut national des sciences et techniques nucléaires (INSTN). C'est un établissement public d'enseignement supérieur, rattaché au CEA et placé sous la tutelle conjointe du ministère de l'Enseignement supérieur et de la recherche et du ministère de l'Économie, des Finances et de l'Emploi.

Il forme des techniciens, ingénieurs et chercheurs dans des disciplines scientifiques et technologiques de pointe non dispensées par les universités et les écoles d'ingénieurs.

L'INSTN accueille chaque année dans ses locaux de Cadarache environ 150 étudiants en formation initiale et par alternance et 1 100 stagiaires en formation continue, dans plus d'une cinquantaine de filières. L'effectif permanent est de 18 personnes.



Le château et les locaux de l'INSTN

1.3 Météorologie et climatologie

La connaissance fine des conditions météorologiques et climatiques est importante pour les études d'impact. Elle permet en effet de connaître et de modéliser les déplacements des masses d'air autour des installations et ainsi de pouvoir appréhender la dispersion des rejets atmosphériques (gazeux et particules en suspension).

1.3.1 Généralités

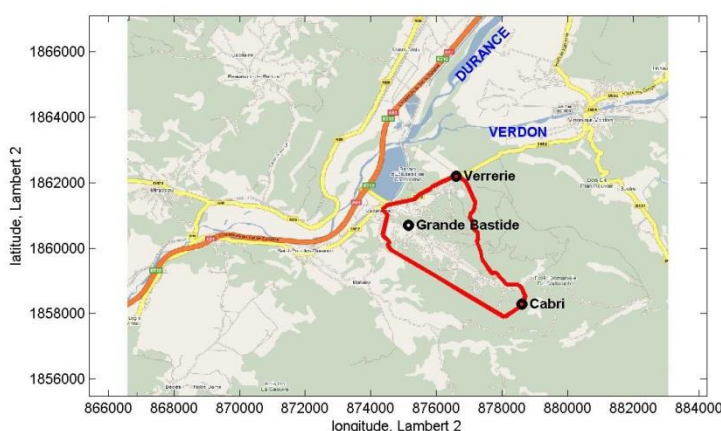
Le site est situé à l'aval de la confluence de la Durance et du Verdon, peu avant un rétrécissement très marqué au niveau du défilé de Mirabeau. La vallée de la Durance y joue un rôle important dans les écoulements de masses d'air. Elle est orientée nord-est sud-ouest au nord de Cadarache et passe est-ouest après le défilé Mirabeau.

Le climat de la région de Cadarache est de type semi-continentale ; il constitue une transition entre le climat méditerranéen et les climats alpin et rhodanien.

D'une manière générale, le climat du bassin de la moyenne Durance est caractérisé par de forts contrastes diurnes et annuels (température, humidité, vent), un air très sec à certains moments de l'année, des vents locaux placés sous l'influence prépondérante du relief (brises de vallées).

La climatologie du site de Cadarache est suivie par trois postes météorologiques : les stations de la Verrerie, de la Grande Bastide (station équipée d'un pylône de 110m) et de Cabri.

Ces mesures sont complétées par celles d'une station météorologique (dite Xaria) exploitée suivant les règles de Météo-France et dont les données sont transmises en continu vers le Centre Météorologique Régional de Marignane. Cette dernière est située au lieu-dit de la Verrerie, à proximité immédiate de celle du CEA.



Implantation des postes météorologiques sur
le site de Cadarache (Nord ↑)

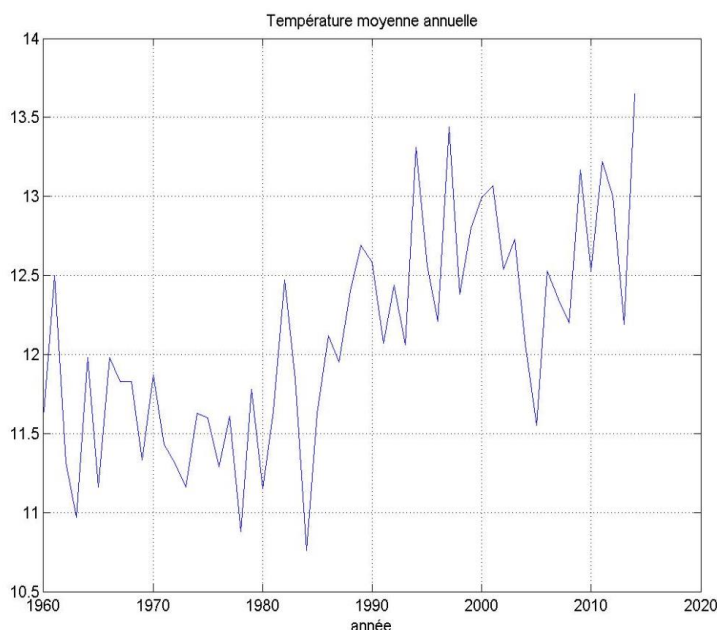


Station Xaria

1.3.2 Températures

On dispose des valeurs mesurées à 2 mètres du sol sur les stations depuis 1960, dans un premier temps archivées sur support papier puis sur support informatique (début des années 90). Elles permettent de calculer des températures moyennes annuelles présentées dans la figure ci-contre.

Pour avoir les données représentatives de la situation actuelle, on limite la période étudiée aux 15 dernières années 2000-2014 dans la suite de cette étude. Ceci permet de disposer d'un échantillon de plus de 500 000 mesures de température moyennées sur 10 minutes, dont le tableau ci-après est tiré.

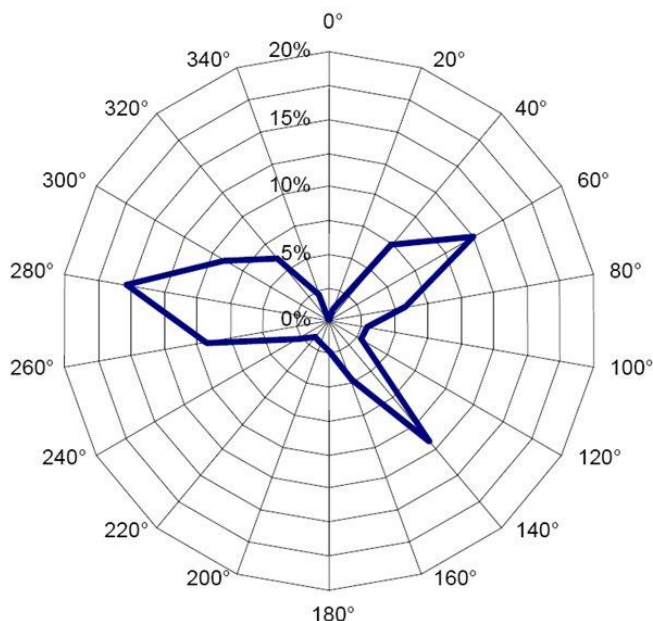


Température minimum	-14.7°C	Le 20/12/2001 à 07h10	
Température maximum	44.5°C	Le 08/08/2003 à 11h40	
Température moyenne annuelle	12.7°C	minimum	maximum
		11.6°C (2005)	13.7°C (2014)
Moyenne janvier	3.3°C	1.2°C (2002)	5.9°C (2001)
Moyenne février	4.3°C	0.5°C (2012)	6.6°C (2002)
Moyenne mars	8.3°C	6.2°C (2005)	10.3°C (2001)
Moyenne Avril	11.8°C	10.6°C (2004)	13.5°C (2007 et 2011)
Moyenne mai	16.1°C	13.8°C (2013)	18.9°C (2009)
Moyenne juin	20.4°C	17.6°C (2007)	23.7°C (2003)
Moyenne juillet	22.7°C	20.6°C (2000)	24.6°C (2010)
Moyenne août	22.1°C	19.5°C (2007)	24.9°C (2003)
Moyenne septembre	17.8°C	16.2°C (2002)	19.5°C (2011)
Moyenne octobre	13.6°C	11.6°C (2003)	16.3°C (2001)
Moyenne novembre	7.8°C	5.4°C (2005)	10.4°C (2014)
Moyenne décembre	3.7°C	0.5°C (2005)	6.6°C (2000)

Températures moyennes et extrêmes de la période 2000-2014

1.3.3 Direction et vitesse du vent

Sur Cadarache, la direction et la vitesse du vent sont mesurées aux trois stations météorologiques de la Verrerie (à 15 m au-dessus du sol), Cabri (à 10 m au-dessus du sol) et Grande Bastide (à 10 et 110 m au-dessus du sol).



Rose des vents mesurée à 110m à la Grande Bastide

Pour lire la rose des vents : un exemple

Le point à 280° est à environ 15%. Cela signifie que 15% des vents viennent de cette direction à +/- 10° (donc entre 270 et 290°).

0° correspond au nord, 90° à l'est, 180° au sud et 270° à l'ouest.

La mesure à 110m est représentative des écoulements qui règnent dans la vallée de la Durance.

Cette rose des vents présente 3 directions principales :

- Le vent d'ouest/nord-ouest correspond aux conditions de Mistral et de brise sur Cadarache, il correspond aux vents les plus forts pour le Mistral et est généralement associé à des conditions sèches et diffusives (diffusion normale, DN).
- Le vent de sud-est souvent constaté en conditions de pluie, il est traditionnellement appelé « Marin ».
- Le vent de nord-est qui est spécifique à la vallée de la Durance.



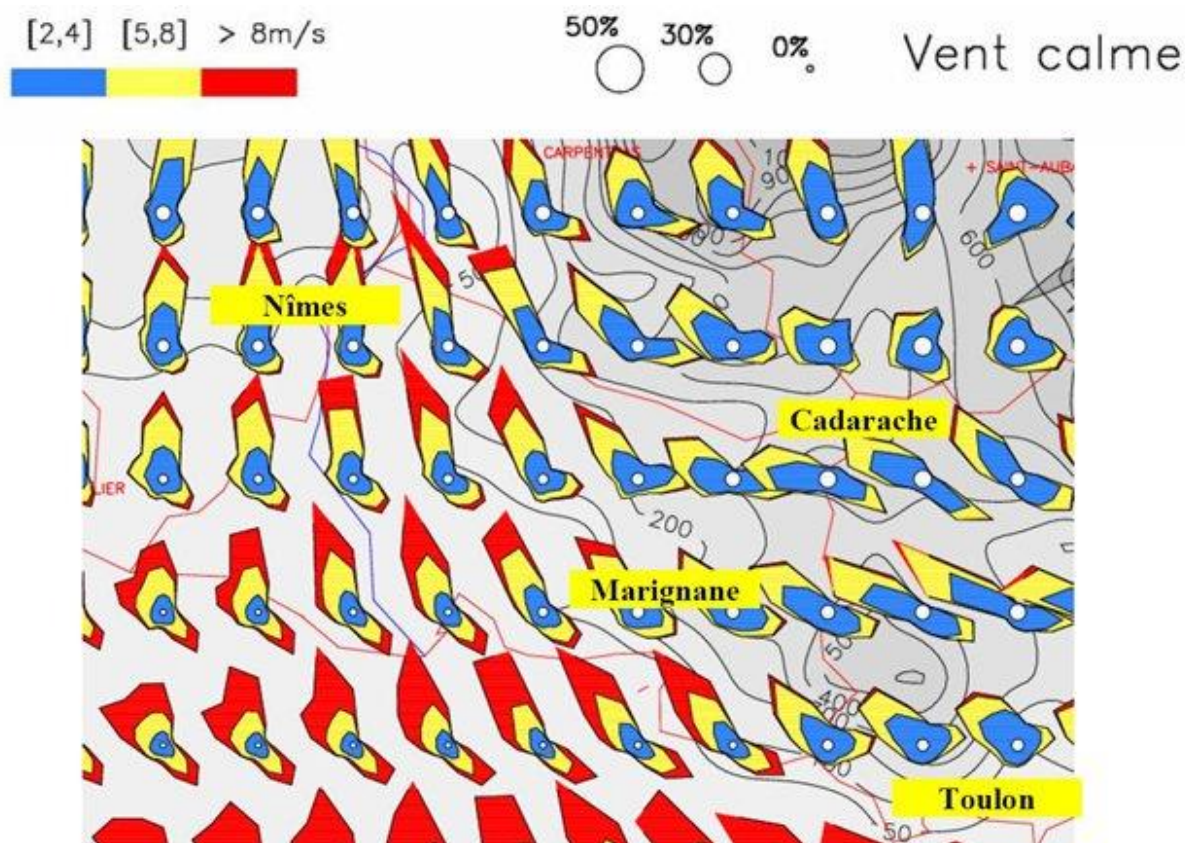
Mât de la grande bastide

Le vent de nord-est est essentiellement constaté de nuit et a très probablement une origine thermique (**vent catabatique**). Ce vent peut changer de direction au voisinage du sol en suivant la ligne de plus grande pente au niveau du sol.

Vent catabatique :

Vent gravitationnel produit par le poids d'une masse d'air froid dévalant un relief géographique. Les vents catabatiques les plus violents et les plus spectaculaires se rencontrent près des Pôles. Néanmoins, ils ne sont pas limités aux régions polaires : il en existe aussi dans les vallées montagneuses lorsque la nuit, l'air d'altitude est refroidi beaucoup plus intensément que celui au fond de la vallée. L'air froid plus dense, sous l'effet de son propre poids, dévale alors rapidement le long des pentes de la vallée.

La rose des vents est représentative des conditions de vent dans l'environnement immédiat (quelques kilomètres) ; à une plus grande échelle les conditions de vent sont très différentes.



Variation de la rose des vents sur la région PACA

On constate sur le schéma ci-dessus :

- la réorientation du Mistral qui passe d'une direction nord dans la vallée du Rhône, à une direction ouest dans le secteur de Cadarache ;
- l'atténuation de la force du vent dans le secteur de Cadarache avec l'augmentation de la probabilité de vents calmes ;
- dans une moindre mesure, l'apparition du vent de nord-est en vallée de la Durance.

Le vent seul ne permet pas d'avoir une perception exacte de la circulation des masses d'air, il faut également connaître le gradient thermique vertical (c'est-à-dire la variation de la température avec l'altitude) qui donne une indication des conditions de stabilité atmosphérique.

On considère que si le gradient vertical thermique est inférieur ou égal à $-0.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, alors les conditions atmosphériques sont diffusives (diffusion normale, DN) et si le gradient thermique est supérieur à $-0.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ les conditions sont stables (diffusion faible, DF).

Les conditions de stabilité atmosphérique pour la zone de Cadarache sont estimées à partir de la mesure du gradient thermique au niveau de la station de la Grande Bastide. Cette donnée est déduite de l'écart des températures mesurées entre le sommet du mât (110 m) et sa base à 2 m.

De manière générale on constate sur Cadarache une forte probabilité de conditions stables, associées à des conditions de vent faible.

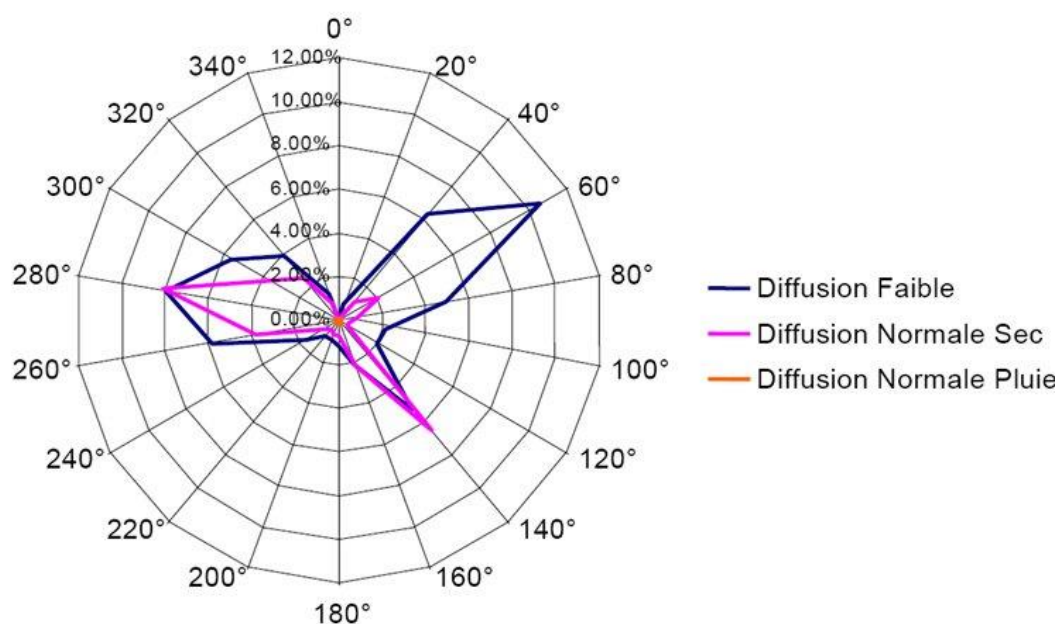
Les mesures indiquent de fréquentes inversions thermiques (la température en hauteur est supérieure à celle au sol), mais la mesure de température n'étant effectuée qu'en deux points distants il n'est pas possible de connaître avec précision la hauteur de la couche d'inversion. L'observation ponctuelle de panache de fumées à proximité du site, permet de confirmer l'existence d'une couche d'inversion de hauteur de quelques dizaines de mètres.



Inversion thermique au-dessus du bassin de Cadarache

La condition de vent doit aussi être corrélée à la présence ou à l'absence de pluie, qui modifie la stabilité atmosphérique et influence le dépôt au sol.

En tenant compte de ces éléments, on obtient les roses des vents présentées ci-après.



Rose des vents à la Grande Bastide 110m présentée par condition de stabilité

Ce sont ces roses des vents qui sont utilisées dans les calculs d'impact des rejets gazeux.

1.3.4 Précipitations

1.3.4.1 Pluie

Cadarache connaît un régime de pluie correspondant au climat méditerranéen, avec des étés secs et les plus fortes pluies à l'automne. Les pluies sont le plus souvent intenses et brèves.

Les hauteurs de précipitation sont mesurées par :

- un relevé journalier et manuel d'un pluviomètre à lecture directe ;
- l'enregistrement automatique des basculements d'un pluviomètre automatique à coupelle.



Pluviomètre à coupelle

A gauche pluviomètre à lecture directe

Le pluviomètre à coupelle donne également des indications sur le débit de pluie, mais il est moins fiable que le pluviomètre à lecture directe (perturbations en cas d'orage, bouchage, etc.). Ces deux moyens sont donc complémentaires.

Le tableau suivant donne les hauteurs de pluie mois par mois à la station de la Verrerie pour la période 2000-2014 (relevé journalier) :

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
2000	2	9	83	114	38	61	31	20	108	83	167	53
2001	88	86	61	36	115	4	6	3	49	41	27	8
2002	42	55	38	37	222	77	48	49	98	39	188	38
2003	56	12	12	73	25	2	0	42	57	103	100	114
2004	37	26	10	29	21	12	0	50	35	98	17	62
2005	7	0.5	32	71	55	73	9	16	112	55	56	58
2006	69	27	35	17	12	3	80	41	93	30	25	85
2007	15	29	17	41	78	73	2	13	12	21	50	23
2008	56	34	27	87	128	73	1	19	73	94	112	188
2009	52	39	38	107	62	44	2	17	92	46	53	101
2010	83	72	72	43	59	113	1	38	38	139	70	64
2011	30	30	71	45	6	93	66	22	75	60	272	12
2012	27	0	0	102	99	8	15	17	45	160	145	38
2013	38	20	149	81	96	3	78	21	34	48	36	109
2014	167	123	31	28	21	49	47	52	37	72	149	21
moyenne	51	38	45	61	69	46	26	28	64	73	98	65

Hauteur de pluie mensuelle (en mm/mois)

On constate de fortes variations d'une année sur l'autre, avec globalement un maximum de précipitations entre septembre et décembre.

La pluie peut entraîner un dépôt au sol accéléré d'éléments qui se trouvent en suspension dans l'air. Pour les calculs d'impact des rejets atmosphériques, il est donc important de connaître avec précision le débit de pluie instantané et la durée de la pluie.

1.3.4.2 Phénomènes électriques associés aux précipitations

D'une manière générale, les phénomènes orageux sont fréquents dans la région. Les renseignements fournis par Météorage permettent de comparer le site de Cadarache, avec les moyennes observées pour le reste de la France (base de données allant de 1988 à 1993). Le nombre d'impacts de foudre par an dans un rayon de 10 km est de 567 dans la région de Cadarache, deux fois plus que la moyenne française. Le nombre d'impacts de très forte intensité (> 100 000 A) est de 16 à comparer à 11 pour la moyenne nationale.



Episode de février 2002

1.3.4.3 Neige

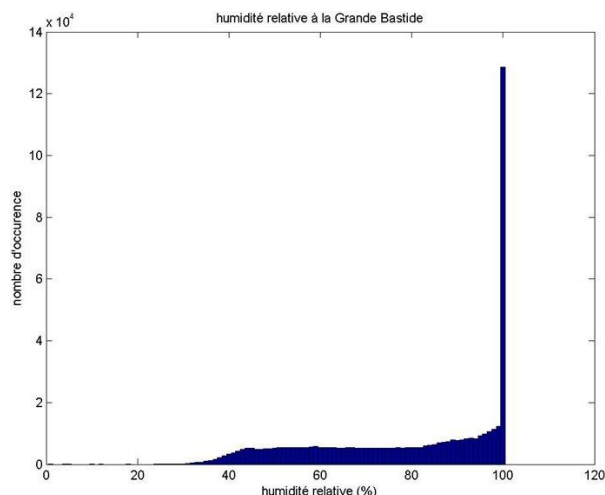
Dans la région PACA, on recense 40 épisodes neigeux à une altitude inférieure à 500 m pour la période 1970-2002. Seize de ces épisodes ont donné une hauteur de neige supérieure à 10 cm.

Pour les années postérieures, à Cadarache, des épisodes neigeux ont été relevés en janvier et février 2003, en décembre 2004, en février et décembre 2005, en janvier 2006, en novembre 2007, en janvier et décembre 2009, en janvier et février 2010 (données issues d'une étude spécifique réalisée par Météo-France).

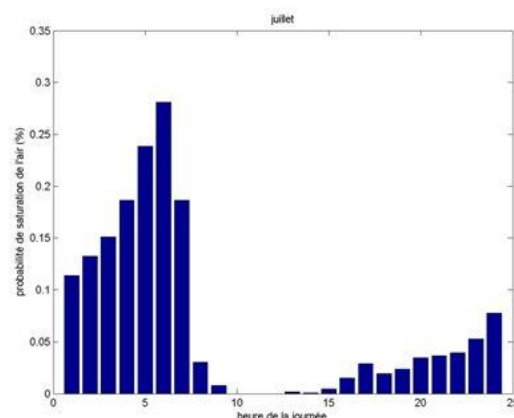
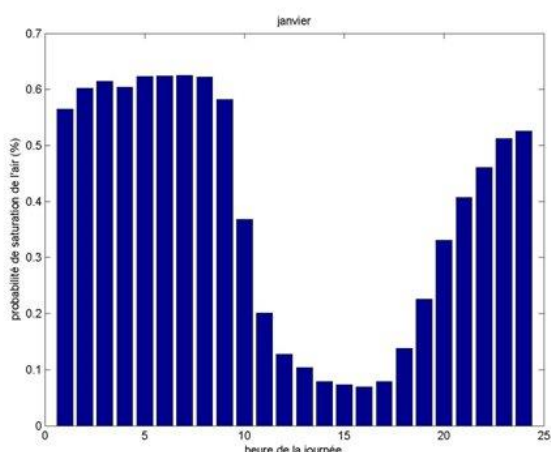
La densité moyenne de la neige est voisine de 0,1 c'est-à-dire que 1 cm de neige équivaut à 1 mm de précipitation. La densité de la neige atteint 0,2 dans le cas de neige collante.

1.3.4.4 Humidité relative

La figure ci-contre présente l'histogramme d'humidité relative mesurée à la station de la Grande Bastide pour la période 1999 à 2009. On y constate une forte probabilité (environ 24% du temps) de conditions saturées qui peuvent correspondre à des conditions de brouillard. Cette situation est souvent liée aux conditions d'inversion thermique qui sont propices à l'apparition de brouillard dit « de rayonnement ». En se refroidissant au contact du sol l'air atteint son point de rosée entraînant la formation d'une nappe de brouillard. Cette situation est particulièrement fréquente au niveau de la Grande Bastide du fait de sa position en fond de vallée.

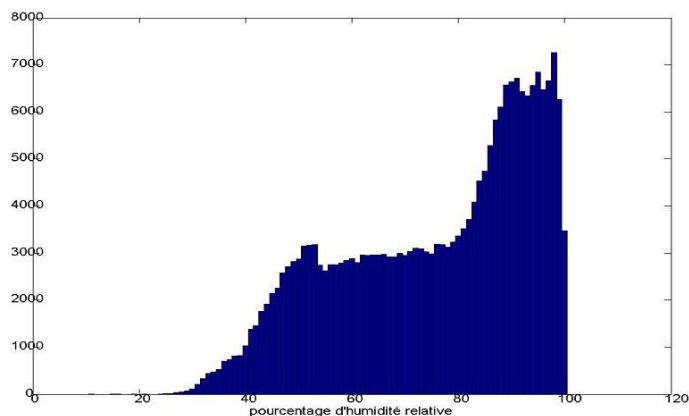


La probabilité d'atteindre des conditions saturées en humidité est variable pendant l'année, elle est maximale (de l'ordre de 40 %) pour les mois d'automne. De même, la probabilité de saturation de l'air en humidité, suit un cycle journalier. Les deux diagrammes journaliers ci-dessous présentent les situations des mois extrêmes.



Evolution de la probabilité de saturation de l'air en humidité (Grande Bastide)

Cette situation est liée au positionnement en fond de vallée de la station. On ne constate pas le même phénomène au niveau de la station de Cabri (située sur une colline) où la probabilité de saturation en humidité n'est que de 6 %. En effet, en l'absence de vent, et donc de turbulences qui auraient tendance à brasser la masse d'air, l'air froid, plus dense, sédimente en fond de vallée (brise de pente), on parle alors d'inversion de subsidence.



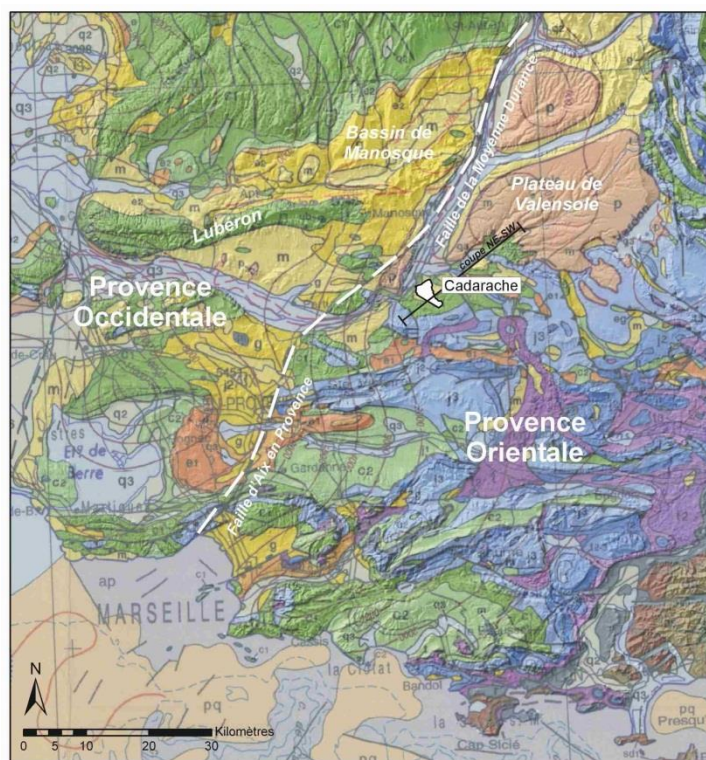
Humidité relative à la station météorologique de Cabri

L'humidité relative moyenne est d'environ 80%, en raison des fortes chutes de température nocturnes, des phénomènes de condensation peuvent se produire.

1.4 Géologie

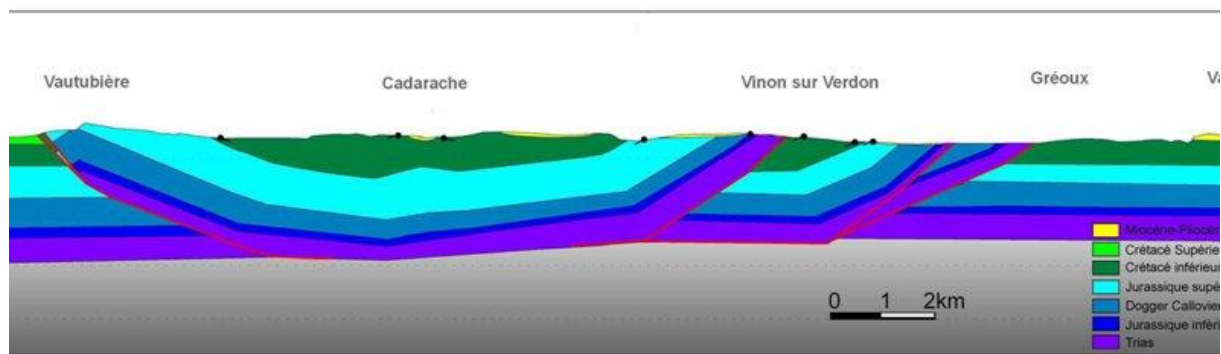
1.4.1 Contexte général

A l'échelle régionale, le site de Cadarache se déploie en bordure ouest de la « Provence Orientale » au sens géologique du terme, c'est-à-dire à l'est de la Moyenne Durance. L'épaisseur des sédiments déposés et préservés depuis le début de l'ère secondaire, il y a environ 250 millions d'années, est d'environ 2 km. Cette caractéristique contraste fortement avec la « Provence Occidentale » (ouest de la Moyenne Durance) où cette épaisseur sédimentaire pourrait atteindre, voire dépasser, les 10 km. La transition entre ces deux domaines, aux comportements mécanique et tectonique différents, se fait par le système de failles de la Moyenne Durance. Ce système de failles, majeur à l'échelle régionale, se localise à quelques kilomètres à l'ouest du site de Cadarache.



Carte géologique de la Provence

A une échelle intermédiaire, en analysant une coupe NE-SW, le site de Cadarache se situe entre deux plis de rampe : les chevauchements de Vinon-Gréoux au nord (déversés vers le nord) et le pli de la Vautubière au sud (déversé vers le sud).



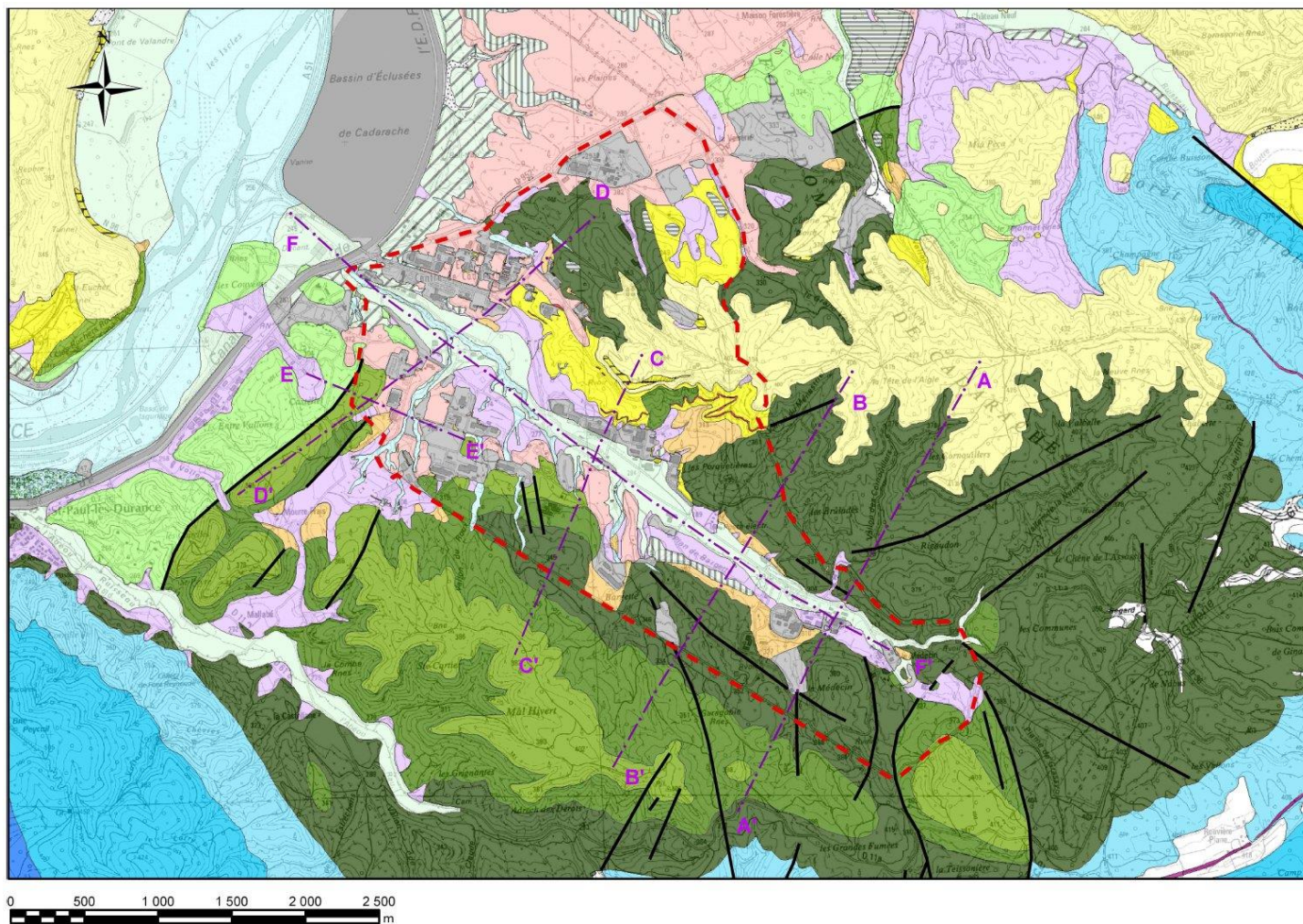
Coupe NE-SW (l'emplacement de la coupe est repéré sur la figure précédente)

Entre ces deux structures, on peut dénombrer 3 vallées principales, avec du nord au sud :

- la vallée du ruisseau de Boutre ;
- la vallée de la Bête ;
- la vallée de l'Abéou.

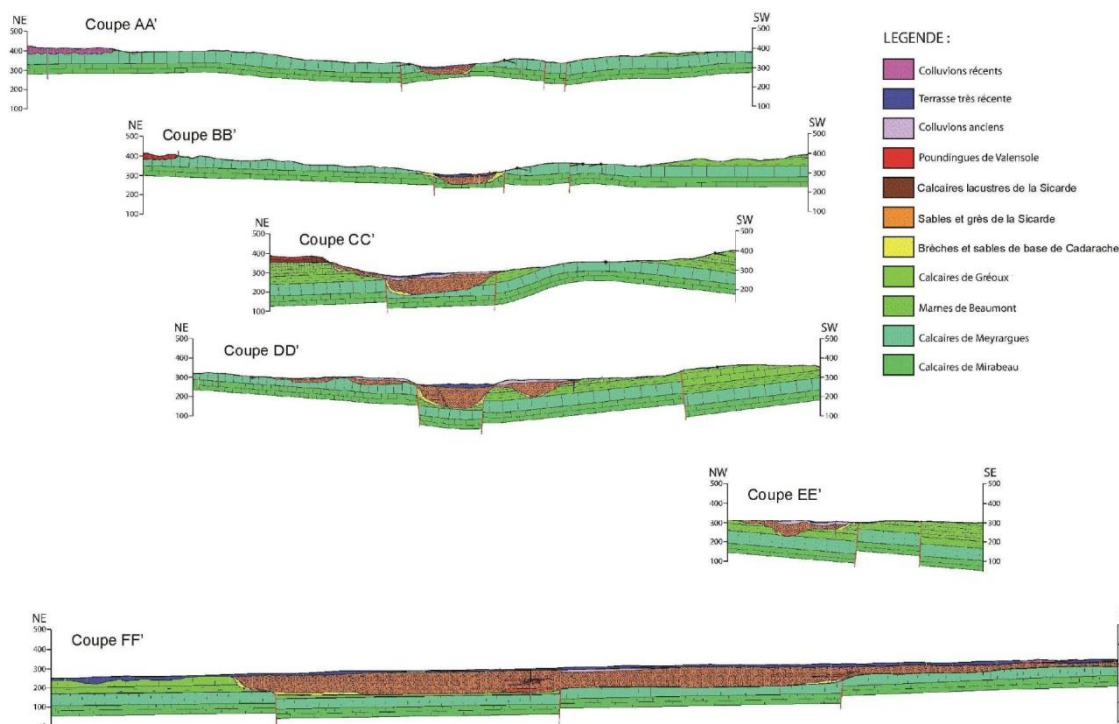
Le Centre de Cadarache est majoritairement situé dans la vallée centrale qu'emprunte le ruisseau de la Bête, vallée rebaptisée « vallée des Piles » à la création du Centre.

A l'échelle locale, d'autres vallées secondaires sont des tributaires de celle de la Bête (vallon de Mourre Frais et de Bargette notamment). La vallée actuelle emprunte globalement le tracé ancien d'une vallée plus profonde, aujourd'hui comblée de sédiments (on parlera de « paléovallée »).



Carte géologique de Cadarache et sa légende

		<p>--- Position des coupes sérieuses</p> <p>--- Clôture du Centre de Cadarache</p> <p>— Failles</p>
Cénozoïque	Quaternaire	<p>Remblais / ouvrage hydraulique</p> <p>Colluvions actuels</p> <p>Colluvions récentes</p> <p>Colluvions anciennes</p> <p>Alluvions actuelles</p> <p>Terrasse très récente</p> <p>Terrasse récente</p> <p>Terrasse ancienne</p> <p>Terrasse très ancienne</p> <p>Travertins (village de Saint Paul)</p> <p>Quaternaire indifférencié</p>
	Tertiaire	<p>Pliocène</p> <p>Miocène (Messinien) ou Pliocène (Zandéen)</p> <p>Miocène (Messinien) ou Pliocène (Zandéen)</p> <p>Âge incertain (Eocène à Miocène)</p> <p>Poudingues de Valensole II</p> <p>Calcaires lacustres de la Sicarde</p> <p>Sables et grès de la Sicarde</p> <p>niveaux bréchiques caractéristiques</p> <p>Brèches et sables de base de Cadarache</p>
	Mésozoïque (secondaire)	<p>Valanginien inférieur</p> <p>Berriasien terminal / Valanginien basal</p> <p>Berriasien supérieur</p> <p>Tithonien à Berriasien moyen</p> <p>Oxfordien sup. à Kimméridgien</p> <p>Calcaires de Gréoux</p> <p>faciès très carbonaté</p> <p>faciès marno-calcaire</p> <p>Marnes de Beaumont</p> <p>Calcaires de Meyrargues</p> <p>Calcaires de Mirabeau, membre sup.</p> <p>niveaux marnaux fossilifères</p> <p>Calcaires de Mirabeau, membre inf.</p> <p>Calcaires de Malaurie</p>



Coupes géologiques (les localisations des coupes sont indiquées sur la carte géologique de Cadarache)

1.4.2 Formations rencontrées

Les paléovallées du site ont été creusées dans des formations carbonatées du Secondaire (Mésozoïque). Sur Cadarache, on identifie trois unités principales (des plus anciennes aux plus récentes) :

- les **calcaires** de Meyrargues épais de 50 à 60 mètres ;
- les **marnes** de Beaumont dans lesquelles s'intercalent de petits bancs de **calcaire** d'épaisseur centimétrique ; leur épaisseur est d'une quarantaine de mètres ;
- les **calcaires** de Gréoux épais de 60 à 80 mètres.

Les formations du Secondaire affleurent sur une bande d'environ 300 m de large au nord du site dans la zone ITER, au niveau de la plateforme du Tokamak.

Les formations tertiaires sont les suivantes (des plus anciennes aux plus récentes) :

- les **brèches** et sables de base de Cadarache, à la base du remplissage de la paléovallée et sur ses flancs, ces **brèches** sont surmontées de sables jaunes ;

Alluvions : Sédiment des cours d'eau et des lacs composés, selon les régions traversées et la force du courant, de galets, de graviers et de sables en dépôts souvent lenticulaires.

Brèches et poudingues : Ce sont des roches détritiques, c'est-à-dire issues de la dégradation mécanique d'autres roches, généralement sédimentaires, parfois volcaniques, constituées de fragments unis par un ciment naturel. Tandis que les poudingues agglomèrent des éléments arrondis (galets) qui traduisent un transport long avant sédimentation, les brèches contiennent des éléments anguleux (temps de transport court).

Calcaires : Roche sédimentaire carbonatée contenant au moins 50% de calcite CaCO_3 .

Colluvions : Dépôt de bas de pente, relativement fin, et dont les éléments ont subi un faible transport, à la différence des alluvions.

Grès : Roche sédimentaire détritique composée à 85% au moins de grains de quartz plus ou moins arrondis.

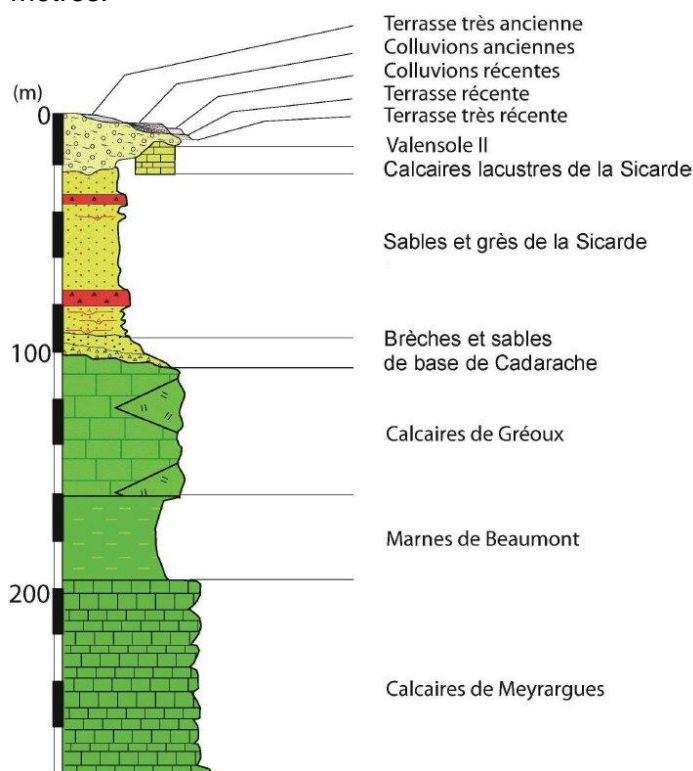
Marnes : Roche sédimentaire constituée d'un mélange de calcaire et d'argile.

- les sables et grès de la Sicarde, de près de 100 m d'épaisseur, où alternent des sables limoneux à dominante rouge et ces mêmes sables transformés en **grès**. Il s'agit de la principale formation de remplissage (en termes de volume) de la paléovallée de Cadarache ;
- les **calcaires** lacustres de la Sicarde. On les rencontre sur la colline du Maladroit (à peu près au milieu du site sur la rive droite du Ravin de la Bête), sur une épaisseur d'une dizaine de mètres ;
- les **poudingues** de Valensole. Généralement, il s'agit de galets d'origine durancienne, altérés à dominante jaune et joints par une matrice. L'épaisseur de cette formation varie de 25 à 50 mètres.

Les formations quaternaires sont nombreuses et organisées en terrasses et cônes de déjection. Les terrasses forment des aplanissements plus ou moins marqués dans le paysage et sont, pour certaines, étagées. Les cônes de déjections (ou colluvions) sont disposés de manière étagée au débouché des vallées et reposent sur les terrasses. On dénombre cinq unités alluviales et deux formations de colluvions dans la vallée de Cadarache :

☞ les unités alluviales

- la terrasse très ancienne, constituée de galets duranciens, forme des replats généralement situés entre 320 et 323 mètres d'altitude ;
- la terrasse ancienne est caractérisée par un conglomérat n'affleurant qu'en position de relief ou dans les fonds de vallon. Son épaisseur varie de 4 m en amont à 10 m en aval et elle se situe entre 269 et 278 mètres d'altitude ;
- la terrasse récente, formée par un conglomérat hétérogène à matrice sableuse grise, est localisée entre 259 mètres d'altitude (depuis l'entrée du Centre) et 273 mètres ;
- la terrasse très récente, composée d'éléments fins (**alluvions**) et grossiers (grèzes), constitue les bords de la plaine alluviale de la Durance. Elle n'affleure donc pratiquement jamais et est difficilement dissociable de la terrasse récente. Lorsqu'elle est bien différenciée, elle se situe entre 258 et 260 mètres d'altitude (Château de Cadarache) ;



Stratigraphie type de Cadarache

- les **alluvions** actuelles, formées de galets, d'argiles et limons, elles correspondent au lit majeur de la Durance, aux « ravins » actuels, etc. ;

☞ les formations de **colluvions**

- les **colluvions** anciennes, caractérisées par des dépôts fins limoneux ainsi que des reliquats de roches fracturées par le gel, se présentent sous forme de tabliers d'éboulis. Les travaux sur le chantier du projet AGATE en ont révélé une formation dépassant 10 mètres d'épaisseur. Inclus dans cette formation, des calcaires travertineux¹ ont été découverts à l'est de la Maison Forestière ;
- les **colluvions** récentes, également constituées de débris de roches fracturées par le gel ainsi que de dépôts sableux et argileux, ne s'organisent pas en tabliers comme les formations de colluvions anciennes mais s'observent plus particulièrement en position de talus en bordure des terrasses très récentes.

La datation approximative de ces différentes formations est présentée dans le tableau ci-après.

Eres	Système ou Période		Séries ou époques	Âges (MA)	Age des formations de Cadarache	Evènements non géologiques
Quaternaire			Holocène actuel Pléistocène	1,8	Formations quaternaires	Homo sapiens
CENOZOÏQUE (Tertiaire)	NEOGENE		Pliocène	5,3	Poudingues (-3,6 / -1,9) ; Sicarde (-7/-5)	Glaciations
			Miocène	23	Brèches et sables de base (-40/-7)	Homo habilis
	PALEOGENE		Oligocène	23		Anthropoïdes
			Eocène	34		
				Paléocène	54	
MESOZOÏQUE (Secondaire)	CRETACE		Crétacé supérieur	65	Formations du secondaire (-140/145)	Fin des dinosaures
			Crétacé inférieur			Plantes à fleurs
	JURASSIQUE		Jurassique supérieur	145		Oiseaux
			Jurassique moyen			Premiers mammifères
			Jurassique inférieur			
	TRIAS			195		Premiers dinosaures
	PALEOZOÏQUE (Primaire)	PERMIEN			235	
SUP		CARBONIFERE	Carbonifère supérieur	290		reptiles, insectes
		DEVONNIEN		Dévonien supérieur	340	Amphibiens
				Dévonien moyen		Fougères
			Dévonien inférieur		Poissons	
INF		SILURIEN		400		Plantes terrestres
		ORDOVICIEN		Ordovicien supérieur	440	
				Ordovicien moyen		
				Ordovicien inférieur		
		CAMBRIEN		500		
ANTECAMBRIEN				570		
				3200		Apparition de la vie
				4600		Formation de la terre

Échelle géologique et âge de mise en place des différentes formations géologiques de Cadarache

¹ Les travertins sont des roches sédimentaires calcaires à aspect concrétionné. Ils se déposent aux émergences de certaines sources, et dans les cours d'eau peu profonds à petites cascades : ils sont dus à la précipitation de carbonates, qui est activée par les turbulences et la perte de CO₂.

1.4.3 Contexte tectonique et reconstruction de l'histoire géologique du site

Vers -84 millions d'années, au Crétacé et jusqu'à la fin de l'Eocène (-23 millions d'années), le régime tectonique devient compressif, en raison d'un changement du mouvement relatif du bloc ibérique et du bloc européen. C'est la phase dite « pyrénéo-provençale » qui donne notamment naissance à la chaîne des Pyrénées. A cette époque, le bloc Corse-Sardaigne ne s'était pas encore détaché du continent : une chaîne de montagne se prolongeait à l'est des Pyrénées actuelles, à la position de l'actuel Golfe du Lion. Une haute chaîne de montagne existait au sud de la Provence actuelle. C'est dans ce contexte que de nombreuses structures tectoniques de la Provence se sont mises en place. Le raccourcissement a d'abord induit une déformation cassante précoce, puis un plissement accompagné de failles inverses à petite et grande échelle (rampes et chevauchements). La mise en place du chevauchement de Vinon-sur-Verdon et de la Vautubière date de cette période. Le Luberon prend lui aussi naissance lors de cette phase pyrénéo-provençale mais son histoire se prolongera ultérieurement.

A la fin de l'Eocène et pendant l'Oligocène, le régime tectonique devient extensif. Le bloc corso-sarde se sépare du continent. En Provence, des failles induisent la création de fossés - ou graben - (bassin de Manosque par exemple). La paléovallée de Cadarache correspond probablement à un petit graben, bordé de failles qui ne sont plus actives aujourd'hui.

Au Miocène, le régime tectonique global redevient compressif et c'est au tour des Alpes de se former. A la latitude de Cadarache, les accidents de la Provence orientale sont peu réactivés, à l'inverse de ceux de la Provence occidentale (notamment le Luberon). La Durance charrie en grande quantité les produits de l'érosion des Alpes, des galets notamment qui vont former les poudingues de Valensole. Ceux-ci sont présents sous le Belvédère de Cadarache. Leur dépôt s'achève vers -2 millions d'années.

Le Quaternaire se caractérise par l'alternance de périodes glaciaires et interglaciaires très marquées impliquant des modifications du niveau de base du réseau hydrographique local. Il en résulte la mise en place de différents niveaux de terrasses, étagées ou emboîtées.

1.4.4 Risques en lien avec la géologie

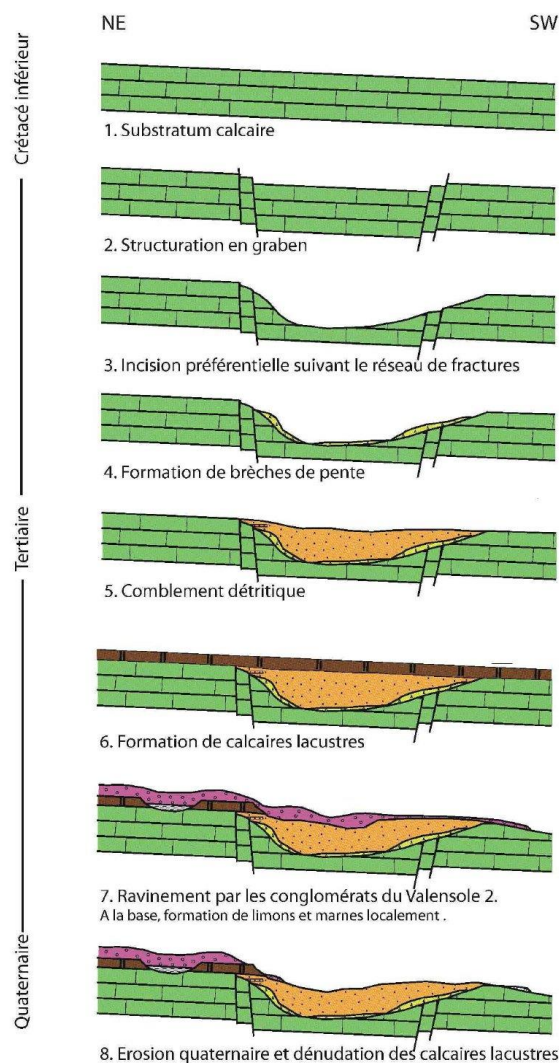
Outre le séisme et les remontées de nappes phréatiques traitées dans d'autres paragraphes, deux risques sont liés à la géologie : la **karstification** et la liquéfaction des sols.

La karstification est la conséquence de la dissolution progressive de roches calcaires sous l'effet de la circulation d'eau. Cumulée sur de très longues périodes, elle peut conduire à la formation de cavités souterraines qui peuvent potentiellement s'effondrer et provoquer des dommages aux installations de surface.

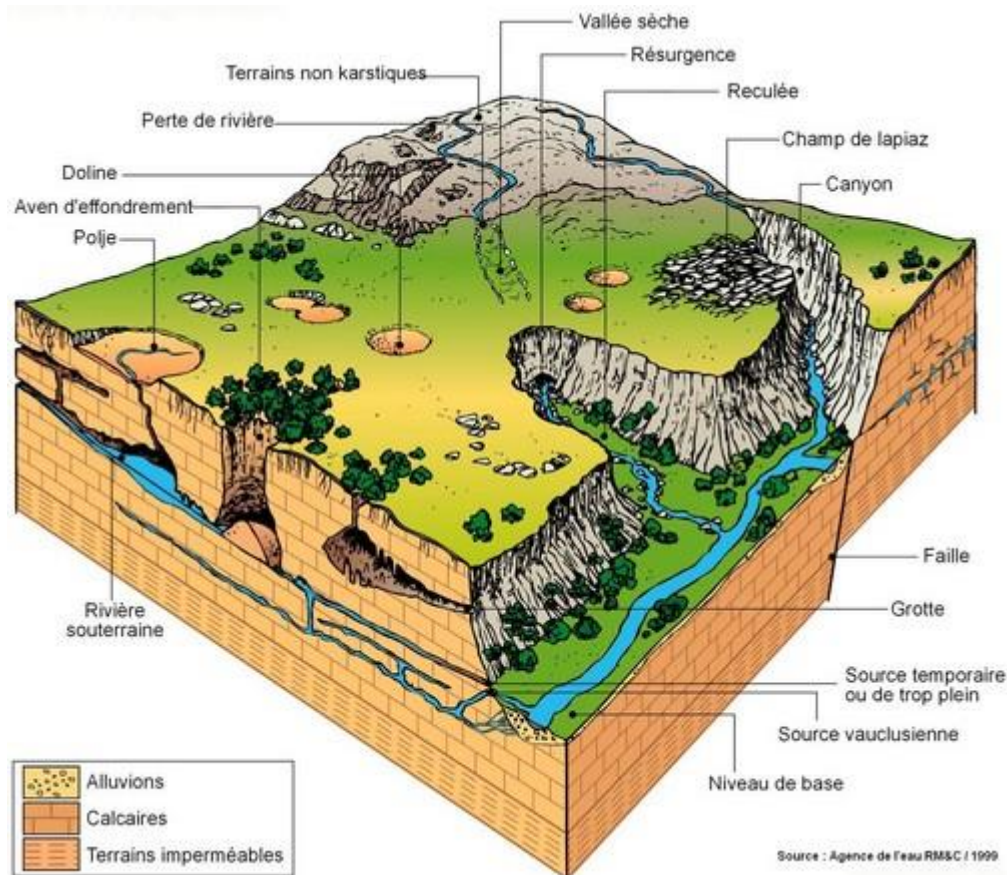
Sur le site de Cadarache, les formations carbonatées du Crétacé présentent une **karstification** peu développée. Des cavités décimétriques à métriques ont toutefois pu être mises en évidence dans les formations crétacées, mais également dans les brèches de base. Par « propagation » de ces cavités vers le haut par effondrements successifs (phénomène de « fontis »), il ne peut être exclu de trouver des cavités dans les autres formations de remplissage de la paléovallée. Des méthodes permettent à présent de détecter ces cavités : micro-gravimétrie, radar géologique, tomographie sismique, inspections télévisuelles. En cas de présence de cavités potentiellement dommageables pour le génie civil des constructions neuves, elles peuvent être traitées par des dispositions adaptées (par exemple injection de matériau de substitution).

La liquéfaction est un phénomène qui se produit sous sollicitation sismique. Le passage d'une onde sismique provoque, dans certaines formations géologiques, la perte de résistance d'un matériau sableux saturé en eau, liée à une augmentation de la pression interstitielle engendrée par les déformations cycliques. La déconsolidation brutale du matériau se traduit par la déstructuration du sol, rendant particulièrement instables les constructions reposant sur ces formations.

Le risque de liquéfaction est exclu pour les installations fondées sur les formations crétacées, de même que celles fondées sur les brèches de base. Pour les autres installations, des analyses spécifiques sont réalisées afin d'évaluer le risque et de déterminer les parades si nécessaire.



Histoire géologique possible de Cadarache



Modelé karstique (source : <http://www.rhone-mediterranee.eaufrance.fr/>)

Karst : De la région du Karst, en Croatie. Plateau calcaire ayant une topographie souterraine particulière due à la dissolution de certaines parties du sous-sol (karstification) et au cheminement des eaux dans les galeries naturelles ainsi formées.

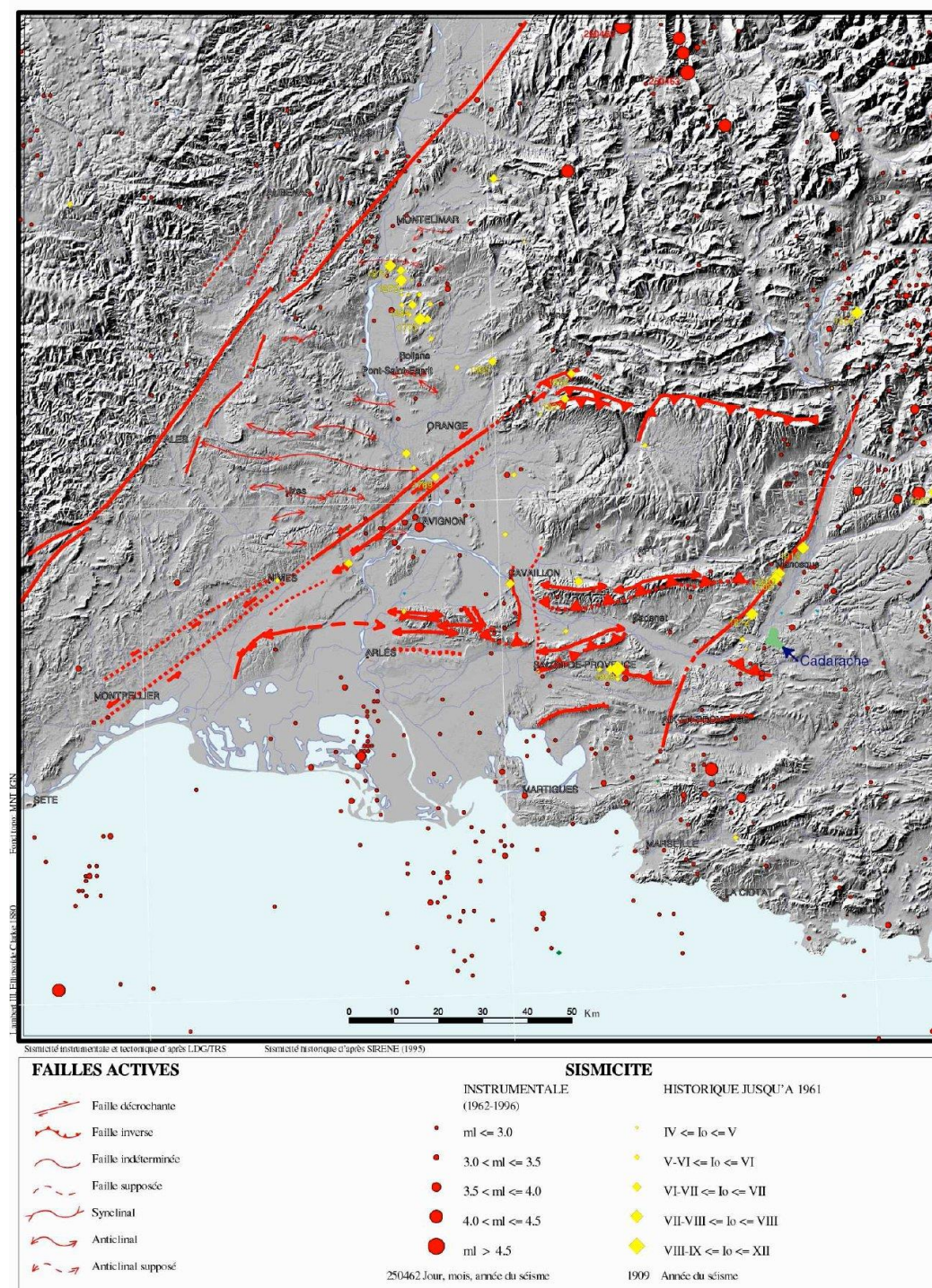
Karstification : Dissolution progressive de roches calcaires sous l'effet de la circulation d'eau chargée de gaz carbonique.

1.5 Sismologie

1.5.1 Analyse du contexte sismotectonique

La sismicité historique et instrumentale de la Provence

La figure suivante présente les épicentres des séismes documentés par leurs effets ou enregistrés par les stations sismologiques. Elle utilise l'échelle MSK (Medvedev Sponheuer Karnik – MSK-1964).



Séismicité historique du sud-est de la France

L'intensité

L'intensité macrosismique décrit les effets d'un séisme donné en un endroit donné. Pour un même séisme, l'intensité diminue à mesure que l'on s'éloigne de la source du séisme. Il existe plusieurs échelles macrosismiques. Celle utilisée actuellement en Europe est l'échelle EMS98 qui a remplacé l'échelle MSK. Ces deux échelles sont très proches et comportent l'une et l'autre 12 degrés (I à XII), écrits en chiffres romains afin de bien différencier intensité et magnitude. Le degré I correspond aux secousses les plus faibles, à peine ressenties, le degré XII aux secousses les plus fortes, celles ayant entraîné une destruction totale des bâtiments.

La magnitude

La magnitude est l'énergie libérée par un séisme : c'est une mesure intrinsèque au séisme, indépendante du lieu d'observation, des témoignages de la population. La notion de magnitude a été introduite en 1935 par l'Américain Charles Francis Richter pour les séismes locaux californiens afin d'estimer l'énergie libérée au foyer d'un tremblement de terre et pouvoir ainsi comparer les séismes entre eux. On parle depuis de « l'échelle de Richter ». La magnitude n'est toutefois pas une échelle en degrés mais une grandeur continue (représentée par des chiffres pouvant avoir une partie décimale), qui peut être négative ou positive et, en principe, n'a pas de limites. En réalité, sa valeur minimale est liée à la sensibilité du sismographe. Un sismographe très sensible peut enregistrer une magnitude de l'ordre de -2, équivalente à l'énergie dégagée par la chute d'une brique sur le sol d'une hauteur de 1 mètre. Quant aux plus gros séismes, on estime que sur la Terre, compte tenu des dimensions des plaques tectoniques, il semble très peu probable qu'un séisme d'une magnitude supérieure 9,5 puisse survenir. La magnitude est une grandeur logarithmique : un séisme de magnitude 6 libère 30 fois plus d'énergie qu'un séisme de magnitude 5 ; un séisme de magnitude 7 libère 30 fois plus d'énergie qu'un séisme de magnitude 6, et donc près de 1000 fois plus d'énergie qu'un séisme de magnitude 5, et ainsi de suite.

Intensité	Dégâts observés
I	Secousse imperceptible.
II	Secousse rarement perceptible ; quelques personnes au repos ressentent le séisme.
III	Secousse faible , ressentie par quelques personnes à l'intérieur des habitations.
IV	Secousse largement observée , pas de dégâts.
V	Secousse forte . Séisme ressenti en plein air. Les dormeurs se réveillent. Dégâts mineurs.
VI	Dégâts légers . Les meubles sont déplacés.
VII	Dégâts . Meubles déplacés, chute d'objets, Fissures dans les habitations.
VIII	Dégâts importants . Difficile de tenir debout. Les cheminées des maisons tombent.
IX	Destructions . Les maisons s'écroulent. Les canalisations souterraines sont cassées.
X	Destructions importantes . des ponts et des digues. Les rails de chemin de fer sont tordus.
XI	Catastrophe . Les constructions les plus solides sont détruites. Grands éboulements.
XII	Catastrophe généralisée . Maximum concevable.

Echelle EMS98

Le catalogue instrumental donne une idée assez précise et complète des séismes qui se sont produits dans la région depuis 1962, tandis que le catalogue historique est plus incertain et incomplet mais il répertorie probablement convenablement les effets des séismes majeurs depuis 600 à 700 ans. Les **intensités** observées peuvent atteindre VII (MSK) assez régulièrement réparties dans la région provençale. Les **intensités** supérieures à VII sont assez isolées, le maximum répertorié étant l'intensité de IX, atteinte une seule fois à proximité de Lambesc en 1909.

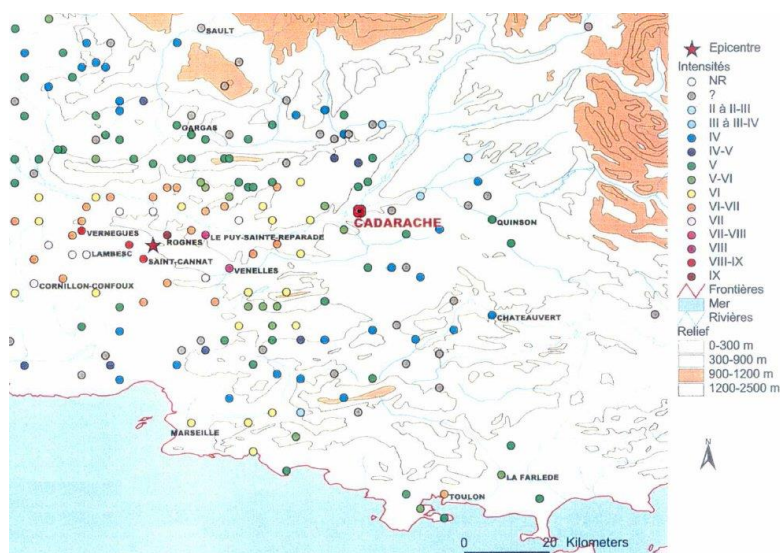
La sismicité enregistrée en Provence est diffuse et de faible magnitude pendant la période de 1962 à nos jours. La plupart des séismes détectés ont une **magnitude** locale (ML) inférieure à 3,5 et seulement 6 événements ont une **magnitude** locale comprise entre 3,5 et 4,4. On citera par exemple :

- ouest d'Avignon (25/02/1986) ML = 3,7 ; intensité épicentrale I_0 = V
- nord-est de Marseille (31/10/1973) ML = 3,6
- sud-est de Gardanne (19/02/1984) ML = 4,4 ; intensité épicentrale I_0 = VI

Cette sismicité met en évidence le caractère actif d'un certain nombre de structures comme la faille de la Durance, le système de Costes-Trévaresse ou la faille de Nîmes. En dehors des lieux situés dans un rayon de quelques kilomètres des épicentres majeurs, les intensités maximales répertoriées ne dépassent que rarement le degré V, signe d'une activité modérée.

La vallée de la Moyenne Durance a été secouée par plusieurs crises importantes depuis le début du 16^{ème} siècle. En 1509, l'intensité VIII a été atteinte dans le secteur de Manosque. Une crise assez similaire s'est produite en 1708. Le choc principal du 14 août (I_0 = VIII), bien que ressenti jusqu'à une centaine de kilomètres, n'a provoqué des dégâts que dans une zone très restreinte. En 1812 c'est à une quinzaine de kilomètres au sud-ouest (Beaumont-de-Pertuis) que l'activité s'est déplacée (I_0 = VII-VIII). D'aire macrosismique à peu près identique au séisme de Manosque, cet événement a été suivi d'une soixantaine de répliques ressenties uniquement dans les environs immédiats de Beaumont. Le dernier événement significatif remonte au 14/05/1913 à 15 km au nord-est de l'essai de 1708 (région de Volx I_0 = VII-VIII). Les aires macrosismiques de tous ces séismes apparaissent relativement limitées eu égard aux intensités épicentrales. Ce fait est confirmé par deux séismes instrumentaux mineurs localisés respectivement à Beaumont-de-Pertuis et Volx (26/1/1967 ; ML = 3,3 et 26/12/1979 ; ML = 3,0) qui ont atteint l'intensité V.

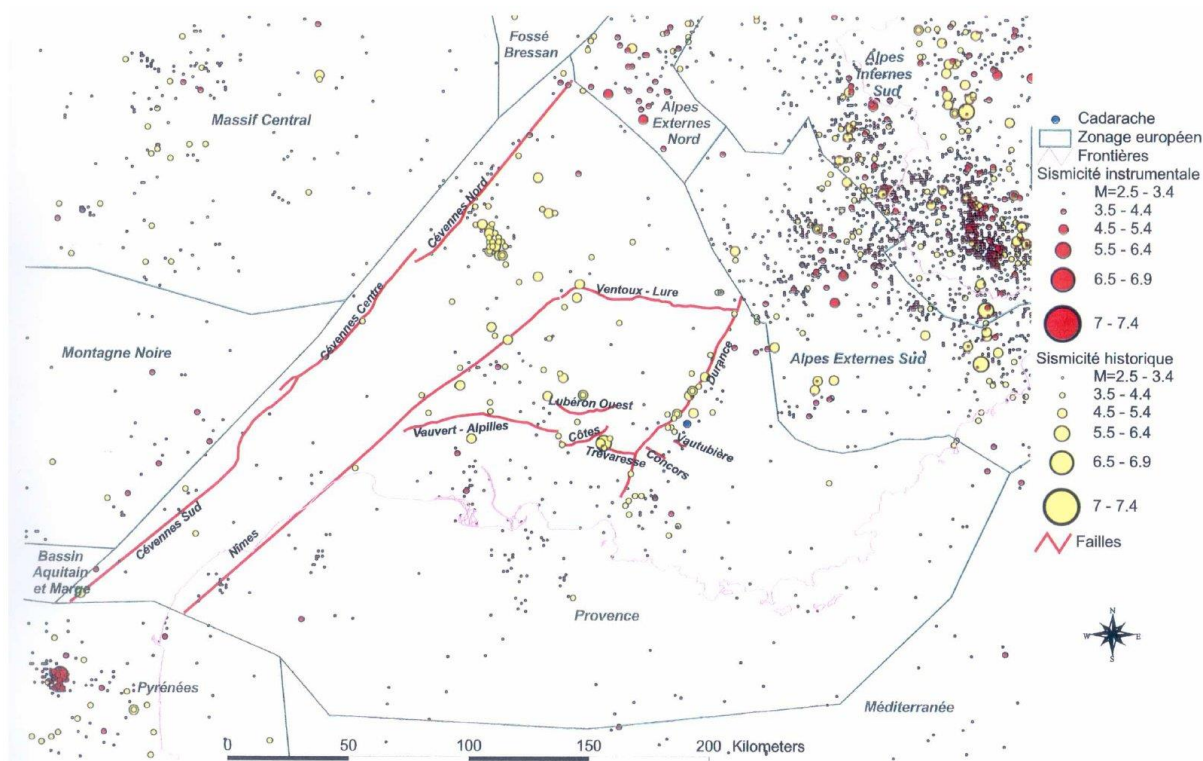
Alors que plusieurs séismes d'intensité inférieure à VII se sont produits dans la région de Cavaillon (1731, 1763, 1863), c'est surtout le système de Costes-Trévaresse qui retient l'attention par la présence du seul séisme provençal d'intensité supérieure à VIII (Lambesc, 11/06/1909 I_0 = VIII-IX). Ressenti de la Ligurie aux Pyrénées orientales ce tremblement de terre a provoqué des destructions très importantes dans un rayon de 10 km autour de son épicentre (I_{max} = IX). L'intensité V atteinte dans la basse vallée du Rhône, distante de 80 km, a été localement dépassée jusqu'à 250 km de l'épicentre, essentiellement dans des sites alluvionnaires.



Séisme de Lambesc en 1909

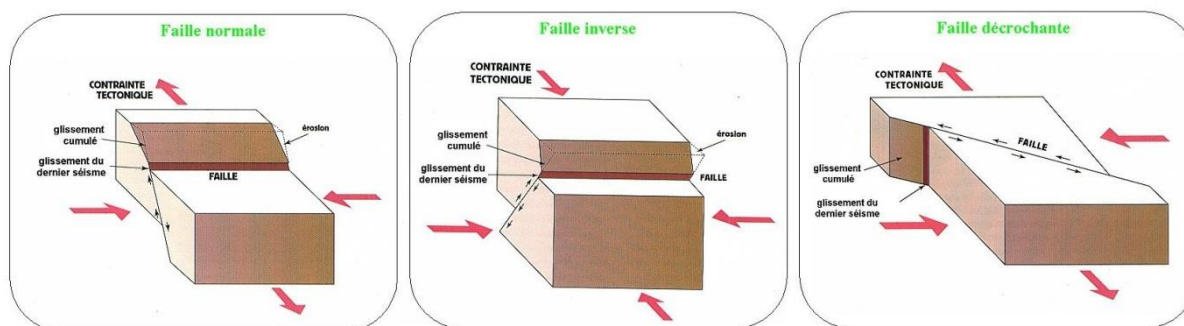
1.5.2 Sismotectonique de la Provence

Les accidents sismogènes connus et particulièrement bien exprimés dans la morphologie sont la faille des Cévennes, la faille de Nîmes, le système de Costes-Trévaresse, du Luberon, du Ventoux - Montagne de Lure et la faille de la Durance. Ces accidents délimitent un large panneau de couverture mésozoïque. Les structures d'orientation est-ouest sont compressives (Mont Ventoux et Montagne de Lure au nord, Luberon, Costes et Trévaresse au sud) et les accidents de direction nord-est de la Durance à l'est, des Cévennes et de Nîmes à l'ouest, sont décrochants.



Failles et sismicité

La faille de la Durance joue en faille normale à l'Oligocène, lors de l'ouverture de la mer Ligure, puis est réactivée en faille décrochante sénestre avec une composante inverse. Cet accident constitue l'un des traits majeurs des Alpes méridionales. Plusieurs indices de déformations post-Miocène ont été mis à jour dans les secteurs de Volx et Manosque, certains probablement associés à des paléoséismes.



Les différents types de failles

Le pendage de cette faille est d'environ 60° ouest. Etant donné le pendage vers l'ouest de la faille, la distance la plus courte entre un point du site de Cadarache et la faille est mesurée directement entre ce point et la trace de la faille en surface, soit 5 kilomètres.

Des indices de déformations de surface ont cependant été relevés par analyse de scènes SPOT² et de la topographie numérique. Des analyses ont été menées sur les tranchées réalisées à proximité de la trace supposée de la faille. Ces tranchées montrent des déformations mio-pliocènes principalement sur des accidents secondaires qui semblent associés à la faille de la Durance. La tranchée de Manosque-Valveranne révèle une faille inverse à pendage est, située à environ 1 km de distance de la trace de la faille de la Durance. Le plan axial du pli est assimilé à la trace d'une faille inverse et la déformation verticale observée dans cette tranchée pourrait correspondre à un paléoséisme survenu entre 26 000 ans et 9 000 ans, avec un glissement cosismique de 1,2 m. Ce paléoséisme se serait initié sur la faille de la Durance, décrochante. En estimant la longueur et la largeur de la faille de la Durance et en utilisant comme glissement cosismique moyen la valeur du glissement inverse déterminé dans la tranchée, on en déduit une magnitude maximale de 6,8.

On admet aujourd'hui que le séisme destructeur du 11 juin 1909 ($I_0 = VIII-IX$, $I_{max}=IX$ magnitude = 5,5) s'est produit sur le système de Costes-Trévaresse. Les fortes intensités observées auraient résulté d'effets de site. Les données macrosismiques sont compatibles avec une profondeur épacentrale de 5 km environ. Étant donné certaines incertitudes sur cet événement et la segmentation des failles, une magnitude caractéristique de 6 est proposée pour ces structures.

Les failles potentiellement actives en Provence sont répertoriées dans le tableau suivant qui mentionne en outre les magnitudes estimées des séismes historiques ou instrumentaux qui ont pu être associés à l'une ou l'autre d'entre elles. Les failles considérées comme actives mais sans séismes importants connus se voient attribuer les mêmes séismes caractéristiques que les failles voisines du même type.

Le tableau présente des magnitudes maximales majorées et leurs périodes de retour obtenues, en tenant compte des données paléosismiques. Ce sont les magnitudes les plus fortes qui ont été retenues (magnitudes caractéristiques) en prenant les valeurs maximales possibles déduites de données paléosismiques, ou en majorant systématiquement les magnitudes maximales observées au cours de la période historique.

Le nombre de segments est estimé en comparant la longueur de chaque faille avec la longueur typique de la zone de rupture associée à un séisme de magnitude correspondante en se référant aux lois d'échelle les plus récentes.

² SPOT : Satellite pour l'observation de la Terre.

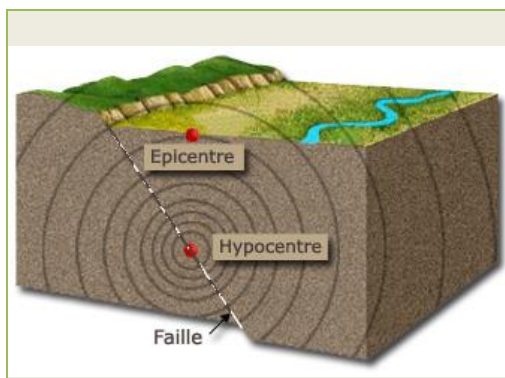
Faille	Longueur (km)	Type (*)	Magnitude maximale observée	Magnitude du séisme caractéristique	Nombre de segments	Profondeur focale (km)	Période de retour par faille (an)
Durance	100	D	5,3	7,0	2	10	13 000
Ventoux - Lure	76	C	5,5	7,0	2	10	13 000
Cévennes nord	100	D	5,3	7,0	2	10	13 000
Cévennes centre	81	D	5,3	7,0	2	10	13 000
Cévennes sud	134	D	5,3	7,0	3	10	9 000
Nîmes	200	D	5,3	7,0	5	10	5 300
Luberon ouest	27	C	5,5	6,5	1	5	2 600
Vauvert - Alpilles	66	C	5,5	6,5	3	5	900
Costes	23	C	5,5	6,0	2	5	450
Trévaresse	14	C	5,5	6,0	1	5	900
Concors	9	C	5,5	6,0	1	5	900

Type * : D = Décrochement, C = Chevauchement

1.5.3 Détermination des séismes enveloppe

La méthodologie de détermination des séismes enveloppes et des spectres associés est définie par l'Autorité de sûreté nucléaire (RFS 2001-01, téléchargeable sur www.asn.fr).

Les séismes de référence sont obtenus en déplaçant dans leur position la plus pénalisante les séismes maximaux historiquement connus associés à chaque faille ou zone. Le séisme historique caractéristique de la faille de la moyenne Durance (ML = 5,3) ramené au point le plus proche du site à une distance épacentrale de 5 kilomètres, soit à une distance **hypocentrale** de 7,1 kilomètres s'avère être le plus pénalisant, c'est donc le Séisme Maximum Historiquement Vraisemblable (SMHV).



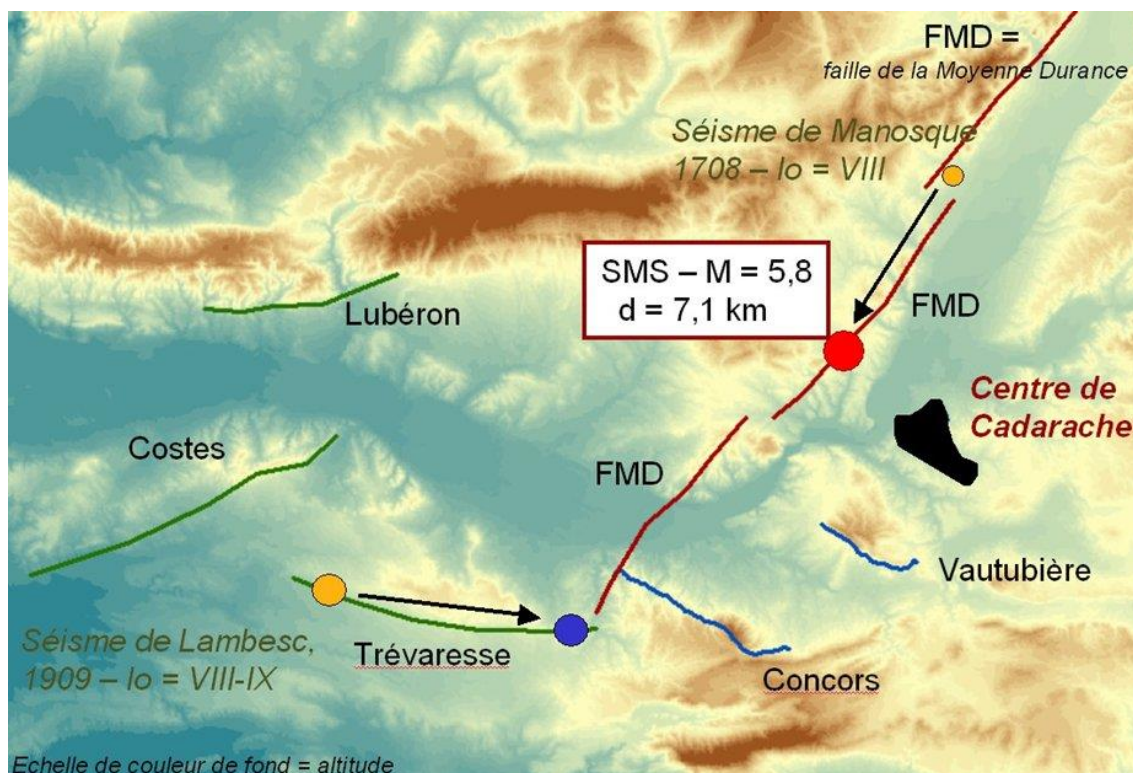
Hypocentre

Lors d'un séisme, on désigne par hypocentre (ou foyer) le point de départ de la rupture sismique sur la faille. La projection de l'hypocentre sur la surface terrestre s'appelle l'**épicentre**.

Cet événement induirait une intensité au site de VII-VIII (MSK). On notera que ce séisme couvre les effets induits sur le site de Cadarache par le séisme de Lambesc déplacé sur la structure chevauchante est-ouest la plus proche.

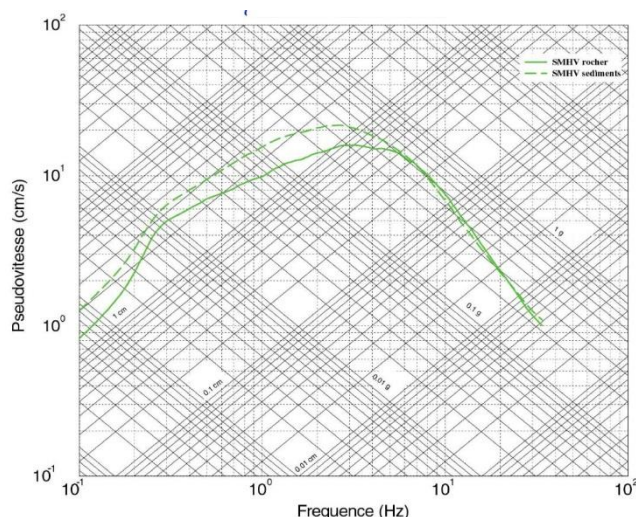
Pour obtenir le séisme qui servira de référence pour la conception des bâtiments, on augmente arbitrairement la magnitude du SMHV de 0,5. Ce séisme majoré est appelé Séisme Majoré de Sécurité (SMS).

Le SMS est donc un séisme de **magnitude** locale 5,8 à la même position **hypocentrale**, induisant une **intensité** VIII-IX (MSK) au niveau du site.



Les spectres retenus sont présentés dans la figure ci-contre.

Les spectres sont définis pour un amortissement de 5%, calculés à partir des coefficients de corrélation donnés par la RFS. Le spectre SMHV est calé à environ 0,2 g en hautes fréquences avec un maximum de 0,5 g entre 5 et 10 Hz dans le cas de sites à vitesse de cisaillement V_{s30} supérieure à 800 m/s. Pour les sites correspondants à des vitesses plus faibles, la valeur de 0,5 g intéresse une plage de fréquences de 4 à 9 Hz.



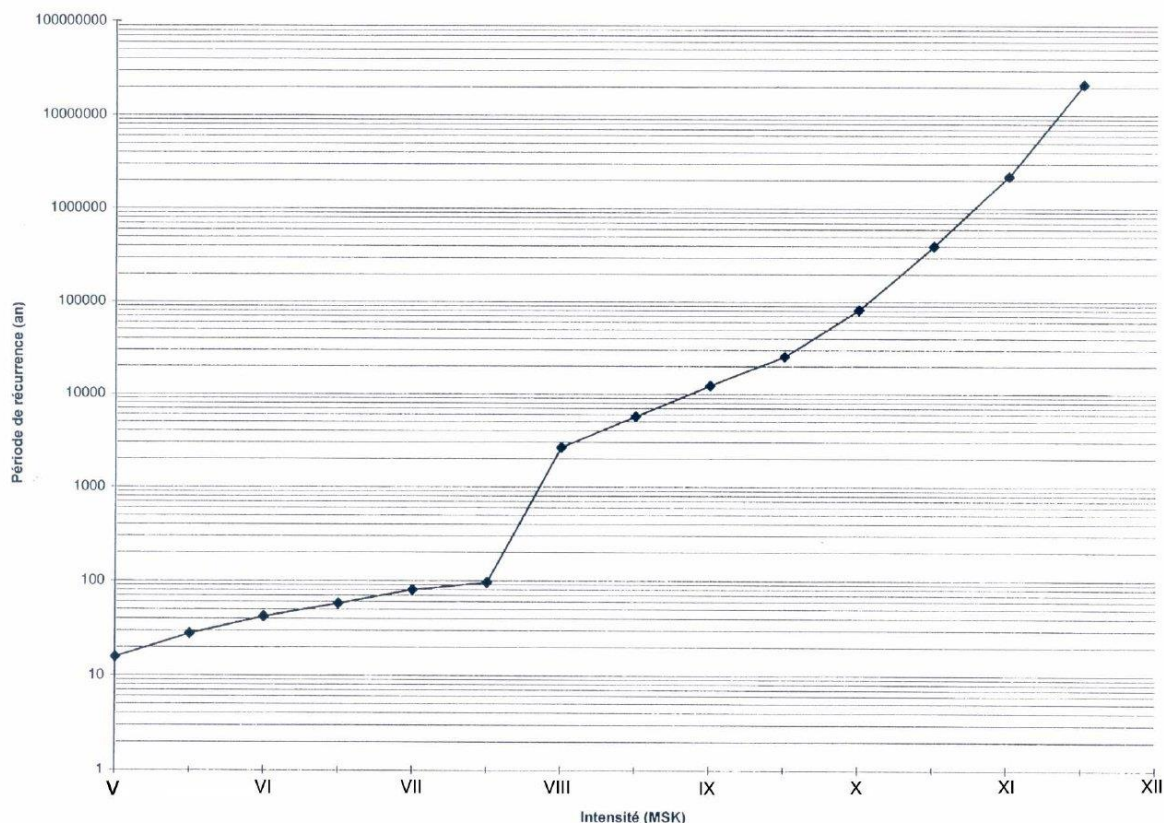
Spectres du SMHV

1.5.4 Prise en compte des paléoséismes

Dans cette démarche, tous les séismes potentiels sont simulés et leur probabilité d'occurrence est calculée. On en déduit ensuite les périodes de retour des intensités par cumul.

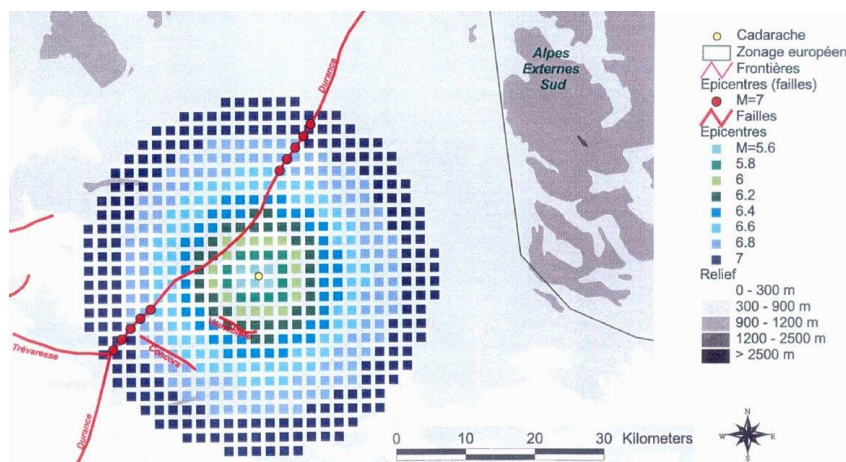
Les périodes de retour sont calculées sur la base de la distribution fréquence - magnitude observée pendant des périodes historiques et instrumentales, à l'intérieur de chaque zone sismotectonique.

Les résultats de calcul sont présentés dans le graphique suivant.



Prise en compte du paléoséisme : intensités et temps de retour associé

La période de retour sur le site de Cadarache serait de l'ordre de 2 500 ans pour l'intensité VIII et de 13 000 ans pour l'intensité IX. L'absence d'intensités au site supérieures à VII-VIII dans l'échantillon historique est donc compatible avec la petite période couverte par cet échantillon (estimée à 650 ans dans la région) et n'exclut donc pas la possibilité de séisme de plus forte magnitude que celles connues pendant la période historique. Afin de retrouver un niveau de risque comparable à celui attribué au SMS au paragraphe précédent, il faut retenir les séismes correspondant à une intensité IX sur le site de Cadarache. La distribution en distance et magnitude correspondante s'étend d'une magnitude 5.6 en champ proche jusqu'à une magnitude 7 à une distance épiscopentrale d'au moins 15 km. Les séismes simulés, sur les failles majeures ou dans les domaines de sismicité diffuse qui contribuent à cette distribution, sont présentés dans la figure suivante.



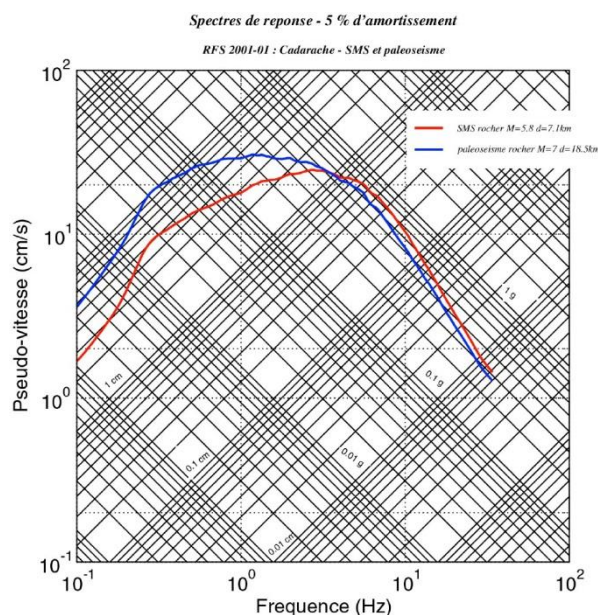
Distribution des séismes produisant des intensités IX

Il ressort que, dans l'hypothèse où des séismes de magnitude supérieure aux séismes maximaux connus pourraient se produire, on pourrait atteindre le niveau d'intensité du SMS aussi bien lors de séismes proches comparables à un séisme de magnitude 5,8 obtenu à l'étape précédente par majoration de 0,5 de la magnitude du SMHV, que lors de séismes plus lointains mais de plus forte magnitude.

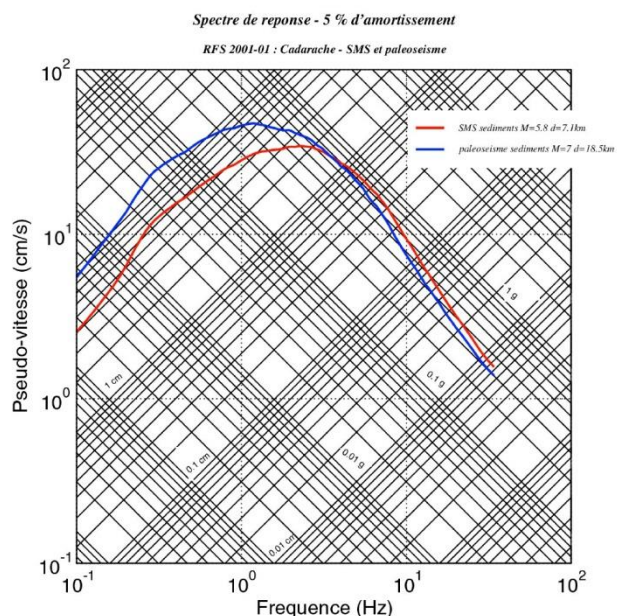
Le spectre SMS ne couvre pas complètement les niveaux de pseudo-accélération attendus aux basses fréquences pour de tels paléoséismes.

Pour couvrir les mouvements sismiques sur l'ensemble de la gamme fréquentielle utile, on doit retenir, pour la conception des installations, le spectre enveloppe défini par le SMS et un séisme de magnitude 7 situé à 18,5 km. L'enveloppe de ces spectres est supérieure aux spectres forfaitaires minimaux imposés par la RFS 2001-01.

Un séisme de référence « lointain » de magnitude $M_s = 6$, comparable à la magnitude du séisme de Lambesc majorée de 0,5 (SMS), à une distance hypocentrale de 16,5 km donne des spectres de réponses inférieurs à celui de magnitude 7 situé à 18,5 km.



Cas avec $V_{s30} > 800$ m/s



Cas avec $300 < V_{s30} < 800$ m/s

Les valeurs de séismes présentées ci-avant ont reçu l'approbation de l'Autorité de sûreté nucléaire en 2001 et sont prises comme hypothèses pour les calculs de tenue au séisme des installations.

1.5.5 Effets de site

Les effets de site sont des amplifications locales des mouvements sismiques dues à la rhéologie des formations superficielles et/ou à des configurations géométriques défavorables.

Dans la majorité des cas, l'amplification potentielle est à imputer à la présence de couches de géométrie plane de qualité mécanique moindre que le substratum sous-jacent. On parle dans ce cas d'effets de site « standard », à ne pas confondre avec les d'effets de site « particuliers » qui seront introduits plus loin. Ces effets de site sont pris en compte en mesurant la vitesse de propagation moyenne des ondes de cisaillement dans les 30 premiers mètres de sol sous l'assise de l'installation considérée (paramètre V_{s30}). En cas de V_{s30} supérieures à 800 m/s, on choisira des spectres de réponse de type « rocher ». En cas de V_{s30} comprises entre 300 m/s et 800 m/s, on choisira des spectres de réponse de type « sédiment ». Le cas où le paramètre V_{s30} est inférieur à 300 m/s constitue l'un des cas où la présence éventuelle d'un effet de site particulier doit être examinée plus spécifiquement.

Une cinquantaine de mesures de distribution de vitesse de cisaillement ont été réalisées en différents points du Centre de Cadarache, essentiellement avec des mesures de type « cross-hole ». L'examen systématique de ces données permet aujourd'hui d'aboutir aux conclusions suivantes :

- le cas où V_{s30} est inférieur à 300 m/s peut être exclu,
- les installations construites sur les formations calcaires du Mésozoïque présentent des V_{s30} en général supérieures à 2 000 m/s : le choix de spectres « rocher » est sans équivoque ;
- les installations construites sur les « Brèches et Sables de base de Cadarache » présentent des V_{s30} supérieures à 1 200 m/s : on retient les spectres « rocher » ;
- pour les installations construites sur des formations plus récentes (sables et grès de la Sicarde, formations quaternaires), il est nécessaire de réaliser des mesures de type « cross-hole » spécifiques au site étudié. En effet, dans certains cas, les spectres « rocher » seront adaptés (site AGATE, CASCAD par exemple) alors que dans d'autres cas, ce sont les spectres « sédiments » qu'il faudra choisir (site LEFCA, EOLE-MINERVE par exemple). En cas d'absence de mesures spécifiques ou en cas de variation latérale à l'échelle de l'installation impliquant des V_{s30} tantôt inférieures, tantôt supérieures à 800 m/s, il s'agira de prendre en compte l'enveloppe des spectres « rocher » et « sédiments ».

Un effet de site particulier correspond à un contexte qui impliquerait des amplifications locales qui iraient au-delà de l'amplification liée à la réponse monodimensionnelle du sol (effet de site standard). Ce type d'amplification de caractère exceptionnel peut s'envisager dans le cadre d'une cuvette sédimentaire ou de forte topographie. La présence d'un effet de site particulier avéré implique la nécessité de majorer les spectres de réponses à retenir pour le dimensionnement des installations.

Comme le site de Cadarache est caractérisé par la présence d'une paléovallée associée à la formation d'un petit graben et des processus d'incisions qui ont suivi, des effets de site particuliers pourraient être possibles. De nombreuses études méthodologiques et appliquées à Cadarache ont été menées sur ce sujet.

En différents points du Centre, des études site-spécifiques ont ainsi d'ores et déjà démontré qu'il n'y avait pas de majoration de l'amplification de l'effet de site standard.

Les études conduites à ce jour ne peuvent toutefois pas être généralisées compte tenu de la variabilité latérale des formations de Cadarache. Il sera donc nécessaire de conduire ce type d'étude site-spécifique à l'occasion du déploiement de nouvelles installations ou dans le cadre des réexamens de sûreté, et ce, pour les installations assises sur les formations miocènes ou plus récentes du site.

Dans le cas de Cadarache, l'absence de majoration de l'amplification s'explique par le fait que les contrastes de vitesses sont généralement faibles (on observe des gradients de vitesse, mais rarement de forts contrastes généralisés à l'échelle des longueurs d'ondes des mouvements sismiques à considérer). Par ailleurs, même si les formations de remplissage de la paléovallée présentent des caractéristiques mécaniques moindres que l'encaissant calcaire, ces dernières restent favorables, comme l'indiquent les mesures de V_{s30} qui y dépassent souvent les 800 m/s.

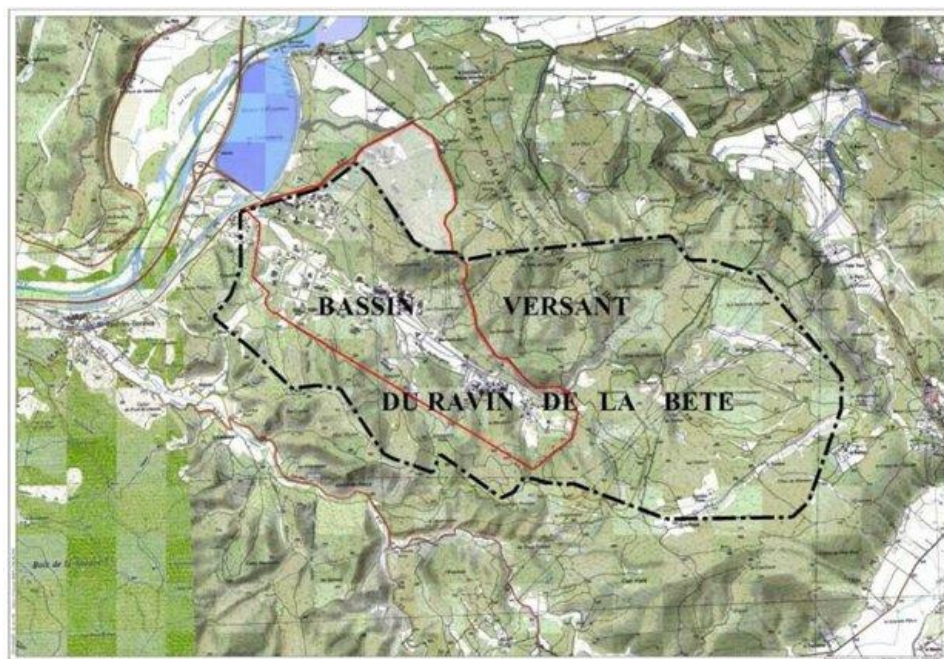
1.6 Hydrologie

1.6.1 Généralités

Le site de Cadarache se trouve sur la rive gauche de la Durance, à proximité de sa confluence avec le Verdon. Les eaux réunies de ces deux rivières alimentent, par l'intermédiaire d'un canal de dérivation, cinq usines hydroélectriques avant de se déverser dans l'Étang de Berre. Le barrage de Cadarache, dont le volume utile est de 600 000 m³, constitue le premier ouvrage de cette chaîne d'aménagements industriels de la basse Durance. Il restitue à l'ancien cours un débit de réserve de 9 m³/s dans lequel sont déversés les effluents du site. Ce débit est assuré contractuellement par EDF. Le canal de dérivation se substitue pratiquement à la Durance pour assurer ses fonctions traditionnelles d'alimentation en eaux de boisson et d'irrigation. Un bassin d'écluse a été mis en service, en 1980, pour assurer le délimonage³ des eaux. La surface du bassin est de 125 ha à la cote de retenue maximale, soit 256 m NGF. Ce bassin, d'un volume utile de 3 500 000 m³, est aujourd'hui envasé à 95% et son utilisation est de ce fait limitée.

1.6.2 Les cours d'eau du site

Le site de Cadarache est traversé en grande partie par le Ravin de la Bête, petit ruisseau qui se jette dans la Durance. Le bassin versant de ce ruisseau a été évalué à 25 km² (2 500 ha). Ce cours d'eau n'est en eau que de façon intermittente. Dans sa partie aval, il peut être alimenté par une petite résurgence (dite des « sources de la Grande Bastide ») située en contrebas du rond-point de Carcy. Le ruisseau ne coule en amont de cette résurgence que lors de fortes précipitations. Le Ravin de la Bête reçoit la majeure partie des eaux pluviales s'écoulant en surface du Centre et les eaux issues du système de drainage de la nappe sous l'INB LEFCA.



Bassin versant du Ravin de la bête

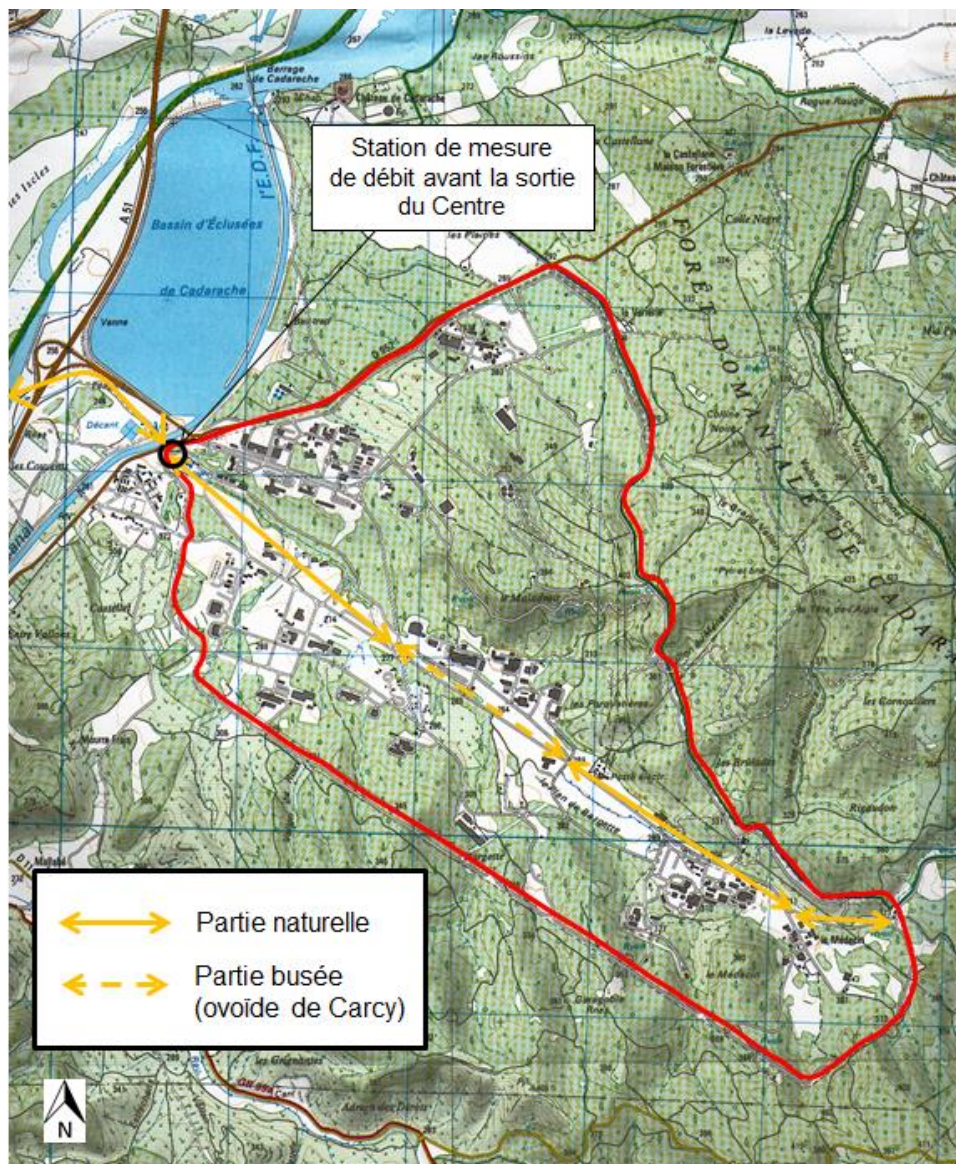
³ Délimonage : élimination des limons, formation sédimentaire dont les grains sont de taille intermédiaire entre les argiles et les sables.

Au nord-ouest du Centre, un second bassin versant se rejette dans le talweg du Chemin des Lapins. Ce bassin versant a une surface de 120 ha et récupère les eaux des zones INBS et Tore Supra.

Des travaux de modification des écoulements de surface réalisés entre 1999 et 2009 ont permis de concentrer toutes les eaux pluviales du Centre en un seul point de rejet au niveau de l'exutoire du Ravin de la Bête.

Le bassin versant de la zone ITER a une superficie d'environ 260 ha, il comprend la zone imperméabilisée clôturée (180 ha) ainsi qu'une zone naturelle boisée au sud-est divisée en 2 bassins versants. Les eaux collectées sur les bassins versants naturels rejoignent le Verdon, juste avant sa confluence avec la Durance. Les eaux de pluie collectées sur la zone imperméabilisée d'ITER rejoignent le point de rejet unique du Centre de Cadarache en Durance, via le Ravin de la Bête.

Sur les 2 800 m de sa traversée du Centre de Cadarache, le Ravin de la Bête est aérien et naturel dans sa partie amont (à proximité de la Porte de Ginasservis, à l'extrémité sud-est du Centre), puis est busé sur environ 1 200 m (ovoïde de Carcy), et redevient naturel de l'aval du rond-point de Carcy jusqu'à la sortie du Centre. Il est de nouveau busé pour passer sous la D952 (route de Saint-Paul-lez-Durance) ainsi que sous le canal EDF. Il reprend ensuite un tracé naturel jusqu'à sa confluence avec la Durance, excepté un court passage artificialisé sous l'autoroute A51. La figure suivante montre le tracé schématique du Ravin de la Bête.



Présentation schématique du tracé du Ravin de la Bête



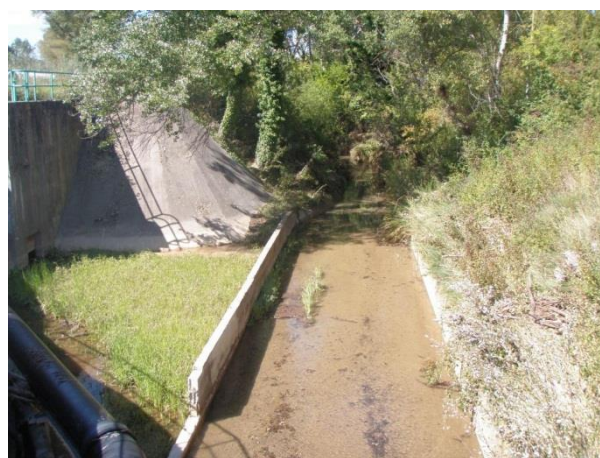
Exemples de vues du Ravin de la Bête dans ses parties naturelles (à droite : résurgence de la Grande Bastide, au centre : amont de la résurgence, à gauche : aval de la résurgence)

Lors des forts épisodes de pluie, le Ravin de la Bête recueille les eaux pluviales de

l'ensemble du Centre, et connaît alors des augmentations rapides et brutales de débits, avec des eaux très turbides. La décrue est rapide également (quelques heures). Les photos suivantes en montrent un exemple avec le Ravin en sortie de l'ovoïde de passage sous la route de Saint-Paul, pris au cours d'un épisode de pluie intense et le lendemain.



4 septembre 2011



5 septembre 2011

Photos du Ravin de la Bête prises au cours et le lendemain d'un épisode de pluie intense

Les débits du Ravin de la Bête sont mesurés en continu juste avant sa sortie du Centre. Cette station de mesure est installée dans l'ovoïde de passage sous la D952 (route de Saint-Paul-lez-Durance) et le canal EDF. Des études hydrologiques réalisées sur le bassin versant du Ravin de la Bête ont montré que **les débits de pointe peuvent atteindre plusieurs milliers de m³ par heure**.

Le tableau suivant montre les débits mesurés (en moyenne mensuelle) sur le Ravin de la Bête pour les trois dernières années.

	janv.	févr.	mars	avr.	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	déc.	Moyenne annuelle (m ³ /h)
2012	63,7	43,7	29,7	40,6	37,3	12,7	2,2	0,5	3,7	42,9	57,6	51,1	32,1
2013	34,1	24,7	97,9	125,8	144,9	98,2	18,6	27,6	21,2	18,9	19,7	19,7	54,3
2014	64,6	140,2	72,3	68,8	78,9	57,4	45,8	25,0	8,4	21,8	45,4	15,7	53,7

Débits moyens mensuels mesurés dans le Ravin de la Bête à la sortie du Centre entre 2012 et 2014

1.6.3 Le Verdon et les aménagements hydrauliques

Le Verdon est soumis à un régime pluvio-nival méditerranéen avec des hautes eaux au printemps et des basses eaux en été ; les orages méditerranéens provoquent également des hautes eaux en automne. Ses eaux sont retenues, à proximité en amont de Cadarache, par le barrage de Gréoux-les-Bains/Esparron-de-Verdon. Elles alimentent une usine hydroélectrique à Vinon-sur-Verdon (débit nominal turbinable de 40 m³/s) et le canal de Provence (débit nominal de 55 m³/s) qui passe à proximité du site de Cadarache (1 à 2 km), en galerie souterraine, dont l'entrée se situe à environ 4 km dans la direction est/nord-est.

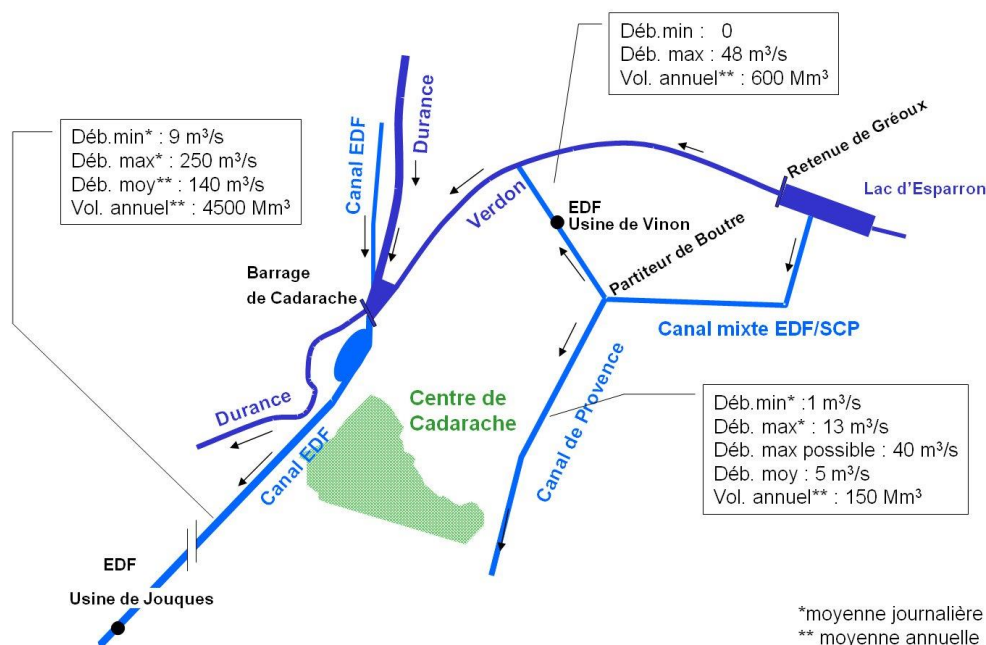


Schéma hydrologique local

1.6.4 Les cours d'eau à proximité du site

La Durance a pour affluent, au niveau de Saint Paul lez Durance, le ruisseau de l'Abéou. Celui-ci s'écoule du sud-est vers le nord-ouest suivant un tracé quasiment parallèle au ruisseau du Ravin de la Bête. Le bassin versant topographique de ce cours d'eau représente environ 120 km² pour un débit spécifique évalué en 1977 à 6,9 l/s/km². Son cours devient permanent à partir de Mallabé où plusieurs sources pérennes, dite sources de Saint Paul lez Durance, lui délivrent un débit soutenu qui peut varier de quelques centièmes de m³/s à l'étiage à près de 20 m³/s en crue.

1.6.5 La Durance

La Durance se jette dans le Rhône, sur sa rive gauche, à l'aval d'Avignon, après un cours d'environ 300 km. A partir de sa source, près du col de Montgenèvre à 2 500 m d'altitude, à la frontière italienne, elle suit une direction générale du nord-est vers le sud-ouest jusqu'au seuil de Mirabeau, à 5 km en aval du site de Cadarache.

Se heurtant ensuite au massif de Sainte Victoire, elle tourne à l'ouest/nord-ouest pour rejoindre le Rhône, entre les Alpilles au sud et le Luberon au nord, dans une plaine fertile où l'on trouve notamment les grands centres agricoles de Pertuis, Cavaillon et Châteaurenard. Les affluents notables sont en rive droite : la Clarée, la Guisane, la Gyronde, le Buech, le Jabron, le Largue et le Coulon ; en rive gauche : le Guil, l'Ubaye, la Bléone, l'Asse et surtout le Verdon.

La Durance est un cours d'eau de caractère alpestre et pluvio-nival à l'amont de Serre-Ponçon, plutôt de caractère méditerranéen à l'aval. Ceci se traduit par des apports variables suivant les saisons : hautes eaux au printemps (55% des apports annuels), étiage accentué en été (15 %), reprise d'un débit moyen en automne (21%), nouvel étiage sévère en hiver (9%). En automne et en hiver les pluies, sporadiquement brutales, peuvent entraîner des crues violentes mais courtes.



Au premier plan, le Verdon ; au second plan le bassin d'écluse et au fond la Durance

Le bassin versant à Cadarache atteint environ 12 000 km² dont 2 200 km² pour le Verdon, correspondant à une altitude moyenne de 1 290 m pour la Durance et 1 065 m pour le Verdon. Ceci se traduit par des apports annuels de l'ordre de 6 à 7 milliards de m³.

La pente de la Durance est forte, 3 m/km, soit cinq fois celle du Rhône. Le débit moyen annuel naturel est de 175 m³/s au niveau du site de Cadarache. Avant la mise en œuvre de l'équipement hydroélectrique actuel (notamment Serre-Ponçon), l'étiage d'été pouvait tomber à 35 m³/s alors que les crues pouvaient dépasser 6 000 m³/s.

En aval du barrage de Cadarache, EDF garantit un débit minimal (dit d'étiage ou de réserve) de la Durance. Jusqu'en 2014, ce débit de réserve était fixé à 4,5 m³/s. Depuis 2014, par arrêté inter préfectoral, ce débit de réserve a été relevé à **9 m³/s**.

Les débits de la Durance en aval du barrage de Cadarache sont estimés au niveau de la station hydrométrique dite « Cadarache » (Code station X3001010). Cette station se trouve à l'intérieur de l'usine EDF de Cadarache. Sur la période 2010-2014, le débit moyen est de 36 m³/s.

Les riverains de la Durance, exposés de tous temps à ses caprices et sa puissance redoutable, ont détourné, depuis plus de 800 ans, une partie de ses eaux à des fins agricoles, en profitant de la forte pente de la rivière.

C'est ainsi qu'aujourd'hui, entre Serre-Ponçon et la mer, 80 000 hectares sont irrigués grâce à 25 canaux agricoles répartissant un débit pouvant atteindre 130 m³/s. Sur ce débit, 15 m³/s sont consacrés à l'alimentation en eau, notamment de la ville de Marseille. L'aménagement hydroélectrique du fleuve a permis de réaliser une réalimentation régulière des irrigations et de minimiser les périodes de pénurie, notamment en été, tout en atténuant les irrégularités de son régime.

La majeure partie des canaux agricoles se situe dans la Basse Durance, à l'aval du barrage de Cadarache (117 m³/s répartis sur 22 canaux).



Réseau hydrologique régional (Source : <http://www.canal-de-provence.com/>)

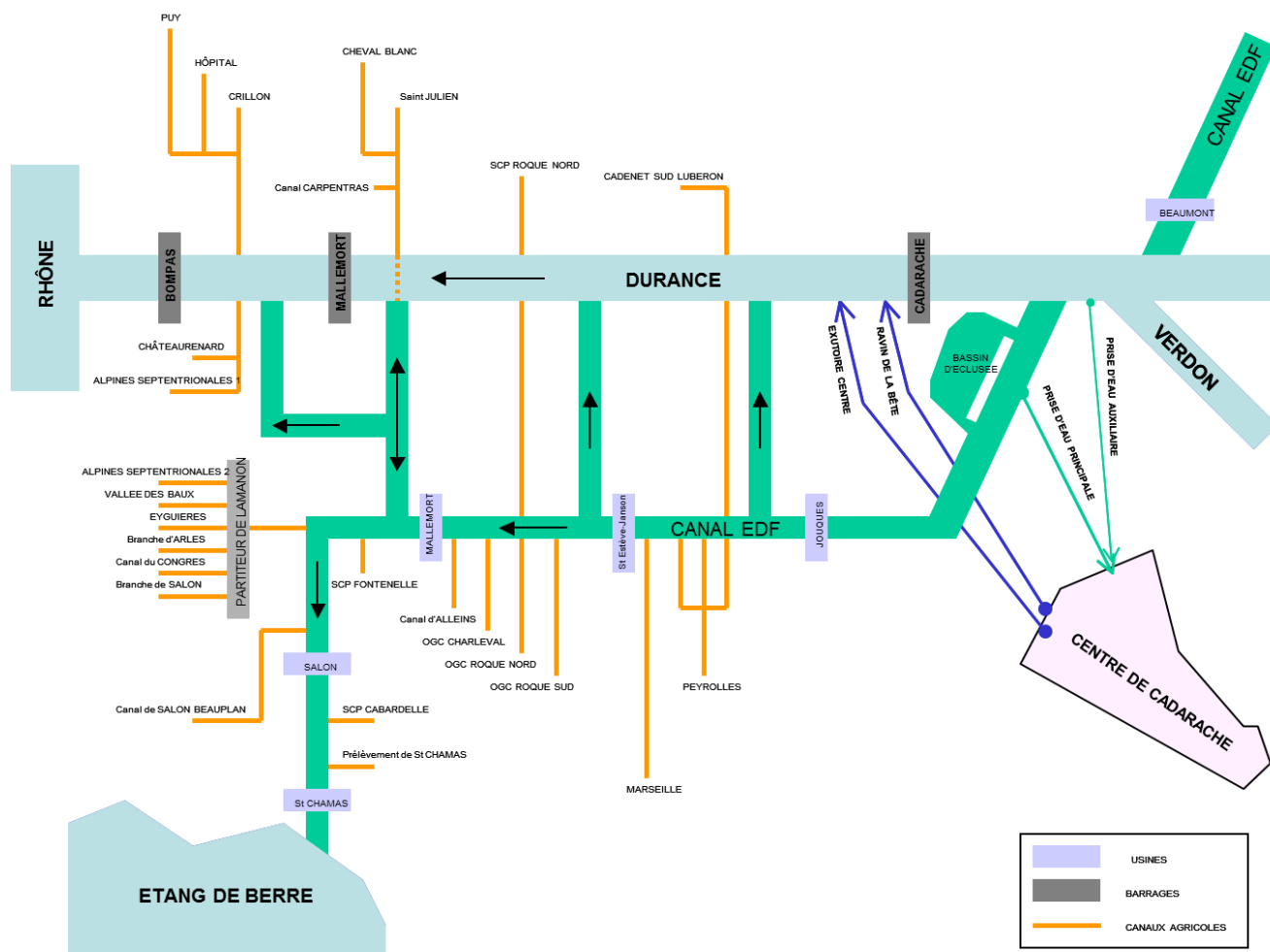
1.6.6 Utilisation de l'eau en aval du site de Cadarache

La plupart des canaux agricoles qui prenaient naguère leur eau dans la Durance, sont dorénavant alimentés par le canal EDF par lequel transite la quasi-totalité du débit nominal de la Durance et du Verdon. Seuls les canaux de la région d'Avignon restent alimentés par la Durance, au niveau du barrage de Bonpas.

Pour ce qui est de l'eau de boisson, les villes et villages du Val de Durance s'alimentent, en général, dans la nappe alluviale ou grâce à des sources captées. Le réseau d'adduction de la ville de Marseille est alimenté par le canal EDF au niveau de la chute de Saint Estève Janson. L'eau du canal EDF est également utilisée, pour l'eau potable, par Salon et, au niveau de Saint-Chamas, par quelques communes riveraines de l'Etang de Berre. Par un jeu complexe de canaux, cette eau alimente le sud du département des Bouches-du-Rhône, jusqu'à La Ciotat.

Les services de la Ville de Pertuis effectuent des prélèvements directs dans la Durance pour la production d'eau potable (Adduction Syndicat Mixte Pertuis) qui dessert également les communes de la Bastidonne, Mirabeau, Beaumont de Pertuis, la Tour d'Aigues, Grambois ou encore la Bastide des Jourdans.

Un volume annuel de 3,6 milliards de m³ transite par le canal EDF au niveau de Cadarache. Sur ce volume, 2,1 milliards de m³ sont restitués à l'Étang de Berre et 1,5 sont destinés à l'agriculture. Le volume qui, depuis Cadarache, atteint le Rhône par le lit proprement dit de la rivière, reste inférieur à 100 millions de m³ en régime normal et s'élève à un milliard de m³ les années de crue.

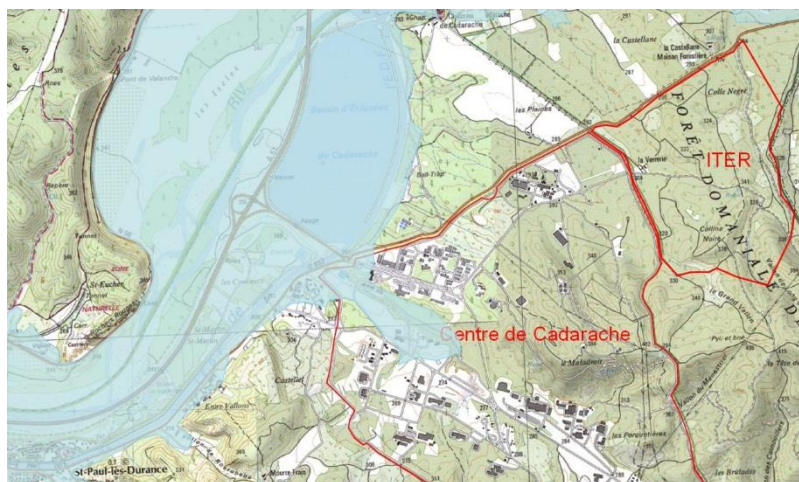


Utilisation des eaux en aval de Cadarache

Au niveau de Mallemort, le transfert est possible dans un sens ou dans l'autre, entre la Durance et le canal EDF, suivant les rapports qui existent entre, d'une part, la demande des canaux mixtes de Saint Julien et des canaux issus de Bonpas et, d'autre part, l'apport des affluents de la Durance entre Cadarache et Bonpas.

1.6.7 Risques d'inondation

Le site de Cadarache est naturellement protégé des risques d'inondation dus aux crues de la Durance et du Verdon, en raison de sa situation perchée. En cas de rupture du barrage de Serre-Ponçon (événement ayant les conséquences les plus importantes au niveau de Cadarache), le niveau maximal atteindrait, au droit de Cadarache, une cote de 265 mNGF en 5h 40 min, sur lit sec, très en dessous des installations à caractère nucléaire. La carte ci-après représente les zones qui seraient inondées.



Zones inondées en cas de rupture du barrage de Serre-Ponçon

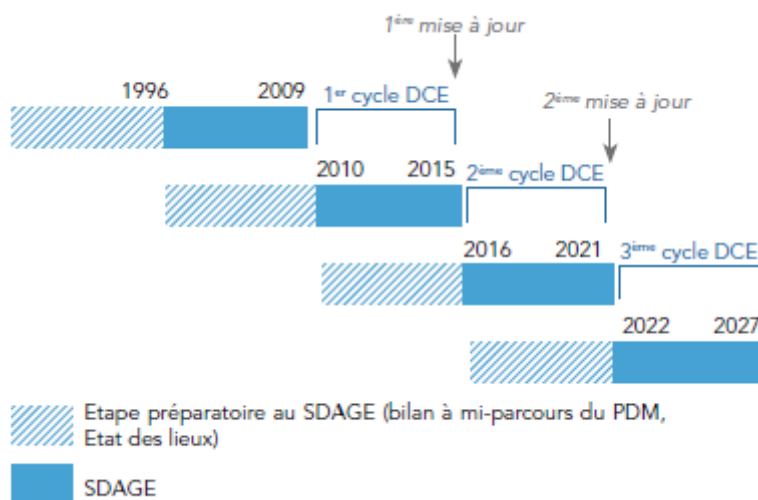
1.6.8 Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE)

Contexte réglementaire général

La loi sur l'eau du 3 janvier 1992 a posé le principe que l'eau fait partie du patrimoine commun de la nation et que sa protection est d'intérêt général.

L'une des grandes innovations instituées par cette loi est l'utilisation de moyens en vue de la planification et de la gestion de la ressource en eau, dont le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (**SDAGE**). Le SDAGE est élaboré par les comités de bassin de chaque grand bassin hydrographique français. Il est établi pour une période de 6 ans, et fixe des orientations fondamentales pour une gestion équilibrée de la ressource en eau. Il intègre les nouvelles orientations de la Directive Cadre Européenne (DCE) sur l'eau 2000/60/CE du 23 octobre 2000. Cette directive a fixé comme objectif **le bon état de toutes les masses d'eau en 2015** (1^{er} cycle DCE 2010-2015).

Toutefois, la réglementation prévoit que, si pour des raisons techniques, financières ou tenant aux conditions naturelles, les objectifs de bon état en 2015 ne peuvent être atteints dans ce délai, le SDAGE peut fixer des échéances plus lointaines, en les motivant, sans que les reports puissent excéder la période correspondant à deux mises à jour du SDAGE (art. L. 212-1 V. du code de l'environnement), soit **2021 ou 2027 au plus tard**. Les dérogations par rapport à l'objectif de bon état en 2015 sont encadrées de manière stricte par la directive cadre sur l'eau. Des mesures spécifiques sont alors mises en place dans la perspective du 2^{ème} cycle DCE 2016-2021 (en cours actuellement), et du 3^{ème} et dernier cycle DCE 2022-2027.

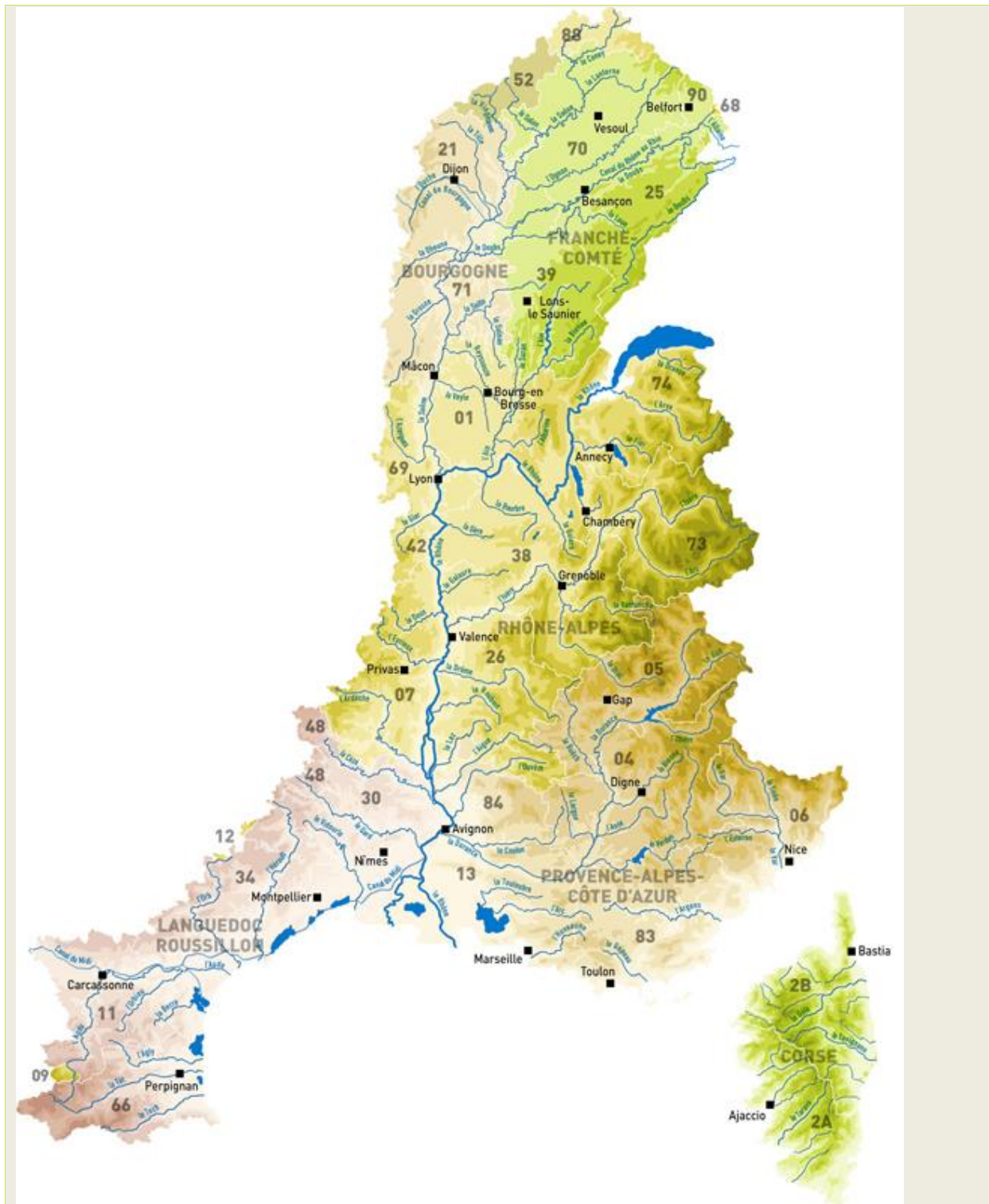


Principe des reports d'échéance prévus et encadrés par la Directive Cadre sur l'Eau (Source : SDAGE 2016-2021 du bassin Rhône-Méditerranée)

Le SDAGE du bassin « Rhône-Méditerranée »

La gestion des eaux de Cadarache s'inscrit dans le cadre du SDAGE du bassin « Rhône-Méditerranée ».

Bassin Rhône-Méditerranée (source : <http://www.eaurmc.fr/>) : Le bassin Rhône-Méditerranée couvre principalement 4 régions (Provence Alpes Côte d'Azur, Occitanie, Auvergne-Rhône-Alpes, et Bourgogne-Franche Comté) et 23 départements. Il compte également quelques communes situées dans 7 départements (Ariège, Aveyron, Loire, Lozère, Haute-Marne, Haut-Rhin, Vosges). Il couvre une superficie de près de 130 000 km², soit environ 25% du territoire national, et compte près de 14 millions d'habitants, répartis de manière très hétérogène : extension des agglomérations, attraction économique (Rhône-Alpes) et touristique (PACA, Languedoc-Roussillon...), etc. Avec 11 000 cours d'eau de plus de 2 km et 1 000 km de côtes, les ressources hydriques du bassin Rhône-Méditerranée sont abondantes : importance du ruissellement (42% du total national), richesse exceptionnelle en plans d'eau (lacs Léman, d'Annecy, du Bourget...), forte présence de zones humides (superficie de plus de 7 000 Km²), 400 systèmes aquifères répertoriés, présence de glaciers (15,5 milliards de m³ d'eau emmagasinés), etc.



Les bassins « Rhône-Méditerranée » et « Corse » (Source : <http://www.eaurmc.fr>)

Le SDAGE Rhône-Méditerranée est entré en vigueur le 21 décembre 2015 pour les années 2016 à 2021. Le SDAGE définit la politique à mener pour stopper la détérioration et retrouver un bon état de toutes les eaux : cours d'eau, plans d'eau, nappes souterraines et eaux littorales.

Document de planification pour l'eau et les milieux aquatiques du bassin Rhône-Méditerranée, il fixe, pour 6 ans, les grandes priorités, appelées « **orientations fondamentales** », de gestion équilibrée de la ressource en eau.

Le SDAGE 2016-2021 comprend 9 orientations fondamentales. Celles-ci reprennent les 8 orientations fondamentales du SDAGE 2010-2015 qui ont été actualisées et incluent une nouvelle orientation fondamentale, l'orientation fondamentale n°0 « s'adapter aux effets du changement climatique ».

- * OF0 : adaptation aux effets du changement climatique ;
- * OF1 : prévention : privilégier la prévention et les interventions à la source pour plus d'efficacité ;
- * OF2 : non dégradation : concrétiser la mise en œuvre du principe de non dégradation des milieux aquatiques ;
- * OF3 : vision sociale et économique : intégrer les dimensions sociale et économique dans la mise en œuvre des objectifs environnementaux ;
- * OF4 : gestion locale et aménagement du territoire : organiser la synergie des acteurs pour la mise en œuvre de véritables projets territoriaux de développement durable ;
- * OF5 : pollutions : lutter contre les pollutions, en mettant la priorité sur les pollutions toxiques et la protection de la santé ;
- * OF6 : milieux fonctionnels : préserver et développer les fonctionnalités naturelles des bassins et des milieux aquatiques ;
- * OF7 : partage de la ressource : atteindre et pérenniser l'équilibre quantitatif en améliorant le partage de la ressource en eau et en anticipant l'avenir ;
- * OF8 : gestion des inondations : gérer les risques d'inondation en tenant compte du fonctionnement naturel des cours d'eau.

Ces 9 orientations fondamentales s'appuient également sur les questions importantes qui ont été soumises à la consultation du public et des assemblées entre le 1^{er} novembre 2012 et le 30 avril 2013.

Les orientations du SDAGE répondent aux **grands enjeux** pour l'eau du bassin Rhône-Méditerranée :

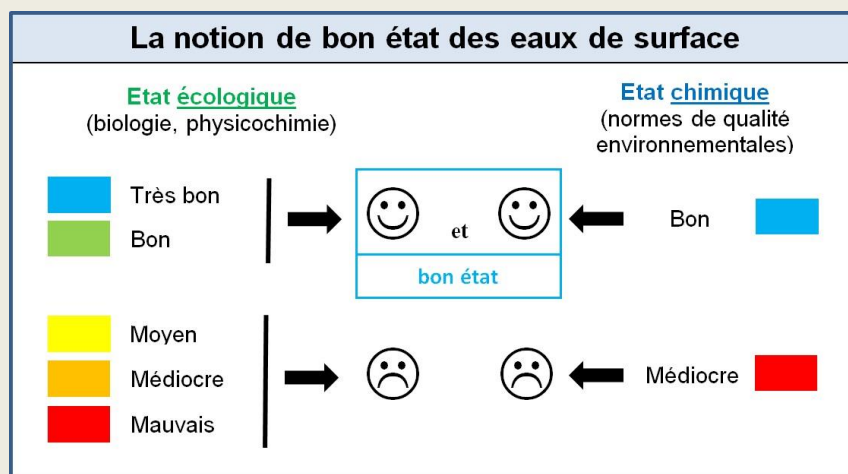
- * s'adapter au changement climatique. Il s'agit de la principale avancée de ce nouveau SDAGE, traduite dans une nouvelle orientation fondamentale ;
- * assurer le retour à l'équilibre quantitatif dans 82 bassins versants et masses d'eau souterraine ;
- * restaurer la qualité de 269 captages d'eau potable prioritaires pour protéger notre santé ;
- * lutter contre l'imperméabilisation des sols : pour chaque m² nouvellement bétonné, 1,5 m² désimperméabilisé ;
- * restaurer 300 km de cours d'eau en intégrant la prévention des inondations ;
- * compenser la destruction des zones humides à hauteur de 200% de la surface détruite ;
- * préserver le littoral méditerranéen.

Un **programme de mesures (PDM)** accompagne le SDAGE. Il rassemble les actions concrètes par territoire nécessaires pour atteindre le bon état des eaux. Ces documents permettent de respecter les obligations définies par la directive cadre européenne sur l'eau (DCE) pour atteindre un bon état des eaux.

Définition du « bon état » des eaux superficielles : Pour les eaux superficielles, l'évaluation repose sur deux composantes :

- ✕ l'état chimique (au regard du respect des normes européennes d'usages : baignade, production d'eau potable, élevage de coquillages, etc.) ;
- ✕ l'état écologique, apprécié essentiellement selon des critères biologiques et des critères physicochimiques.

L'état est reconnu « bon » si l'état chimique est bon et si l'état écologique est bon (ou très bon).



En matière de lutte contre les pollutions par les substances dangereuses, le SDAGE du bassin du Rhône-Méditerranée pose les objectifs suivants :

- ✕ le respect des Normes de Qualité Environnementales (NQE) correspondant à l'atteinte d'un bon état chimique et à la non-détérioration des masses d'eau ainsi qu'aux objectifs environnementaux liés à la directive 76/464 (catégories 1 à 3). Ces normes sont la référence pour la fixation des Valeurs Limites d'Emission (VLE) pour les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) notamment ;
- ✕ la réduction des rejets, émissions et pertes des substances pour contribuer d'ici 2021 à l'objectif national de réduction.

L'objectif de réduction des émissions, à l'échéance 2021, est défini pour chaque substance ou groupe de substances dans le tableau ci-après. Ce tableau reprend les objectifs nationaux de réduction des émissions, rejets et pertes des substances visées par la DCE, en identifiant les polluants spécifiques de l'état écologique (**PSEE**) du bassin Rhône-Méditerranée.

Niveau de réduction (en % des émissions connues) en fonction des possibilités d'action par rapport à la ligne de base 2010 (inventaire)	0% pas d'action possible	- 10%	- 30%	- 100%* *action visant la suppression des émissions maîtrisables à un coût acceptable
Famille	Nom de la substance (ou du groupe de substances) et codes SANDRE			
Alkylphénols BTEX		• Octylphénols 1920 ; 1959	• Benzène 1114	• Nonylphénols 1957 ; 5474 ; 1958
Chlorobenzènes		• Trichlorobenzènes 1774 = 1283 + 1630 + 1629		• Hexachlorobenzène 1199 • Hexachlorobutadiène 1652 • Pentachlorobenzène 1888
Chlorophénols		• Pentachlorophénol 1235		
Dioxines et composés		• Dioxines et composés 7707		
Diphényléthers bromés				• Bromodiphényléthers (Tetra / Penta / Hexa) 2601 ; 1921 ; 2600 ; 2599
HAPs		• Fluoranthène 1191	• Anthracène 1458 • Naphtalène 1517	• Benzo(a)pyrène 1115 • Benzo(b)fluoranthène 1116 • Benzo(k)fluoranthène 1117 • Benzo(g, h, i)perylène 1118 • Indéno(1,2,3-cd)pyrène 1204
Métaux			• Arsenic 1369 • Chrome 1389 • Cuivre 1392 • Nickel 1386 • Plomb 1382 • Zinc 1383	• Cadmium et ses composés 1388 • Mercure et ses composés 1387
Organoétains				• Tributylétain et composés 2879
Perfluorés		• Acide perfluorooctane- sulfonique et ses dérivés (perfluorooctanesulfonate PFOS) 6560 ; 6561		
Pesticides	• Endosulfan 1743 • Hexachlorocyclohexane 5537 • Trifluraline 1289 • Alachlore 1101 • Atrazine 1107 • Chlorfenvinphos 1464 • Simazine 1263 • Aldrine 1103 • DDTs 7146 • Dieldrine 1173 • Endrine 1181 • Isodrine 1207	• Aclonifene 1688 • Aminotriazole 1105 • AMPA 1907 • Bifenox 1119 • Chlorprophame 1474 • Cybutrine 1935 • Cyperméthrine 1140 • Cyprodinil 1359 • Dichlorvos 1170 • Dicofol 1172 • Diflufenicanil 1814 • Diuron 1177 • Glyphosate 1506 • Heptachlore et époxydes d'heptachlore 1197 ; 1748 ; 1749 • Métazachlore 1670 • Nicosulfuron 1882 • Pendiméthaline 1234 • Quinoxifène 2028 • Terbutryne 1269	• 2,4 MCPA 1212 • Chlorpyrifos 1083 • Chlortoluron 1136 • Isoproturon 1208 • Oxadiazon 1667	
Phthalates		• DEHP Diethylhexylphthalate 6616		
Solvants chlorés			• 1,2 Dichloroéthane 1161 • Dichlorométhane 1168 • Trichlorométhane (chloroforme) 1135	• Tétrachloroéthylène 1272 • Tétrachlorure de carbone 1276 • Trichloroéthylène 1286
Autres micro- polluants		• HBCDD Hexabromo- cyclododécane 7128 • Phosphate de tributyle 1847		• Chloroalcane C ₁₀ -C ₁₃ 1955

• Substances dangereuses prioritaires (SDP) • Substances prioritaires (SP) • Substances de la liste I de la directive 76/464 non inscrites dans la DCE • Polluants Spécifiques de l'État Écologique (PSEE) pour le bassin Rhône-Méditerranée

Objectif de réduction des émissions à l'échéance 2021 (Source : SDAGE 2016-2021 du bassin Rhône-Méditerranée)

1.6.9 Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE)

Le schéma d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE) est l'application du SDAGE à un niveau local.

L'initiative du SAGE revient aux responsables de terrains, élus, associations, acteurs économiques, aménageurs, usagers de l'eau qui ont un projet commun pour l'eau.

Le SAGE est un outil de planification locale dont les prescriptions doivent pouvoir s'appliquer à un horizon de 10 ans. Il se traduit par un arrêté préfectoral qui identifie les mesures de protection des milieux aquatiques, fixe des objectifs de qualité à atteindre, définit des règles de partage de la ressource en eau, détermine les actions à engager pour lutter contre les crues, etc. à l'échelle d'un territoire hydrographique pertinent (2 000 à 3 000 km²).

Dans un rayon de 5 kilomètres autour du site, il faut citer le SAGE Verdon, dont le projet a été adopté par la Commission Locale de l'Eau du 12 février 2014, et dont le règlement a été approuvé par arrêté préfectoral du 13 octobre 2014 (source : <http://www.gesteau.eaufrance.fr/sage/verdon>).

Il n'y a pas encore de SAGE pour la Durance, mais les enjeux autour de la rivière, réchauffement climatique oblige, ont motivé une réflexion des acteurs de l'eau, qui ont posé les premières pierres d'un schéma d'aménagement et de gestion des eaux (source : <http://www.sauvonsleau.fr/>).

1.1.1- Contrat de rivière

Comme les SAGE, les contrats de milieux (rivière, lac, nappe, baie, ...) sont des outils d'intervention à l'échelle de bassin versant donnant lieu à un important programme d'études puis de travaux, coordonné et animé généralement par une structure porteuse et une équipe technique permanente. En pratique également, les contrats de milieux comme les SAGE déclinent les objectifs majeurs du SDAGE sur leur bassin versant. Ils sont aussi les outils à privilégier pour permettre l'atteinte du bon état des masses d'eau à l'horizon 2015 comme le demande la Directive Cadre Européenne sur l'Eau (DCE).

La différence avec le SAGE est que l'objet essentiel du contrat de milieu n'est pas de formaliser un projet commun pour l'eau dans le bassin assorti de règles de bonne conduite pour le mettre en œuvre, mais d'aboutir à un programme d'actions, généralement à horizon 5 ans, en terme d'études, de travaux, etc. financé par différents partenaires. Les montants en jeu peuvent aller jusqu'à plusieurs dizaines de millions d'euros. Comme dans le cas des SAGE, ces actions sont décidées après un travail important en termes de définition des objectifs poursuivis et leur mise en œuvre est évaluée au travers d'indicateurs précis. De plus, à mi-parcours du contrat et à son achèvement, un bilan doit être dressé.

Il existe un contrat de rivière du Val de Durance, initié par le SMAVD (Syndicat Mixte d'Aménagement de la Vallée de la Durance) qui s'étend sur les 230 km (sur 300 km au total) que la Durance parcourt depuis le barrage de Serre-Ponçon jusqu'au Rhône (source : <http://www.smavd.org/>).

Concernant le Verdon, le label Contrat de Rivière a été attribué le 20 janvier 2006 par le Bureau du Comité de Bassin Rhône-Méditerranée-Corse sur la base du dossier préalable de candidature. L'arrêté inter-préfectoral de composition du Comité de Rivière a été signé le 15 juin 2007. Le Comité de Rivière, chargé du pilotage et du suivi du Contrat de Rivière, a été créé le 18 janvier 2008. Le contrat de rivière Verdon 1 avait une durée de validité de 5 ans et devait donc arriver à échéance en 2013.

Une note de synthèse de la Commission Locale de l'Eau du 06 avril 2016, publiée en mai 2016, présente le projet de contrat de rivière Verdon 2. Les principaux cours d'eau concernés sont :

- ✕ Le Verdon (et ses lacs de retenue)

- ✕ Les principaux affluents du Haut Verdon : le Bouchier, le Chadoulin, la Lance, la Chasse, l'Issole
- ✕ Les principaux affluents et sous-affluents du Moyen Verdon : l'Artuby, le Jabron, la Bruyère, la Lane, le Rieu Tort
- ✕ Les affluents du Bas Verdon : le Colostre

Fort de 159 actions détaillées en 245 opérations, ce contrat attendu de petite taille s'avère en fait être plus important que son frère aîné, le contrat 1. Cela est vraisemblablement dû à une bonne appropriation de la démarche par les acteurs du territoire, qui ont su faire de ce deuxième contrat un outil reflétant leur ambition pour le bassin versant du Verdon.

Les enjeux thématiques identifiés sur le bassin versant se rattachent à 5 axes principaux, les axes du SAGE :

- ✕ Rechercher un fonctionnement hydraulique et biologique permettant la satisfaction des différents usages, la préservation des milieux naturels et la gestion des risques.
- ✕ Préserver et valoriser le patrimoine naturel, exceptionnel mais fragile et soumis à de nombreuses contraintes.
- ✕ Aller vers une gestion solidaire de la ressource.
- ✕ Assurer une qualité des eaux permettant la satisfaction des différents usages et préservant les potentialités biologiques.
- ✕ Concilier les activités touristiques liées à l'eau avec les autres usages et la préservation des milieux.

(Source : <http://www.gesteau.eaufrance.fr/document/contrat-de-riviere-verdon-2-note-de-synthese>).

1.7 Hydrogéologie

1.7.1 Contexte hydrogéologique à l'échelle du site

Trois principaux **aquifères** sont présents à l'échelle site de Cadarache, avec des comportements hydrauliques a priori spécifiques et des interactions.

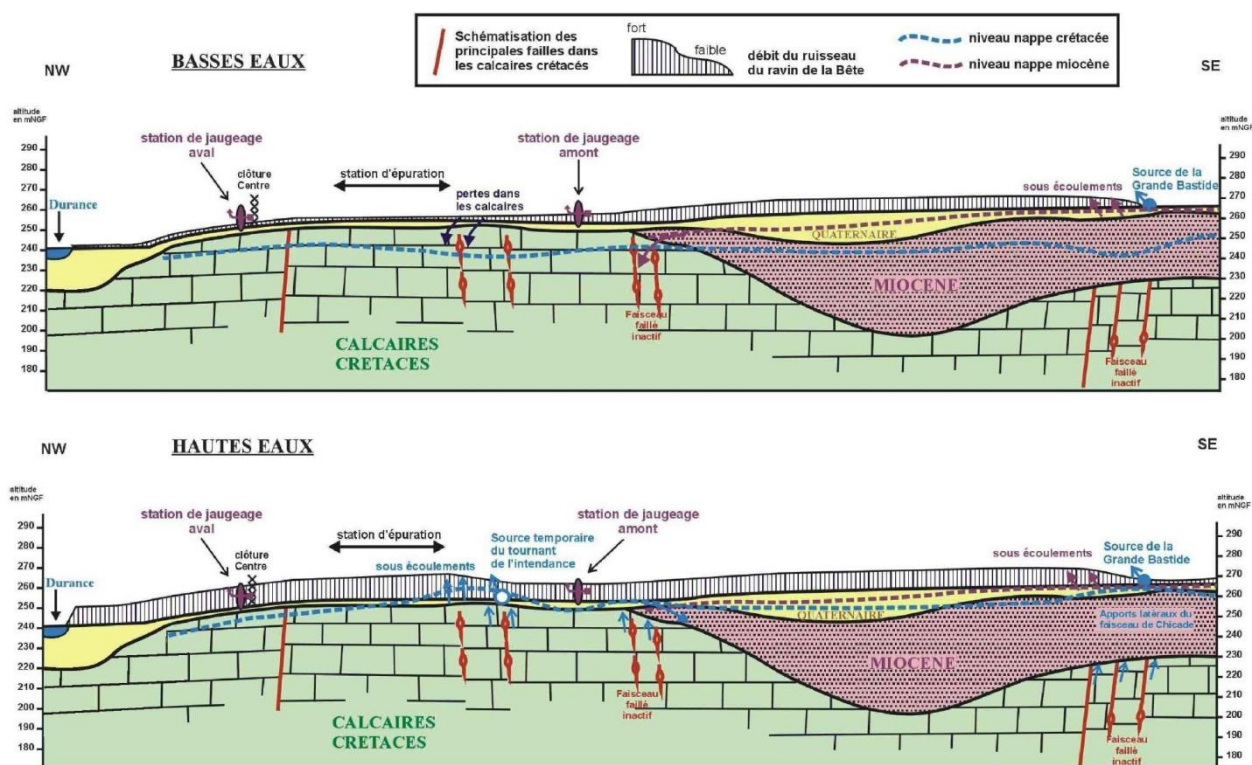


Schéma interprétatif des relations hydrauliques entre le Ravin de la Bête et les différents aquifères

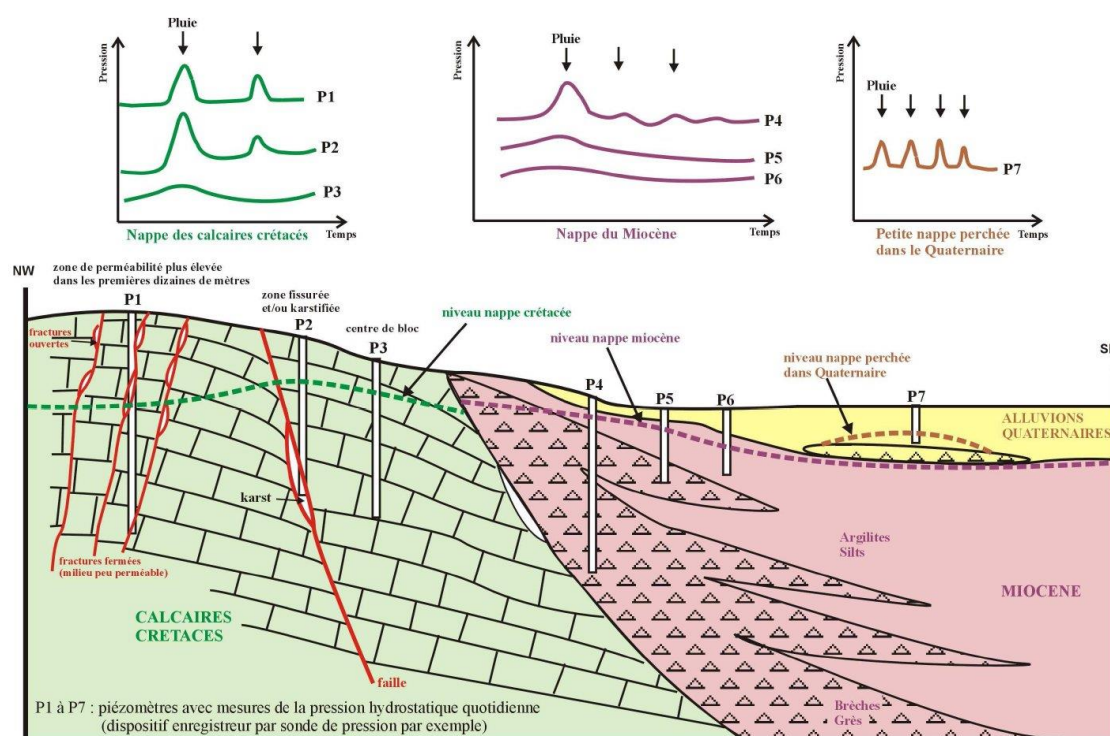


Schéma illustrant le comportement piézométrique des trois principaux aquifères présents au niveau du site

Aquifère : Du latin *aqua*, eau, et *ferre*, porter. Terrain perméable, contenant une nappe d'eau souterraine (nappe phréatique).

Carte piézométrique : Carte représentant la pression de l'eau (niveau

piézométrique) dans un aquifère, et dont on peut déduire les directions d'écoulement.

Conductivité hydraulique (perméabilité) : Paramètre caractérisant la capacité d'un terrain aquifère à laisser circuler l'eau souterraine.

Piézomètre : Du grec *piezein*, presser, et *metron*, mesurer. Dispositif consistant en un tube enfoncé verticalement dans le sol par sondage et servant à mesurer le niveau de l'eau avec laquelle il est en contact à son extrémité inférieure (niveau piézométrique).

1.7.2 Aquifère des alluvions quaternaires

Les **alluvions** quaternaires reposent sur les sables miocènes, voire directement sur les **calcaires** au niveau de trois secteurs : vallée de la Durance, au niveau du Ravin de la Bête et du vallon de Mourre-Frais (au sud-ouest à l'extérieur du site). Il n'y a pas d'existence de formations imperméables permettant d'individualiser un système **aquifère** unique au niveau de ces secteurs. Néanmoins, la présence d'un imperméable peut permettre l'existence d'un aquifère perché : ce type de configuration a été mis en évidence au niveau de l'INB 56 et dans la partie sud du site de CEDRA.

L'alimentation de cet aquifère au niveau du site de Cadarache se fait par l'infiltration directe des précipitations, mais également par des alimentations des aquifères sous-jacents ou adjacents (Miocène et Crétacé), lors d'épisodes de crues (hautes eaux).

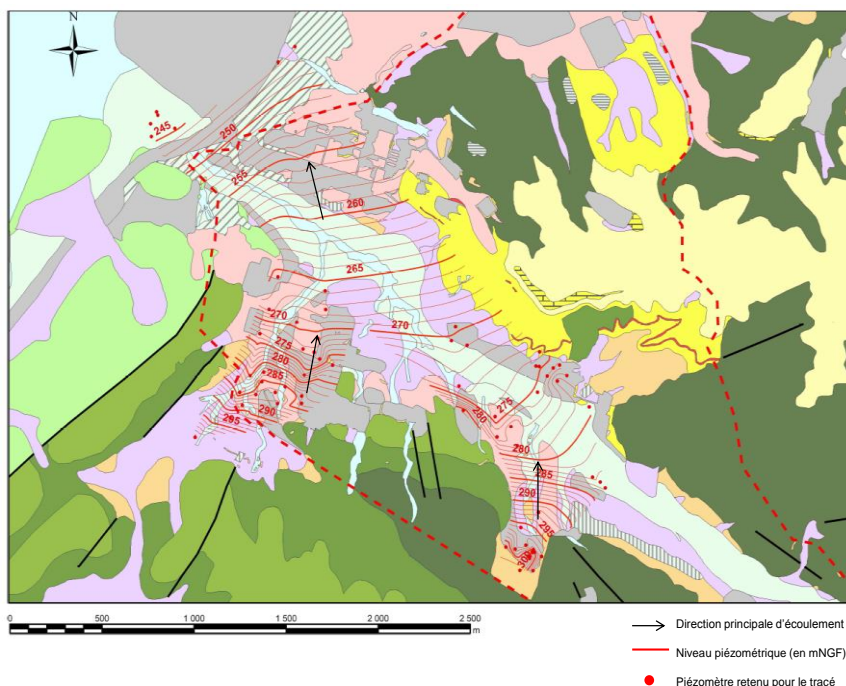
La **conductivité hydraulique** est variable, forte au niveau des niveaux de galets, sables et cailloutis avec des valeurs comprises entre 10^{-3} et 10^{-5} m/s et plus faible pour les formations argileuses (10^{-7} à 10^{-8} m/s). Une cinquantaine de **piézomètres** sont implantés au niveau des alluvions du Quaternaire.

1.7.3 Aquifère dit « du Miocène »

Cet **aquifère** se développe au sein des formations de remplissage des paléovallées (Ravin de la Bête et 3 paléovallées principales situées au sud : Vallon du Mourre Frais, la Bargette par ex.), ainsi que dans la partie septentrionale, séparée du Ravin de la Bête par un escarpement de **calcaires**. Sa géométrie est liée d'une part à la géométrie de son soubassement constitué par les calcaires crétacés affectés par des failles et d'autre part aux conditions de dépôts sédimentaires.

Les formations aquifères sont des sables, des **grès**, des **brèches**. Des niveaux de plus faibles perméabilités existent au niveau de formations argileuses.

L'aquifère est alimenté principalement par les précipitations, mais également par l'aquifère sous-jacent lors de conditions hydrologiques de hautes eaux (mise en charge). Il existe des connexions hydrauliques entre l'aquifère sous-jacent qui se développe dans les calcaires du Crétacé et l'aquifère dit du Miocène ; ces échanges peuvent se dérouler dans les deux sens en fonction des différences de charges hydrauliques entre les deux nappes. L'exutoire de l'aquifère dit du Miocène se situe au niveau des sources de la Grande Bastide ; ces sources ne constituent probablement pas l'exutoire unique de cet aquifère, au vu de l'existence localisée d'échanges entre les aquifères et des directions d'écoulement au sein de cet aquifère.



Carte piézométrique de la nappe du Miocène en période de hautes eaux (avril 2009)

Les directions d'écoulement en fonction des conditions hydrologiques se font soit en suivant l'axe de drainage du vallon du Ravin de la Bête en direction de la Durance, soit plus au nord, pour rejoindre probablement la vallée de la Durance. Une centaine de **piézomètres** sont implantés au niveau des formations dites du Miocène.

1.7.4 Aquifère des calcaires du Crétacé – Jurassique

L'**aquifère** se développe au sein des formations **calcaires** massives au niveau du Jurassique et de la base du Crétacé, avec des formations caractérisées par davantage d'inter-bancs dans la partie sommitale. Les calcaires sont affectés par des discontinuités : plans de stratification, fractures, structures de distension, de dissolution. On note une ouverture des fractures N-S et des fractures NE-SW et une tendance générale de fermeture des fractures E-W, en considérant le champ de contrainte qui a régné depuis le début du Tertiaire. Les circulations seraient associées à des ouvertures pluri-centimétriques de fractures décrochantes sans dissolution importante. Des phénomènes de dissolution sous la discordance du Miocène existent : vestige de **lapiaz** et **épikarst** avec remplissage. Les indices de **karstification** rencontrés au niveau des fouilles et des forages sur les différents sites, sont globalement peu importants ; ils ne sont pas reconnus au-delà des cotes 275 m NGF (entre 320 et 275 mNGF, sur la bordure SW du site de Cadarache).

Epikarst : Partie supérieure d'un **karst**, caractérisée par la présence de nombreuses fissures ouvertes par dissolution.

Lapiaz : Du latin *lapis*, pierre. Surface de roche calcaire creusée par dissolution, de trous, de cannelures ou de rigoles.

Des faisceaux de failles jouant un rôle hydraulique très local sont présents, notamment au niveau de l'installation Chicade (vers le milieu du Centre de Cadarache), mais ne marquent pas la piézométrie. Néanmoins, des contrastes de perméabilité existent et se traduisent notamment par des phénomènes de mise en charge importante et des remontées de nappe sous certains des bâtiments.

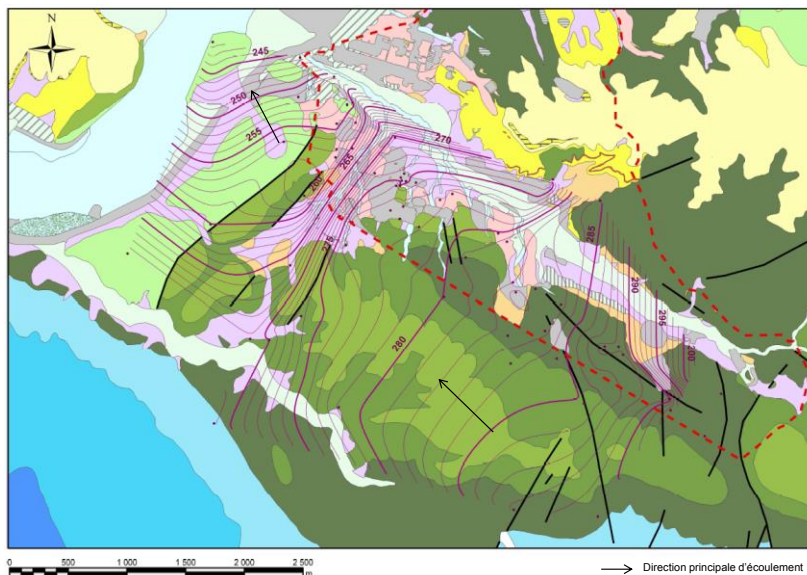
L'établissement d'une **carte piézométrique** traduit un aquifère de type milieu continu fissuré pouvant être localement compartimenté, mais globalement sans existence d'un réseau de conduits karstiques très perméables et très organisés au niveau de la zone prospectée. 210 piézomètres

concernent les calcaires du Crétacé et deux, les calcaires et dolomies du Jurassique.

L'alimentation de cet aquifère carbonaté est assurée par infiltration gravitaire au niveau des formations crétacées affleurantes dans le périmètre du Centre de Cadarache mais également à l'extérieur, au niveau des formations jurassiques, par les aquifères sus-jacents et/ou adjacents (Miocène et

Quaternaire) et par la perte de cours d'eau (Ravin de la Bête et peut être par les pertes au niveau de l'Abéou en période de basses eaux).

Lorsque les calcaires sont directement en contact avec les alluvions de la Durance, en fonction du niveau de charge, on peut supposer que l'aquifère se décharge à ce niveau. Les sources de l'Abéou situées à l'extérieur de l'emprise du Centre de Cadarache pourraient théoriquement constituer un des exutoires des calcaires du Crétacé et du Jurassique. Un autre exutoire possible est, en conditions de hautes eaux, un drainage de l'aquifère vers les aquifères de sub-surface et une alimentation des cours d'eau. La source de la Grande Bastide pourrait être un exutoire indirect de l'aquifère des calcaires, lors de mises en charge.



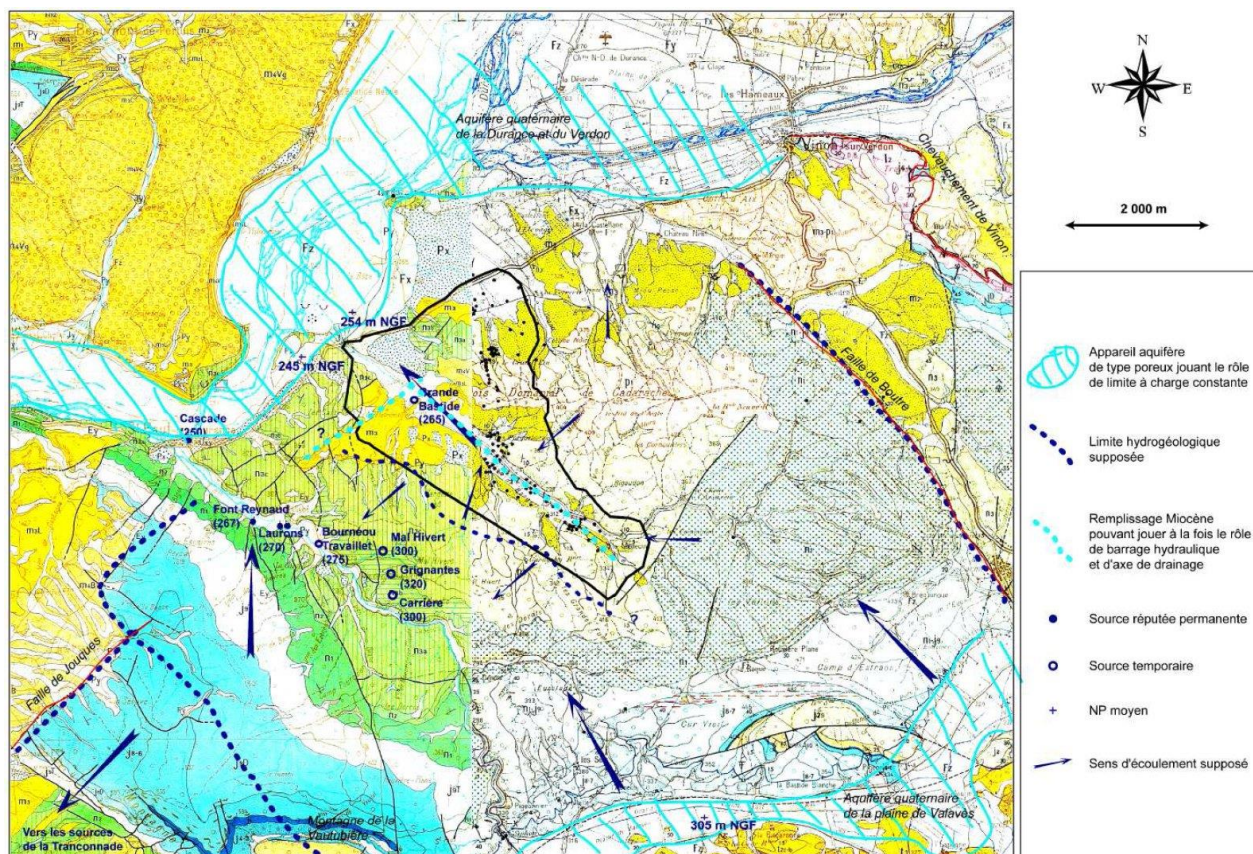
Carte piézométrique de la nappe du Crétacé en période de hautes eaux (avril 2009)

1.7.5 Conclusion

Trois aquifères sont présents au niveau du site de Cadarache, l'aquifère quaternaire, l'aquifère dit du Miocène et l'aquifère des calcaires du Crétacé, dont la limite inférieure ne correspond pas à la base des formations du Crétacé mais au niveau des marnes callovo-oxfordiennes du Jurassique moyen.

Les eaux des aquifères du Crétacé et du Miocène sont du même faciès, mais néanmoins il est possible de les distinguer les unes des autres.

Les limites hydrogéologiques ainsi que les directions principales d'écoulements sont synthétisées au sein de la carte hydrogéologique présentée ci-après.



Carte hydrogéologique du site de Cadarache à grande échelle

1.8 Ecosystèmes terrestre et aquatique

L'espace naturel du site, essentiellement boisé ou en garrigue, couvre une superficie de près de 1600 hectares (auxquels s'ajoutent les 180 hectares d'ITER), soit plus de 80 % du domaine. Le reste de la propriété est constitué de zones urbanisées comprenant 80 hectares d'espaces verts entretenus et 330 hectares débroussaillés.

Confiée à des entreprises spécialisées, la gestion de ce domaine était jusqu'en 2009 essentiellement assurée dans un souci de limitation du risque incendie, en particulier au niveau de la zone clôturée, en conformité avec les exigences réglementaires.

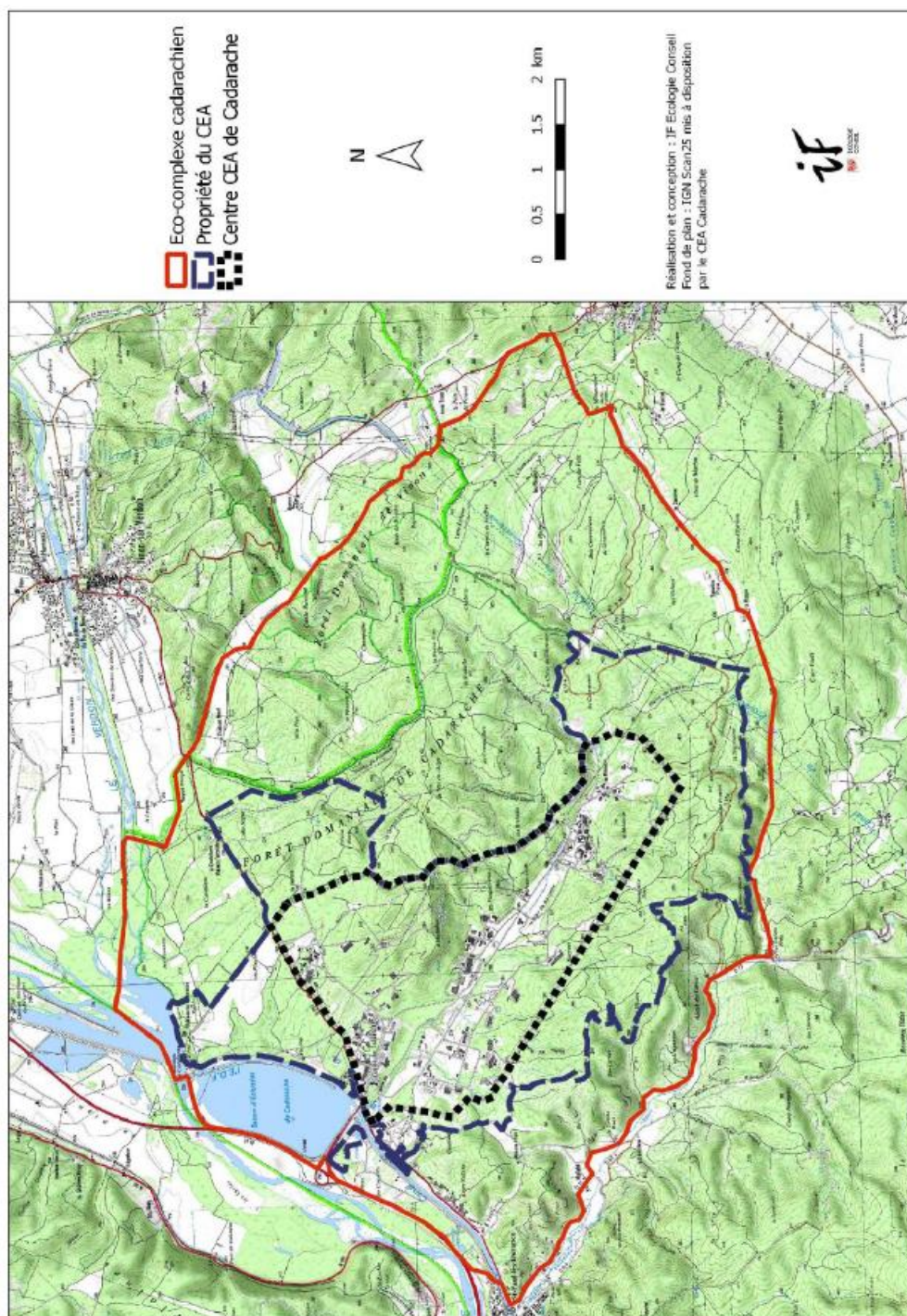
Aujourd'hui la prise en compte de nouveaux enjeux se rajoute à cette préoccupation initiale. Le domaine est apprécié pour la qualité de ses paysages et de son environnement naturel qui constitue le cadre de vie des personnels intervenants sur le Centre et sur ITER. Ce paysage tire sa qualité de sa composante forestière qui a gardé une grande part de sa naturalité. Il est important de veiller à préserver ce cadre, par une intégration respectueuse, lors de l'implantation des nouvelles installations ou infrastructures.

Désormais, le « Schéma Directeur de gestion de la forêt et des milieux naturels de Cadarache 2010-2019 », élaboré par l'Office National des Forêts (ONF), est un outil de gestion durable de l'espace naturel qui dresse un état des lieux du patrimoine forestier et propose un plan d'actions sur dix ans. Cette démarche s'appuie sur deux conventions passées avec l'ONF. Une convention existe également pour la gestion des grands gibiers avec l'Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage (ONCFS).

1.8.1 Introduction

Plus de 40 études écologiques et environnementales ont été réalisées depuis 2003 sur l'aire d'étude. Elles ont mis en évidence l'existence d'espèces protégées, végétales et animales, qui vivent dans une relativement grande variété d'habitats. La synthèse de ces études a été réalisée fin 2016 par la société IF-Ecologie Conseil et les éléments correspondants sont présentés dans les paragraphes suivants.

Au nord du site, l'ONF gère deux forêts domaniales d'un grand intérêt naturel (Cadarache et Vinon). Tout cet ensemble collinaire bordé à l'ouest par La Durance, au nord par le Verdon et le ruisseau du Boutre, à l'est par le vallon de Rouvière Plane, au sud par le vallon des Dérots et de l'Abéou, peut être considéré comme faisant partie d'un même éco-complexe, appelé « éco-complexe Cadarachien » et figuré schématiquement comme l'intérieur de la ligne jaune sur la figure ci-après.



Eco-complexe Cadarachien

1.8.2 Contexte écologique

Le contexte écologique replace le site dans l'ensemble des espaces naturels réglementés qui l'entourent. A la confluence de 4 départements, le site est très riche en espaces réglementés.

Les secteurs écologiquement les plus riches du territoire français sont officiellement identifiés sous la forme d'une désignation au titre d'un ou plusieurs programme(s) de connaissance ou de protection du patrimoine naturel. La définition de ces espaces s'appuie notamment sur les notions d'habitats naturels et d'espèces remarquables (aussi qualifiés

« d'intérêt patrimonial »), qui correspondent à des éléments rares ou originaux qu'il est important de préserver.

Les divers types de zonages qui se rencontrent autour du Centre de Cadarache sont :

- les Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique, Floristique et Faunistique (ZNIEFF) ; il existe des **ZNIEFF dites de type 1**, de surface généralement limitée, se caractérisent par la présence d'habitats ou d'espèces particulièrement remarquables et des **ZNIEFF dites de type 2**, grands ensembles naturels riches et peu altérés, offrent des potentialités écologiques importantes et peuvent inclure une ou plusieurs ZNIEFF de type 1.
- les Zones de Protection Spéciale (ZPS) – Zones Spéciale de Conservation (ZSC) – Réseau Natura 2000 ; les ZPS sont désignées en application de la directive européenne 79/409/CEE dite « Oiseaux » et les ZSC conformément à la directive 92/43/CEE dite « Habitats ». Les ZPS ne concernent que les oiseaux et leurs habitats propres ; les ZSC prennent en compte les autres habitats et groupes d'espèces. Les ZPS et ZSC forment le réseau européen Natura 2000, qui vise la conservation d'un ensemble de sites importants pour la préservation du patrimoine naturel à l'échelle du continent.
- les Parcs Naturels Régionaux (PNR) qui s'inscrivent dans des territoires ruraux de grandes qualités paysagère, naturelle et culturelle. Leur fonctionnement repose sur un projet de développement durable à objectif de protection et valorisation du patrimoine naturel et culturel.
- les Réserves de Biosphère qui sont des zones de protection de la biodiversité dans le cadre du maintien local d'activités économiques. Aucune contrainte réglementaire particulière n'est associée à ce dispositif, hormis celles découlant des espaces protégés (parc national, réserve naturelle, arrêté de protection de biotope...) constituant l'aire centrale.
- les Arrêtés Préfectoraux de Protection de Biotope (APPB) ; les activités interdites ou réglementées au sein de ce site sont précisées dans l'arrêté.

Situation de la zone étudiée

Le Centre de Cadarache s'inscrit en bordure de la vallée de la Durance, en rive gauche, au niveau de la confluence avec le Verdon, entre trois entités écologiques d'importance : le Bas-Verdon à l'est, la Montagne Sainte-Victoire au sud-ouest et le Luberon au nord-ouest. Il s'intègre donc dans un secteur de haute valeur patrimoniale pour la faune et la flore.

La vallée de la Durance est inscrite au réseau Natura 2000 en tant que Zone de Protection Spéciale (ZPS n° FR9312003), et en tant que Zone Spéciale de Conservation (ZSC n° FR9301589).

Plusieurs Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique, Floristique et Faunistique (ZNIEFF) de types 1 et 2 sont recensées le long de son parcours. Le cours d'eau et ses abords accueillent de nombreuses espèces d'intérêt patrimonial, dont certaines plantes extrêmement rares en France telles que le Polygale grêle (*Polygala exilis*) ou le Corisperme à fruits ailés (*Corispermum leptopterum*). La mosaïque de milieux naturels aquatiques à xérophiles (iscles, lônes, ripisylves, roselières, anciennes gravières, pelouses sèches...) est favorable à une grande richesse spécifique, où s'entremêlent les éléments méditerranéens et alpins. Parmi les espèces remarquables typiques des cortèges duranciens, signalons la Petite Massette (*Typha minima*), plante du bord des eaux calmes, et le Castor d'Europe.

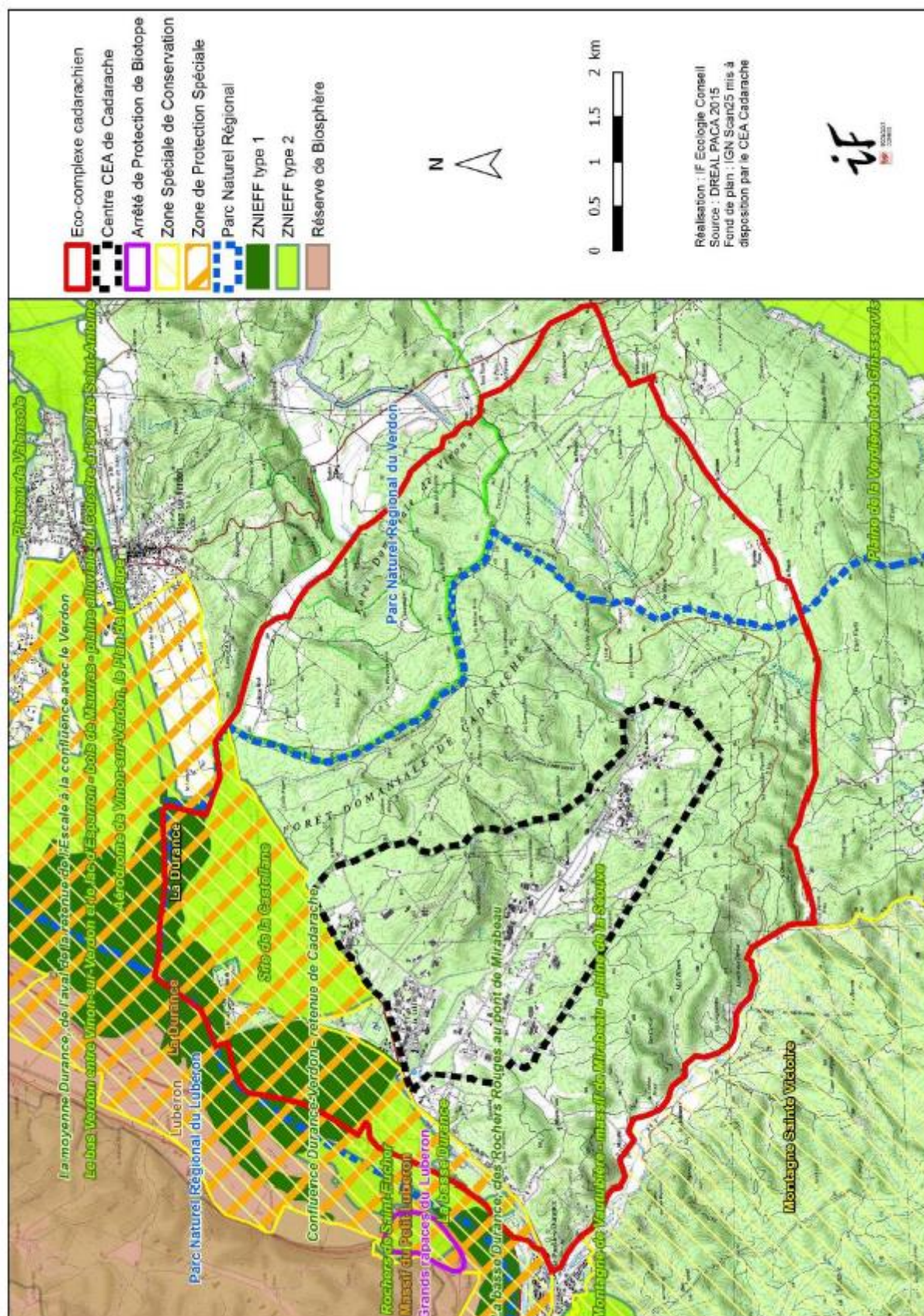


Agrion bleuisseant
Photo prise hors site : Vincent Carrère

Le tableau ci-après dresse la liste des zonages d'inventaire et de protection du patrimoine naturel recensés au sein et à proximité immédiate de l'éco-complexe Cadarachien et du Centre clôturé du CEA Cadarache ; la carte situe les zonages d'inventaire et de protection du patrimoine naturel présents à proximité de l'éco-complexe.

Type de zonage	Nom de la zone	Localisation par rapport :	
		à l'éco-complexe cadarachien	au Centre CEA de Cadarache
Inventaire patrimonial (Réglementation nationale)			
ZNIEFF de type 1	Confluence Durance-Verdon – Retenue de Cadarache (n° 13-100-139, 83-100-144 et 84-100-129)	Inclus	Limitrophe
	La basse Durance, des Rochers Rouges au Pont de Mirabeau (n° 13-150-141 et 84-123-130)	Limitrophe	1,3 km
	La moyenne Durance, de l'aval de la retenue de l'Escale à la confluence avec le Verdon (n° 04-100-189 et 83-100-143)	0,6 km	2,2 km
ZNIEFF de type 2	La basse Durance (n° 13-150-100 et 84-123-100)	Inclus	0,1 km
	Site de la Castellane (n° 13-147-100)	Inclus	Limitrophe
	Le bas Verdon entre Vinon-sur-Verdon et le lac d'Esparron – Bois de Maurras – Plaine alluviale du Colostre à l'aval de Saint-Antoine (n° 83-117-100)	Limitrophe	1,7 km
	Aérodrome de Vinon-sur-Verdon, le Plan de la Clape (n° 83-194-100)	Limitrophe	1,9 km
	Montagne de Vautubière – Massif de Mirabeau – Plaine de la Séouve (n° 13-132-100)	0,4 km	2,5 km
	Rochers de Saint-Eucher (n° 84-110-100)	0,45 km	1,2 km
Protection réglementaire (Réglementation départementale)			
Arrêté Préfectoral de Protection de Biotope	Grands rapaces du Luberon	0,45 km	1,3 km
Engagement international			
Réserve de Biosphère	Luberon	Limitrophe	0,9 km
Protection contractuelle (Réglementation européenne)			
Zone Spéciale de Conservation	La Durance (n° FR9301589)	Inclus	Limitrophe
	Montagne Sainte-Victoire (n° FR9301605)	Limitrophe	1,2 km
Zone de Protection Spéciale	La Durance (n° FR9312003)	Inclus	Limitrophe
	Massif du Petit Luberon (n° FR9310075)	0,45 km	1,3 km
Protection contractuelle (Réglementation nationale)			
Parc Naturel Régional	Verdon	Inclus	0,9 km
	Luberon	Limitrophe	1 km

Liste des zones d'inventaire et de protection du patrimoine naturel présentes à proximité de l'éco-complexe



Zonages d'inventaire et de protection du patrimoine naturel présents à proximité de l'éco-complexe

1.8.3 Trames vertes et bleues en présence

La démarche de Trame Verte et Bleue (TVB) a pour objectif d'enrayer l'érosion de la biodiversité en préservant les corridors écologiques et les réservoirs de biodiversité, qui constituent des espaces essentiels aux espèces pour réaliser tout ou partie de leur cycle de vie et assurer les échanges génétiques.

Les corridors écologiques permettent les déplacements des espèces animales entre :

- les différentes populations du secteur ;
- les habitats nécessaires au bon déroulement de leur cycle biologique (sites de reproduction, d'alimentation, d'hibernation...) regroupés au sein de réservoirs de biodiversité.

Il s'agit principalement des haies, fossés, bandes enherbées, cours d'eau...

Les **réservoirs de biodiversité** sont les zones où les espèces à enjeux peuvent accomplir leurs cycles biologiques. Riches sur le plan du patrimoine naturel (sites Natura 2000, parcs nationaux, réserves naturelles...), ils accueillent également de nombreux habitats complémentaires (boisements, prairies, plans d'eau...) nécessaires à la survie des animaux et végétaux.

Le Schéma Régional de Cohérence Ecologique (SRCE) constitue le volet régional de la Trame Verte et Bleue qui vise à maintenir ou reconstituer à l'échelle nationale un réseau permettant la circulation, l'alimentation, la reproduction des espèces animales et végétales. Il est destiné à aider les collectivités, les établissements publics, les entreprises, les particuliers à définir et mener des actions concrètes d'organisation durable de leurs territoires. Réglementairement, les collectivités territoriales et l'Etat doivent prendre en compte le SRCE dans le cadre de l'élaboration de leurs documents d'urbanisme, ainsi que dans leurs projets d'aménagement.

La **trame verte** se compose des habitats terrestres et, en fonction des milieux dominants, se divise en plusieurs sous trames :

- boisée, correspondant aux espaces forestiers ;
- semi-ouverte : végétation arbustive telle que garrigues, fourrés, landes...
- ouverte, représentée par les zones herbacées : pelouses, prairies, cultures...

La **trame bleue** regroupe les milieux aquatiques : cours d'eau et plan d'eau.

Le Centre de Cadarache comprend plusieurs espaces identifiés au Schéma Régional de Cohérence Ecologique comme réservoirs de biodiversité de la trame verte dont l'objectif assigné est « à préserver », qui appartiennent aux sous-trames :

- forestière, couvrant les deux tiers est du Centre intra-muros ;
- semi-ouverte, présente uniquement en bordure sud du site.

La trame bleue (au sens du SRCE) est absente de l'enceinte du Centre de Cadarache.

Au sein de l'éco-complexe, mais hors du Centre de Cadarache, on retrouve les composantes forestière et semi-ouverte de la **trame verte** qui occupent des surfaces importantes en particulier au centre, au nord et au sud-ouest (sous-trame forestière) ainsi qu'au sud et à l'est (sous-trame semi-ouverte) ; elles sont accompagnées dans la partie ouest de réservoirs complémentaires de la trame verte.

La **trame bleue** locale de l'éco-complexe hors Centre rassemble les :

- rivières Durance à l'ouest et Verdon au nord ;
- ruisseaux de l'Abéou au sud-ouest et de Boutre au nord ;
- plans d'eau (bassin d'éclusées à l'ouest).

Elle est bordée d'espaces permettant théoriquement la mobilité des cours d'eau, soit les zones de fond de vallées dans lequel le cours d'eau peut potentiellement divaguer.

1.8.4 Habitats naturels

Fin 2016, 37 types d'habitats naturels différents ont été recensés au sein de l'éco-complexe Cadarachien ; ils se structurent autour de trois grands ensembles :

- les milieux secs couvrant une large part de la zone d'étude ;
- les habitats humides proches du Verdon et de la Durance ;
- les espaces urbanisés présents principalement dans le Centre de Cadarache et sur la zone ITER.

Certains de ces milieux revêtent une importance spécifique :

- ils sont rares, menacés, riches sur le plan naturaliste ou accueillent des espèces ou des fonctions écologiques particulières ;
- ils sont inscrits à l'annexe I de la directive européenne 92/43/CEE dite « Habitats », qui répertorie les habitats dont la conservation nécessite la désignation de Zones Spéciales de Conservation (même si leur présence n'implique pas pour autant la création systématique de tels périmètres) ; ils sont dits « d'intérêt communautaire », les plus remarquables étant qualifiés de « prioritaires ».

Milieux secs

Le territoire de l'éco-complexe Cadarachien est dominé par de petites collines calcaires sèches couvertes d'une végétation méditerranéenne typique, mosaïque de zones rocheuses, de pelouses sèches, de garrigues, de pinèdes et de chênaies méditerranéennes.

Les **formations rocheuses et les falaises** sont rares sur le site (0,2% des zones répertoriées) ; elles sont l'habitat d'une flore rupestre qui croît à la faveur de petites anfractuosités ou d'interstices recueillant un peu d'eau et de matière organique. Les plantes adaptées à ces conditions particulières sont peu nombreuses : Orpin élevé (*Sedum sediforme*), Orpin blanc (*Sedum album*), Joubarbe des sols calcaires (*Sempervivum calcareum*)..., et constituent des habitats d'intérêt communautaire dénommés « Pentes rocheuses calcaires avec végétation chasmophytique » (code Natura 2000 : 8210).

Les pelouses sèches, installées sur les pentes rocailleuses ou dans les clairières des boisements, sont bien représentées localement. Autrefois entretenues par pâturage, elles sont désormais principalement maintenues grâce au débroussaillage des bords de pistes. Elles sont composées d'une strate herbacée dominante, où poussent de nombreuses graminées comme le Brachypode rameux (*Brachypodium retusum*), l'Avoine faux-brome (*Avenula bromoides*), la Koelérie du Valais (*Koeleria vallesiana*), ..., accompagnées de sous-arbrisseaux : la Badasse à cinq folioles (*Dorycnium pentaphyllum*), la Fumana fausse-bruyère (*Fumana ericoides*), la Sarriette des montagnes (*Satureja montana*), le Thym commun (*Thymus vulgaris*)... Certaines de ces pelouses sont d'intérêt communautaire : « Parcours substeppiques de graminées et annuelles du Thero-Brachypodietea » (habitat prioritaire – code Natura 2000 : 6220) et « Formations herbacées sèches semi-naturelles et faciès d'emboisement sur calcaire (*Festuco-Brometalia*) » (habitat prioritaire pour les sites d'orchidées remarquables – code Natura 2000 : 6210).

Les garrigues, formations arbustives sèches, remplacent les pelouses sèches là où elles ne sont plus entretenues. Elles couvrent des surfaces assez importantes au sud du Centre de Cadarache, mais sont plus localisées ailleurs. En fonction de la nature des sols et des conditions climatiques locales, l'espèce dominante y est différente : Romarin (*Rosmarinus officinalis*), Thym (*Thymus vulgaris*), Chêne kermès (*Quercus coccifera*), Buis (*Buxus sempervirens*)...

Au sein des boisements, les pinèdes à Pin d'Alep (*Pinus halepensis*) ou à Pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) constituent régulièrement des mosaïques avec les chênaies. Les premières se développent à des endroits plus chauds et secs (principalement au sud du Centre, de chaque côté de la clôture) que les secondes (en particulier dans la Forêt Domaniale de Vinon, au nord-est de l'éco-complexe).

Les chênaies vertes et pubescentes occupent localement de grands espaces ; il s'agit des habitats dominants de l'éco-complexe Cadarachien (54% des surfaces cartographiées). La chênaie verte préfère les endroits les plus chauds et secs, alors que la chênaie pubescente s'étend dans les secteurs où le sol est plus profond et l'ambiance plus fraîche. Les plantes caractéristiques des chênaies sont représentées par : la Bétoine officinale (*Stachys officinalis*), le Buis (*Buxus sempervirens*), le Cytise à feuilles sessiles (*Cytisophyllum sessilifolium*), le Genêt poilu (*Genista pilosa*), la Germandrée petit-chêne (*Teucrium chamaedrys*), la Laïche de Haller (*Carex halleriana*)...



Forêts à *Quercus ilex* et *Quercus rotundifolia*
Photo prise sur site : Vincent Carrère

Les chênaies vertes les plus matures correspondent à l'habitat d'intérêt communautaire : « Forêts à *Quercus ilex* et *Quercus rotundifolia* » (code Natura 2000 : 9340).

Milieux humides

A proximité de la Durance et du Verdon, soit en marge de l'éco-complexe Cadarachien (à ses nord et nord-ouest), on rencontre des mosaïques de milieux humides : plans d'eau, rivières, roselières, prairies humides et peupleraies.

Le bassin d'écluesées est le plan d'eau le plus important du secteur. Bien qu'artificiel, il accueille par endroits à sa périphérie des roselières. Quelques mares temporaires ou permanentes se retrouvent également çà et là.

Les cours d'eau traversent essentiellement l'extrémité nord de la zone, au niveau du Verdon. Ils abritent plusieurs habitats d'intérêt communautaire liés :

- à la végétation immergée des rivières : « Rivières des étages planitiaire à montagnard avec végétation du *Ranunculion fluitantis* et du *Callitriche-Batrachion* » (code Natura 2000 : 3260) ;
- aux bancs de sables et de graviers : « Rivières permanentes méditerranéennes à *Glaucium flavum* » (code Natura 2000 : 3250) et « Rivières permanentes méditerranéennes du *Paspalo-Agrostidion* avec rideaux boisés riverains à *Salix* et *Populus alba* » (code Natura 2000 : 3280).



Forêts-galeries à *Salix alba* et *Populus alba*
Photo prise sur site : Vincent Carrère

Quelques roselières, peuplements dominés par le Roseau commun (*Phragmites australis*), poussent par endroits en bordure des plans d'eau ou dans des dépressions humides.

Les prairies humides couvrent de faibles surfaces dans certaines grandes clairières des peupleraies ; elles correspondent à un habitat d'intérêt communautaire : « Prairies humides méditerranéennes à grandes herbes du *Molinio-Holoschoenion* » (code Natura 2000 : 6420).

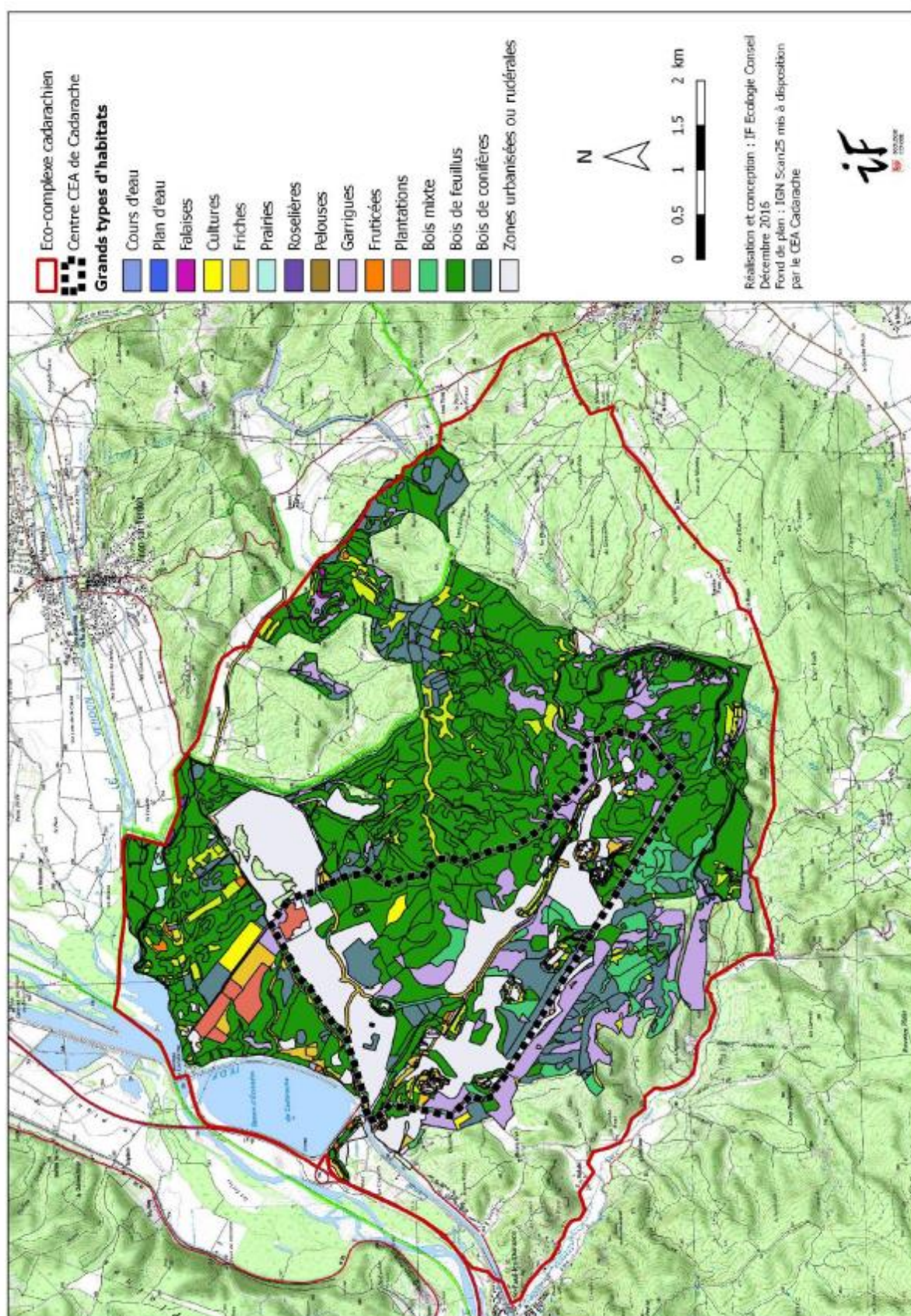
Les peupleraies sont l'habitat humide le mieux représenté dans le périmètre de l'éco-complexe. L'essence dominante est le Peuplier blanc (*Populus alba*), accompagné par endroits des Peuplier noir (*Populus nigra*), Frêne à feuilles étroites (*Fraxinus angustifolia*), Saule blanc (*Salix alba*)... Ces boisements sont d'intérêt communautaire : « Forêts-galeries à *Salix alba* et *Populus alba* » (code Natura 2000 : 92A0).

Milieus urbanisés

Les espaces urbanisés se répartissent principalement au nord, à l'ouest et au sud du Centre de Cadarache. Bâtiments, voiries et aires de stationnement sont parsemés de plantations ornementales, et de friches entretenues par fauche et plus ou moins régulièrement retournées par les sangliers. Les cortèges floristiques associés réunissent des plantes :

- **des lieux piétinés** : la Cardamine hérissée (*Cardamine hirsuta*), la Centranthe chausse-trape (*Centranthus calcitrapae*), le Cynodon dactyle (*Cynodon dactylon*), l'Erodium à feuilles de cigüe (*Erodium cicutarium*), ...
- **des tonsures annuelles** : Brome de Madrid (*Anisantha madritensis*), Brome rouge (*Bromus rubens*), Koelérie à crête (*Rostraria cristata*), Mouron bleu (*Lysimachia arvensis subsp. caerulea*), Trèfle champêtre (*Trifolium campestre*)...
- **de friches** telles que Calament népéta (*Clinopodium nepeta*), Marrube commun (*Marrubium vulgare*), Molène sinuée (*Verbascum sinuatum*), Verveine officinale (*Verbena officinalis*), Vipérine commune (*Echium vulgare*)...
- **de pelouses sèches** comme l'Achillée tomenteuse (*Achillea tomentosa*), l'Astragale blanchâtre (*Astragalus incanus*), la Crapaudine de Provence (*Sideritis provincialis*), la Germandrée tomenteuse (*Teucrium polium*), ...

Les différents types d'habitats rencontrés sur l'éco-complexe Cadarachien sont recensés sur la carte ci-après.



Localisation des grands types d'habitats recensés fin 2016 sur l'éco-complexe Cadarachien

1.8.5 Espèces végétales et animales remarquables

De nombreuses espèces végétales et animales ont été inventoriées dans le périmètre de l'éco-complexe Cadarachien ; plusieurs d'entre elles possèdent un statut particulier, c'est-à-dire :

- une inscription :

- à l'annexe II et/ou IV de la directive européenne 92/43/CEE dite « Habitats », en distinguant les espèces qualifiées de « prioritaires » ;
- à l'annexe I de la directive européenne 79/409/CEE dite « Oiseaux » ;
- sur les listes des espèces protégées en France ou en région Provence – Alpes – Côte d'Azur établies par arrêtés du Ministère en charge de l'Environnement et consultables sur www.legifrance.gouv.fr ;
- sur la liste des espèces déterminantes ou remarquables pour la création des ZNIEFF en PACA, disponibles auprès de la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL PACA), antenne locale du Ministère en charge de l'Environnement ;
- sur les listes rouges régionales (ou à défaut nationales) constituées par les organismes compétents pour chaque groupe taxonomique en fonction des tendances évolutives (régression, stabilité ou augmentation) observées pour chaque espèce, et coordonnées par le Comité français de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) ;

- une rareté au niveau régional évaluée à dire d'expert sur la base des atlas de répartition des espèces réalisés ou en cours.

Les plantes protégées ou de niveau de rareté qualifié au moins d'« assez rare », et les animaux de niveau de rareté au moins « assez commun » ou inscrit à l'annexe II de la directive « Oiseaux » ou l'annexe III de la directive « Habitats », sont dits « remarquables » dans les paragraphes ci-après, où ils sont présentés par groupe taxonomique.

Espèces végétales remarquables

37 espèces végétales remarquables sont connues dans l'éco-complexe cadarachien, dont 15 sont protégées, ce qui représente une richesse spécifique importante par rapport à la superficie du territoire étudié (environ 5 000 ha). La plupart de ces plantes se trouvent à l'extérieur du Centre intra-muros. Il s'agit pour l'essentiel de plantes de milieux secs se développant dans :

- les pelouses sèches : Cleistogène tardif (*Kengia serotina*), Gagée de Lacaita (*Gagea lacaitae*), Ophrys de la Drôme (*Ophrys saratol*), Ophrys de Provence (*Ophrys provincialis*)...
- les lisières de chênaies : Fraxinelle blanche (*Dictamnus albus*), Inule variable (*Inula bifrons*), Luzerne agglomérée (*Medicago sativa subsp. glomerata*)...
- les zones rocheuses : Joubarbe des terrains calcaires (*Sempervivum calcareum*)...
- les friches sèches : Nonnée brune (*Nonea erecta*)...

Cependant, quelques espèces liées aux milieux humides sont également présentes :

- dans les rivières : Potamot coloré (*Potamogeton coloratus*)...



Nonnée brune

Photo prise sur site : Vincent Carrère

- sur les berges : Laîche faux-souchet (*Carex pseudocyperus*), Ophioglosse commun (*Ophioglossum vulgatum*)...
- dans les prairies humides : Euphorbe des marais (*Euphorbia palustris*), Genêt des teinturiers (*Genista tinctoria*)...
- au sein des ripisylves : Inule de Suisse (*Inula helvetica*), Vigne sauvage (*Vitis vinifera* subsp. *sylvestris*)...

Par ailleurs, plusieurs végétaux remarquables sont liés aux zones d'agriculture traditionnelle : Anémone couronnée (*Anemone coronaria*), Caucalis à fruits plats (*Caucalis platycarpus*), Chardon béni (*Centaurea benedicta*), Gagée des champs (*Gagea villosa*), Nigelle de France (*Nigella gallica*), Tulipe indéterminée (*Tulipa* sp.)...

Le tableau suivant dresse la liste des espèces végétales remarquables recensées dans l'éco-complexe Cadarachien. Il mentionne pour chaque espèce son degré de rareté en PACA et son statut éventuel sur les listes rouges nationale et régionale pour lesquels les abréviations utilisées sont les suivantes (NB : elles seront les mêmes dans tous les tableaux suivants relatifs aux espèces) :

Rareté en PACA		Listes Rouges	
R	Rare	CR	En danger critique
AR	Assez rare	EN	En danger
AC	Assez commun	VU	Vulnérable
C	Commun	NT	Quasi menacé

Nom français	Nom scientifique	Rareté PACA	Protection	Directive « Habitats »	Liste Rouge France	Liste Rouge PACA	ZNIEFF PACA
Espèces végétales protégées							
Anémone couronnée	<i>Anemone coronaria</i>	AR	Nationale				Remarquable
Cleistogène tardif	<i>Kengia serotina</i>	AR	Régionale				Déterminant
Fraxinelle blanche	<i>Dictamnus albus</i>	R	Régionale				Déterminante
Gagée de Lacaita	<i>Gagea lacaitae</i>	AR	Nationale				Remarquable
Gagée des champs	<i>Gagea villosa</i>	AR	Nationale				Remarquable
Inule variable	<i>Inula bifrons</i>	R	Nationale				Déterminante
Laîche faux-souchet	<i>Carex pseudocyperus</i>	R	Régionale				Remarquable
Luzerne agglomérée	<i>Medicago sativa</i> subsp. <i>glomerata</i>	AR	Régionale				Remarquable
Nigelle de France	<i>Nigella gallica</i>	R	Nationale		VU	VU	Déterminante
Nonnée brune	<i>Nonea erecta</i>	R	Nationale				Déterminante
Ophioglosse commun	<i>Ophioglossum vulgatum</i>	AR	Régionale				Déterminant
Ophrys de Bertoloni	<i>Ophrys bertolonii</i>	AR	Nationale		NT		Déterminant

Nom français	Nom scientifique	Rareté PACA	Protection	Directive « Habitats »	Liste Rouge France	Liste Rouge PACA	ZNIEFF PACA
Ophrys de la Drôme	<i>Ophrys saratoi</i>	AR	Nationale		NT		Remarquable
Ophrys de Provence	<i>Ophrys provincialis</i>	AC	Régionale				Remarquable
Tulipe indéterminée	<i>Tulipa sp.</i>	-	Nationale		-	-	-
Vigne sauvage	<i>Vitis vinifera</i> subsp. <i>sylvestris</i>	R	Nationale				Remarquable
Violette de Jordan	<i>Viola jordanii</i>	AR	Régionale				Remarquable
Autres espèces végétales remarquables							
Caucalis à fruits plats	<i>Caucalis platycarpus</i>	AR					
Chardon béni	<i>Centaurea benedicta</i>	AR					
Cynoglosse de Dioscoride	<i>Cynoglossum dioscoridis</i>	R					Déterminant
Euphorbe des marais	<i>Euphorbia palustris</i>	R					
Fléole en panicule	<i>Phleum paniculatum</i>	AR					Déterminante
Fritillaire à involucre	<i>Fritillaria involucreta</i>	AR					
Genêt de Villars	<i>Genista pulchella</i> subsp. <i>villarsiana</i>	AR					
Genêt des teinturiers	<i>Genista tinctoria</i>	AR					
Hippocrépide à deux fleurs	<i>Hippocrepis biflora</i>	AR					
Hysope	<i>Hyssopus officinalis</i>	AR					
Ibérus cilié	<i>Iberis ciliata</i>	R					
Inule de Suisse	<i>Inula helvetica</i>	AR					
Joubarbe des terrains calcaires	<i>Sempervivum calcareum</i>	R					
Orchis brûlé	<i>Neotinea ustulata</i>	AR					
Potamot coloré	<i>Potamogeton coloratus</i>	AR					Déterminant

Nom français	Nom scientifique	Rareté PACA	Protection	Directive « Habitats »	Liste Rouge France	Liste Rouge PACA	ZNIEFF PACA
Renoncule à feuilles capillaires	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	AR					
Rue des montagnes	<i>Ruta montana</i>	AR					
Scabieuse simple	<i>Lomelosia simplex</i>	R			VU		Déterminante
Serratule à tige nue	<i>Klasea nudicaulis</i>	AR					
Téléphium d'Impérato	<i>Telephium imperati</i>	AR					

Espèces végétales remarquables recensées dans l'éco-complexe Cadarachien

Oiseaux remarquables

Dans l'éco-complexe sont recensés 19 oiseaux remarquables. Parmi les nicheurs potentiels, il est à noter la présence de la Lusciniole à moustaches, passereau paludicole rare en PACA qui se reproduit de manière régulière dans la basse vallée de la Durance ; elle a été observée en bordure du Verdon. Les autres espèces sont assez fréquentes dans l'ensemble du secteur, notamment au sein du Centre intra-clôtures, où elles occupent :

- les pelouses sèches (Alouette lulu et Pipit rousseline) ;
- les garrigues (Engoulevent d'Europe et Fauvette pitchou) ;
- les chênaies claires (Huppe fasciée et Rougequeue à front blanc) ;
- les boisements plus humides (Pic épeichette).

Nom français	Nom scientifique	Rareté PACA*	Protection nationale	Directive « Oiseaux »	Liste Rouge France*	Liste Rouge PACA*	ZNIEFF PACA
Alouette lulu	<i>Lullula arborea</i>	C	X	Annexe I			Remarquable
Bondrée apivore	<i>Pernis apivorus</i>	AR	X	Annexe I			Remarquable
Chevêche d'Athéna	<i>Athene noctua</i>	AC	X				Remarquable
Circaète Jean-le-Blanc	<i>Circaetus gallicus</i>	AC	X	Annexe I			Remarquable
Engoulevent d'Europe	<i>Caprimulgus europaeus</i>	AC	X	Annexe I			
Fauvette pitchou	<i>Sylvia undata</i>	C	X	Annexe I	EN		
Grand-duc d'Europe	<i>Bubo bubo</i>	AR	X	Annexe I			Remarquable
Huppe fasciée	<i>Upupa epops</i>	AC	X				Remarquable

Nom français	Nom scientifique	Rareté PACA*	Protection nationale	Directive « Oiseaux »	Liste Rouge France*	Liste Rouge PACA*	ZNIEFF PACA
Lusciniole à moustaches	<i>Acrocephalus melanopogon</i>	R	X	Annexe I	EN	VU	Déterminante
Milan noir	<i>Milvus migrans</i>	AC	X	Annexe I			
Nette rousse	<i>Netta rufina</i>	R	X	Annexe I		VU	Déterminante
Cedricnème criard	<i>Burhinus oedicanus</i>	AR	X	Annexe I			Remarquable
Petit-duc scops	<i>Otus scops</i>	AC	X				Remarquable
Pic épeichette	<i>Dendrocopos minor</i>	AC	X		VU		Remarquable
Pic noir	<i>Dryocopus martius</i>	AC	X	Annexe I			Remarquable
Pie-grièche à tête rousse	<i>Lanius senator</i>	R	X		VU	CR	Déterminante
Pie-grièche méridionale	<i>Lanius meridionalis</i>	AR	X		EN	EN	Remarquable
Pipit rousseline	<i>Anthus campestris</i>	AC	X	Annexe I		VU	Remarquable
Rougequeue à front blanc	<i>Phoenicurus phoenicurus</i>	AC	X				

Oiseaux remarquables recensés dans l'éco-complexe Cadarachien

Mammifères remarquables

Huit **chauves-souris** remarquables ont été notées sur la zone, uniquement en chasse ; aucun gîte de mise-bas ou d'hibernation n'a été découvert à ce jour dans le périmètre de l'éco-complexe. L'activité relevée pour ces espèces est généralement faible sur le site.

Le **Castor d'Europe** n'a été trouvé que dans la partie aval du Ravin de la Bête, hors du Centre intra-muros, mais il doit probablement fréquenter également les berges du Verdon, au nord de l'éco-complexe, qui lui offrent des habitats attractifs.



Barbastelle d'Europe
Photo prise hors site : Vincent Carrère

Nom français	Nom scientifique	Rareté PACA	Protection nationale	Directive « Habitats »	Liste Rouge France*	ZNIEFF PACA
Barbastelle d'Europe	<i>Barbastella barbastellus</i>	R	X	Annexes II et IV		Déterminante
Castor d'Europe	<i>Castor fiber</i>	AR	X	Annexes II et IV		Déterminant
Minioptère de Schreibers	<i>Miniopterus schreibersii</i>	R	X	Annexes II et IV	VU	Déterminant
Molosse de Cestoni	<i>Tadarida teniotis</i>	AC	X	Annexe IV		Remarquable
Murin de Capaccini	<i>Myotis capaccinii</i>	R	X	Annexes II et IV	VU	Déterminant
Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>	AC	X	Annexe IV	NT	Remarquable
Petit Murin	<i>Myotis blythii</i>	AR	X	Annexes II et IV	NT	Déterminant
Petit Rhinolophe	<i>Rhinolophus hipposideros</i>	AR	X	Annexes II et IV		Remarquable
Vespère de Savi	<i>Hypsugo savii</i>	AC	X	Annexe IV		Remarquable

Mammifères remarquables recensés dans l'éco-complexe Cadarachien
(NB : à part le Castor, toutes les autres espèces sont des chauves-souris)

Mammifères emblématiques

Une grande partie de la zone intra-clôture est un boisement, favorable à la grande faune avec quelques parties en garrigue qui contiennent notamment des ARB (Arbre Réservoir de Biodiversité). Cette zone est propice aux grands mammifères. On y rencontre notamment des mouflons de Corse, des cerfs sika et des sangliers qui y vivent en semi-liberté.



Sangliers (photo prise sur site)



Cerf (photo prise sur site)



Mouflon (photo prise sur site)

Reptiles et Amphibiens remarquables

Trois des **Reptiles** connus dans le périmètre sont considérés comme remarquables, parmi ceux-ci :

- le Psammodrome d'Edwards, bien représenté dans la plupart des milieux ouverts secs ;
- le Lézard ocellé, assez fréquent dans l'éco-complexe alors que l'espèce subit une régression marquée de ses effectifs sur toute son aire de répartition française. Ce lézard profite de l'entretien par débroussaillage autour des installations et des pistes ;
- le Seps strié rencontré en quelques endroits du site où il occupe les pelouses sèches.



Lézard ocellé

Photo prise sur le Centre de Cadarache :
Vincent Carrère

Concernant les **Amphibiens**, seul le Pélodyte ponctué est jugé remarquable dans le secteur. Il est observé essentiellement dans des mares à vocation cynégétique dans les boisements autour du Centre de Cadarache.

Nom français	Nom scientifique	Rareté PACA	Protection nationale	Directive « Habitats »	Liste Rouge France*	ZNIEFF PACA
Reptiles						
Lézard ocellé	<i>Timon lepidus</i>	AR	X		VU	Déterminant
Psammodrome d'Edwards	<i>Psammodromus hispanicus</i>	AC	X		NT	Remarquable
Seps strié	<i>Chalcides striatus</i>	AR	X			
Amphibien						
Pélodyte ponctué	<i>Pelodytes punctatus</i>	AC	X			Remarquable

Reptiles et Amphibiens remarquables recensés dans l'éco-complexe Cadarachien

Invertébrés remarquables

Plusieurs invertébrés (soit les insectes, araignées, scorpions, gastéropodes...) remarquables occupent l'éco-complexe Cadarachien ; il s'agit de :

- 1 libellule protégée : l'**Agrion de Mercure** (*Coenagrion mercuriale*), connu de la partie aval du Ravin de la Bête où ses populations restent faibles ;

- 19 papillons dont 4 protégés :

- le **Damier de la succise** (*Euphydryas aurinia*), observé principalement dans le secteur sud-est de l'éco-complexe. Sa chenille se développe sur la Céphalaire blanche (*Cephalaria leucantha*), plante poussant par endroits dans les pelouses sèches et les garrigues locales ;
- la **Diane** (*Zerynthia polyxena*), notée à ce jour uniquement dans le Centre intracôtures où elle se reproduit en petite population. Elle pond habituellement sur l'Aristolochie à feuilles rondes (*Aristolochia rotunda*), plante des milieux humides, mais peut se rencontrer parfois sur l'Aristolochie pistoloche (*Aristolochia pistolochea*) ;



Agrion de Mercure

Photo prise hors site : Vincent Carrère

- la **Proserpine** (*Zerynthia rumina*), régulièrement inventoriée dans les parties nord et est de l'éco-complexe. Ses œufs sont pondus sur l'Aristolochie pistoloche, plante bien représentée dans les milieux ouverts secs de tout le périmètre ;
- la **Zygène cendrée** (*Zygaena rhadamanthus*), assez fréquente localement dans les pelouses sèches. Sa plante-hôte est la Badasse à cinq folioles (*Dorycnium pentaphyllum*), très commune dans le secteur ;



Zygène cendrée



Proserpine

Photo prise sur site : Vincent Carrère



Damier de la succise

- 13 **Orthoptères** (Criquets, grillons et sauterelles) dont 2 protégés :

- le **Criquet hérisson** (*Prionotropis hystrix azami*), orthoptère le plus remarquable du secteur en raison de sa rareté et de son endémisme à cette partie de la Provence, qui se rencontre assez régulièrement dans les pelouses sèches de la partie est de l'éco-complexe ;
- la Magicienne dentelée (*Saga pedo*), recensée dans quelques garrigues, mais ses populations locales semblent faibles et localisées ;



Criquet hérisson

Photo prise sur site : Vincent Carrère

- 3 **Coléoptères** dont 2 protégés :

- le Pique-prune (*Osmoderma eremita*) dont l'existence au sein du périmètre considéré est particulièrement intéressante, puisque ce coléoptère est rare et fortement menacé par la disparition des vieux chênes qui constituent son principal habitat de reproduction ; cette espèce est connue de quelques arbres situés dans le nord et l'est du territoire ;
- le **Grand Capricorne** (*Cerambyx cerdo*), plus fréquent sur le site, observé en plusieurs endroits dans de vieux chênes ;



Grand Capricorne

Photo prise sur site : Vincent Carrère

- 3 **Névroptères** (asclaphes et fourmilions) non protégés ;

- 2 **scorpions** non protégés.

Nom français	Nom scientifique	Rareté PACA	Protection nationale	Directive « Habitats »	Liste Rouge France*	Liste Rouge PACA*	ZNIEFF PACA
Libellules							
Agrion de Mercure	<i>Coenagrion mercuriale</i>	AR	X	Annexes II et IV		NT	Remarquable
Papillons							
Azuré de l'orobe	<i>Meleageria daphnis</i>	AC					
Azuré de Lang	<i>Leptotes pirithous</i>	AC					
Cardinal	<i>Argynnis pandora</i>	AR					
Chevron blanc	<i>Hipparchia fidia</i>	AC					
Damier de la succise	<i>Euphydryas aurinia</i>	AC	X	Annexe II			
Diane	<i>Zerynthia polyxena</i>	AC	X	Annexe IV			Remarquable
Ecaille chinée	<i>Euplagia quadripunctaria</i>	AC		Annexe II			
Hespérie à bandes jaunes	<i>Pyrgus sidae</i>	AR					Déterminant
Hespérie de la ballote	<i>Carcharodus baeticus</i>	R			VU	VU	Déterminant

Nom français	Nom scientifique	Rareté PACA	Protection nationale	Directive « Habitats »	Liste Rouge France*	Liste Rouge PACA*	ZNIEFF PACA
Hespérie de la malope	<i>Pyrgus onopordi</i>	AR					
Hespérie des cirses	<i>Pyrgus cirsii</i>	AR			NT		Remarquable
Louvet	<i>Hyponephele lupina</i>	R			NT	EN	Remarquable
Marbré de Lusitanie	<i>Iberochloe tagis</i>	AR			NT	NT	Déterminant
Moiré provençal	<i>Erabia epistygne</i>	AR			NT	VU	Déterminant
Nacré de la filipendule	<i>Brenthis hecate</i>	AR					
Proserpine	<i>Zerynthia rumina</i>	AC	X				Remarquable
Thècle du frêne	<i>Laeosopis evippus</i>	AR					Remarquable
Zygène cendrée	<i>Zygaena rhadamanthus</i>	AC	X				Remarquable
Zygène de l'ononis	<i>Zygaena hilaris</i>	AC					Remarquable
Orthoptères (criquets, grillons et sauterelles)							
Arcyptère provençale	<i>Arcyptera kheili</i>	AR					Remarquable
Criquet de Jago	<i>Doclostaurus jagoi</i>	AC					
Criquet des chaumes	<i>Doclostaurus genei</i>	AC					
Criquet des Ibères	<i>Ramburiella hispanica</i>	AC					
Criquet du bragalou	<i>Euchorthippus chopardi</i>	AC					
Criquet hérisson	<i>Prionotropis hystrix azami</i>	R	X				Déterminant
Criquet marocain	<i>Doclostaurus maroccanus</i>	AC					
Decticelle des sables	<i>Platycleis sabulosa</i>	AR					
Ephippigère provençale	<i>Ephippiger provincialis</i>	AR					Remarquable
Grillon des jas	<i>Gryllomorpha uclensis</i>	AR					
Grillon testacé	<i>Eugryllodes pipiens</i>	AC					Remarquable

Nom français	Nom scientifique	Rareté PACA	Protection nationale	Directive « Habitats »	Liste Rouge France*	Liste Rouge PACA*	ZNIEFF PACA
Magicienne dentelée	<i>Saga pedo</i>	AC	X	Annexe IV			
Sténobothre occitan	<i>Stenobothrus festivus</i>	AR					Remarquable
Névroptères (ascalaphes et fourmilions)							
Ascalaphe blanc	<i>Libelloides lacteus</i>	AR					
Ascalaphe lorient	<i>Libelloides ictericus</i>	AR					Remarquable
Grand Fourmilion	<i>Palpares libelluloides</i>	AR					Remarquable
Coléoptères							
Grand Capricorne	<i>Cerambyx cerdo</i>	AC	X	Annexes II et IV			
Lucane cerf-volant	<i>Lucanus cervus</i>	C		Annexe II			
Pique-prune	<i>Osmoderma eremita</i>	R	X	Annexes II et IV			Déterminant
Scorpions							
Scorpion des Carpates	<i>Euscorpis tergestinus</i>	AR					
Scorpion languedocien	<i>Buthus occitanicus</i>	AR					Remarquable

Invertébrés remarquables recensés dans l'éco-complexe Cadarachien

1.8.6 Zones humides

En conformité avec la définition d'une zone humide exposée à l'article L211-1 du Code de l'Environnement (« terrains, exploités ou non, habituellement inondés ou gorgés d'eau douce, salée ou saumâtre de façon permanente ou temporaire ; la végétation, quand elle existe, y est dominée par des plantes hygrophiles pendant au moins une partie de l'année »), peu d'espaces possèdent localement de telles caractéristiques. En l'état des connaissances, deux zones humides sont à signaler sur le site :

- le **Ravin de la Bête (partie aval)**, occupé par un cours d'eau affluent de la Durance, intermittent dans sa partie amont et permanent à l'aval, qui recueille les eaux pluviales du Centre de Cadarache et dont les variations du niveau d'eau sont brutales notamment lors des épisodes orageux ; il fait l'objet d'un entretien régulier au titre de la prévention contre les inondations en évitant la formation d'embâcles par :
 - un débroussaillage des berges sur 5 m de large de chaque côté du cours d'eau ;
 - l'enlèvement des arbres tombés au sol dans un rayon de 20 m autour du lit mineur ;
- les **milieux en bordure du Verdon**, au nord de l'éco-complexe.

Leur délimitation précise n'est pas connue : seuls des relevés floristiques et/ou pédologiques réalisés dans le cadre des protocoles définis dans l'Arrêté du 24 juin 2008 pourraient l'attester et ils n'ont pas été mis en œuvre à ce jour : aucun projet générant la destruction ou l'altération de ces milieux, et nécessitant donc leur caractérisation précise, n'y a en effet été envisagé pour le moment.

D'autres zones humides existent probablement à l'ouest, à proximité de la Durance, mais la carence actuelle de données sur ce secteur ne permet pas présentement de les appréhender.

1.8.7 Fonctionnalités écologiques

L'éco-complexe Cadarachien est dominé par une trame composée d'une mosaïque de milieux secs : chênaies vertes et pubescentes (sous-trame boisée) parsemée de garrigues (sous-trame semioouverte) et de pelouses (sous-trame ouverte). Cet ensemble homogène ne montre pas, à ce stade de l'analyse, d'éléments qui se distinguent par une meilleure fonctionnalité pour la flore et la faune, à l'exception des boisements accueillant de nombreux vieux arbres qui dénotent une qualité d'habitat supérieure aux autres espaces forestiers et un rôle de réservoir de biodiversité.

En marge de cette trame de milieux secs se développent, dans les vallées, des habitats plus humides qui constituent des corridors de déplacement particuliers pour de nombreuses espèces (oiseaux, chauves-souris...), des zones d'alimentation ou des aires de repos ou d'hivernage. Il s'agit notamment du :

- complexe d'habitats humides (rivières, peupleraies, prairies humides, roselière...) proche du Verdon, au nord du périmètre, qui assure une connectivité importante entre la Durance, couloir majeur de migration et de déplacement des espèces à l'échelle régionale, et le Verdon, axe secondaire ;
- bassin d'éclusées, site important pour l'accueil des oiseaux migrateurs et hivernants ;
- **Ravin de la Bête**, identifié comme corridor écologique dont le rôle est significatif à l'échelle de l'éco-complexe, pour les espèces aquatiques uniquement dans sa partie aval en eau en permanence ; pour les espèces forestières sur une grande partie de son cours en lien avec les ripisylves qui l'accompagnent.

Ce corridor est néanmoins parsemé d'obstacles au déplacement des animaux : grille à la limite du Centre, parties souterraines..., mais offre des sections encore très fonctionnelles révélées notamment par l'abondance des sangliers et des chauves-souris relevés lors de l'établissement du diagnostic écologique de la zone en 2015.



Cours d'eau et ripisylve du Ravin de la Bête, corridors écologiques
Photo prise sur site : Vincent Carrère

1.8.8 Evaluation de l'enjeu écologique au sein de l'éco-complexe Cadarachien

L'enjeu écologique est évalué pour chaque unité de surface où le niveau d'information naturaliste est suffisant pour permettre une analyse ; il repose sur l'échelle suivante :

Enjeu écologique
Très fort
Fort
Assez fort
Moyen
Faible
Très faible

Echelle des niveaux d'enjeu écologique

L'enjeu écologique est globalement moyen à assez fort avec quelques secteurs présentant un niveau fort à très fort ; les milieux naturels peu diversifiés et les espaces très urbanisés sont généralement de faible à très faible valeur écologique.

Les enjeux moyens à assez forts sont le reflet de la riche biodiversité locale comprenant de nombreuses espèces d'intérêt patrimonial et des habitats naturels dans un bon état de conservation global.

Les enjeux forts à très forts sont liés à l'existence dans le secteur :

- **d'espèces rares à très rares**, menacées de disparition telles que le Pique-prune (*Osmoderma eremita* – coléoptère), et les papillons Louvet (*Hyponephele lupina*) et Moiré provençal (*Erebia epistygne*) ;
- **de milieux fonctionnels** d'importance régionale comme les habitats humides de la vallée du Verdon en amont de la confluence avec la Durance ;
- **d'espaces rendus particulièrement intéressants sur le plan naturaliste** par leur accueil de nombreuses espèces remarquables, par exemple les abords de la chapelle à l'ouest du château de Cadarache, qui malgré une faible surface permettent néanmoins le développement de populations importantes de quatre plantes assez rares dans la région : le Cleistogène tardif (*Kengia serotina*), la Fritillaire à involucre (*Fritillaria involucrata*), la Gagée de Lacaita (*Gagea lacaitae*) et l'Ophrys de Provence (*Ophrys provincialis*).

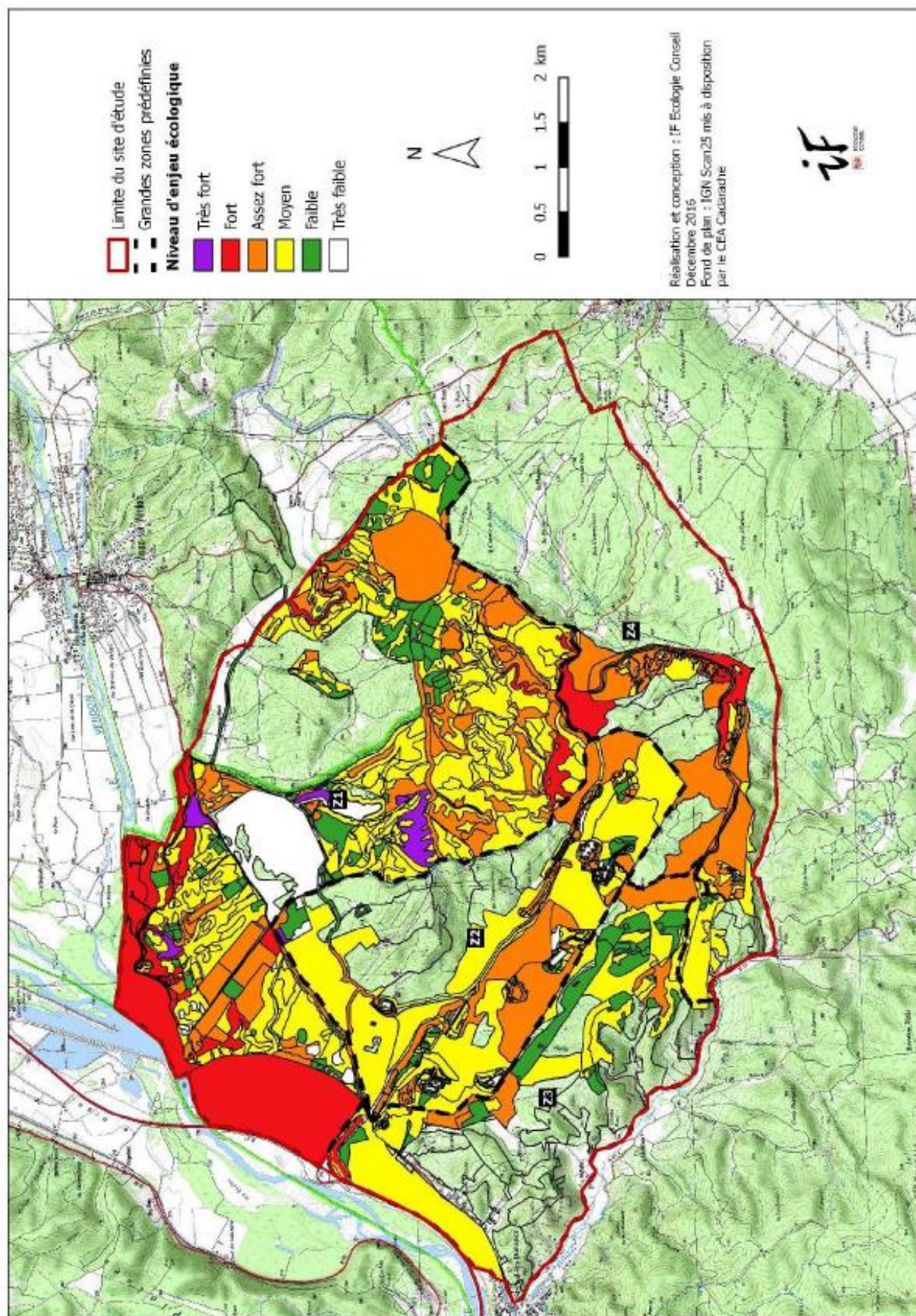


Fritillaire à involucre
Photo prise sur site : Vincent Carrère

En l'état des connaissances, les niveaux d'enjeux forts à très forts sont connus principalement au nord et à l'est de l'éco-complexe, en lien probablement avec un bon état de conservation des habitats.

Alors que, lors de la première synthèse écologique effectuée en 2011, plusieurs secteurs de l'éco-complexe étaient notés en enjeu fort, on constate que la meilleure connaissance des éléments naturels en présence, acquise grâce aux nombreuses études conduites in situ depuis 2011, permet désormais de pondérer ces enjeux en fonction de la fréquence locale des espèces concernées : c'est par exemple le cas pour le **Lézard ocellé**, auquel un enjeu fort était attribué alors que ce reptile, même s'il demeure globalement vulnérable et à surveiller, se révèle régulièrement observé à Cadarache, et les habitats où il est rencontré localement sont généralement entretenus par débroussaillage et parfois même urbanisés ; en conséquence, la valeur écologique des espaces qui l'accueillent n'est plus jugée qu'assez forte à ce jour sur le site.

La carte ci-après présente la localisation des enjeux écologiques recensés sur l'éco-complexe Cadarachien.



Localisation des enjeux écologiques recensés à ce stade sur l'éco-complexe Cadarachien

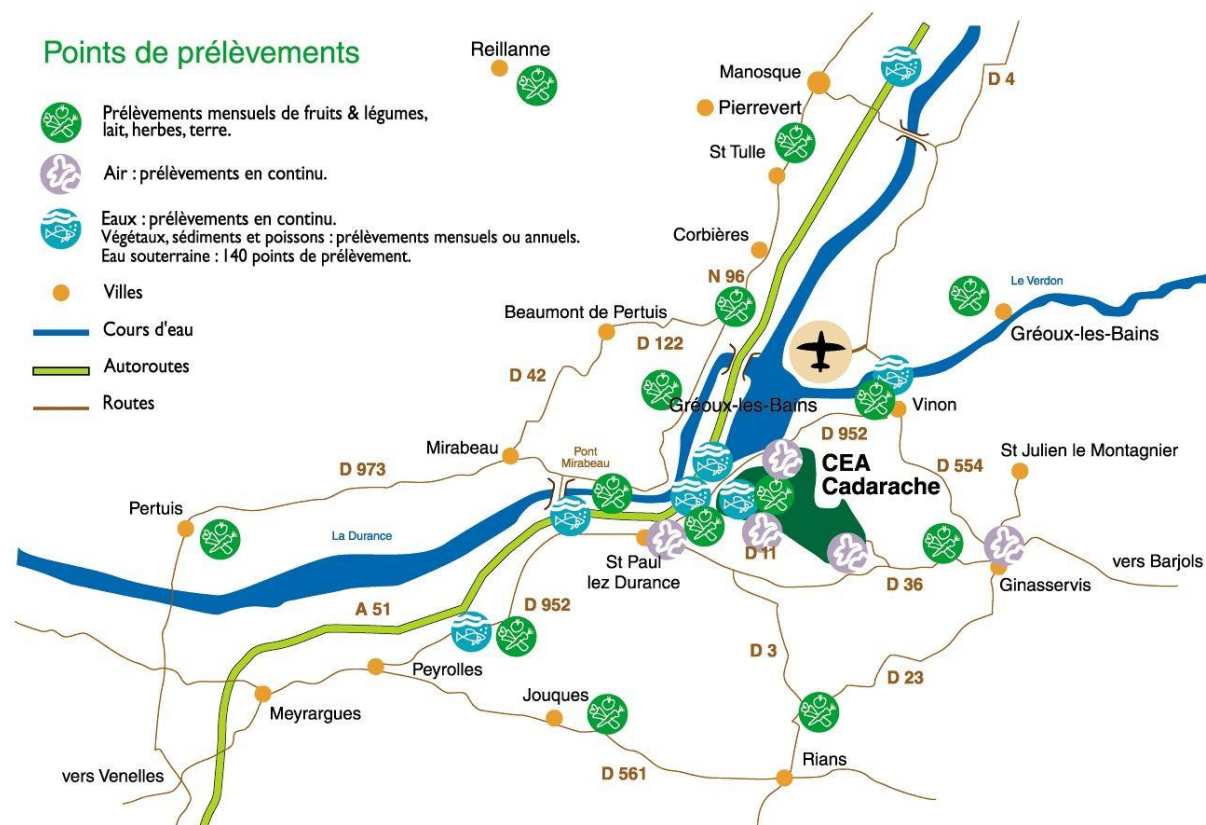
1.9 Etat de l'environnement

L'état de référence des caractéristiques physico-chimiques, biologiques et radiologiques de l'environnement, présenté dans ce chapitre, est basé principalement sur les résultats de la surveillance de l'environnement du site de Cadarache.

Les valeurs présentées dans les tableaux ci-après sont la moyenne des valeurs dites significatives, c'est-à-dire supérieures à la moitié de la limite de détection des mesures. Les résultats des mesures non significatives sont exprimés en inférieures (« < ») au seuil de décision (radiologique) ou de quantification (chimique).

La surveillance est réalisée conformément à l'arrêté préfectoral 113-2006-A du 25 septembre 2006, la décision ASN n°2010-DC-173 du 5 janvier 2010 et à l'arrêté interministériel du 15 octobre 2012 relatif à l'INBS. Cette surveillance, synthétisée dans la figure ci-dessous, porte sur le milieu atmosphérique, le milieu terrestre et le milieu aquatique. Elle est assurée par le laboratoire d'analyses nucléaires et de surveillance de l'environnement (LANSE) du Centre.

A quelques exceptions près, les résultats des mesures sont donnés pour les années 2013 et 2014, afin de pouvoir appréhender une éventuelle évolution des paramètres mesurés.



Points de prélèvements pour la surveillance de l'environnement

1.9.1 L'atmosphère

1.9.1.1 Radioactivité du milieu atmosphérique

Le laboratoire de surveillance de l'environnement effectue des contrôles sur les aérosols, les halogènes et le tritium.

Il mesure par ailleurs la radioactivité des retombées humides (précipitations) et l'irradiation ambiante.

Les stations fixes de la Grande Bastide, de la Verrerie et de Cabri assurent le contrôle et la surveillance atmosphérique à l'intérieur du Centre.

A l'extérieur du site, deux stations sont placées sous les vents dominants : la station de Ginasservis et la station de Saint Paul Lez Durance.

Le tableau ci-après présente les niveaux d'activité volumique moyens mesurés en 2013 et 2014 pour les aérosols et l'iode 131.

	Activité volumique moyenne (mBq/m ³)					
	α global		β global		¹³¹ I	
	2013	2014	2013	2014	2013	2014
Grande Bastide	0,10	0,11	0,66	0,65	<1,3	<1,7
Verrerie	0,091	0,092	0,68	0,59	<1,3	<1,7
Cabri	-	-	-	-	<1,2	<1,7
Saint Paul Lez Durance	0,083	0,096	0,58	0,61	<2,4	<1,5
Ginasservis	0,080	0,1	0,58	0,64	<1,4	<4,1

Nota : dans ce tableau et les suivants, on peut remarquer que tous les types de mesures ne sont pas effectués systématiquement pour toutes les stations, en accord avec le programme de surveillance.

Les activités volumiques α global et β global quotidiennes mesurées sur les filtres sont la plupart du temps inférieures à 2 mBq/m³. Dans le cas contraire, une spectrométrie gamma est réalisée. En 2013 et 2014, aucun radioélément artificiel n'a été mesuré par spectrométrie gamma.

Les activités mesurées sont essentiellement dues aux poussières radioactives naturellement présentes dans l'air et qui se déposent sur les filtres. Après une spectrométrie gamma, on retrouve par exemple :

- le Béryllium-7, radionucléide solide émetteur γ résultant de l'interaction du rayonnement cosmique avec la haute atmosphère ;
- le Plomb-210, descendant solide du Radon-222.

A titre indicatif, le « bilan de l'état radiologique de l'environnement français en 2009 » réalisé par l'IRSN montre des activités volumiques de Béryllium-7 et de Plomb-210 dans l'atmosphère qui varient en fonction des saisons et des régions. Les activités mesurées sont de l'ordre de 0,3 à 1 mBq/m³ pour le Plomb-210 et de 2 à 3,5 mBq/m³ pour le Béryllium-7. (http://www.mesure-radioactivite.fr/public/IMG/pdf/IRSN_surveillance_France_2009.pdf)

Les analyses effectuées en 2013 et 2014 sur les cartouches halogènes des 5 stations de surveillance donnent des résultats inférieurs aux seuils de décision. Les valeurs moyennes reportées correspondent au seuil de décision maximum.

Le tableau ci-après présente les niveaux d'activité volumique moyens mesurés en 2013 et 2014 pour le tritium.

	Activité volumique moyenne (Bq/m ³)			
	Phase vapeur		Phase gazeuse	
	2013	2014	2013	2014
Grande Bastide	<0,12	<0,15	<0,11	<0,15
Verrerie	<0,13	<0,15	<0,11	<0,16
Cabri	<0,13	<0,15	<0,11	<0,16
Saint Paul Lez Durance	<0,16	<0,15	<0,16	<0,16



Barboteur pour la mesure du tritium

Les analyses effectuées en 2013 et 2014 sur les barboteurs tritium des stations donnent des résultats inférieurs aux seuils de décision.

Le tableau suivant présente les concentrations en gaz rares aux stations où ce paramètre est mesuré.

Station de surveillance de l'environnement	Activité volumique moyenne 2013 en gaz rares (Bq/m ³)	Activité volumique moyenne 2014 en gaz rares (Bq/m ³)
Grande Bastide	20,8	18,7
Verrerie	9,9	11,2
Cabri	20,6	21,9

Le tableau suivant présente les concentrations en Carbone 14 aux stations où ce paramètre est mesuré.

Station de surveillance de l'environnement	Activité volumique moyenne 2013 du Carbone 14 (Bq/m ³)	Activité volumique moyenne 2014 du Carbone 14 (Bq/m ³)
Verrerie	0,058	0,074
Ginasservis	0,065	0,060
Saint Paul Lez Durance	0,061	0,098

Le tableau suivant présente les activités volumiques en radon mesurées au niveau de deux balises installées à proximité des INB 56 (Entreposage) et 164 (CEDRA) sous les vents dominants pour les années 2013 et 2014.

Station de surveillance de l'environnement	Activité volumique moyenne 2013 du radon (Bq/m ³)	Activité volumique moyenne 2014 du radon (Bq/m ³)
INB 56	13,6	12,1
CEDRA	6,0	7,8

A titre indicatif, l'IRSN donne dans le bilan de l'état radiologique de l'environnement français en 2009 des moyennes par département des concentrations en radon dans l'air des

habitations. Les moyennes mesurées sont de l'ordre de 0 à 50 Bq/m³ dans les Bouches-du-Rhône et de l'ordre de 50 à 100 Bq/m³ pour les autres départements limitrophes du site. Les activités volumiques mesurées près des installations surveillées ne révèlent pas d'émanation consécutive à des éléments radifères, soit entreposés dans les bâtiments contrôlés, soit en tant qu'éléments composant le sol *in situ*.

Les retombées atmosphériques humides (pluie) sont collectées à l'intérieur du site et aux stations extérieures de Ginasservis, de Vinon sur Verdon (et de Saint-Paul-lez-Durance depuis 2006). Un échantillon est prélevé et analysé chaque semaine.

	Activité β global moyenne (Bq/l)		Activité ^3H moyenne (Bq/l)	
	2013	2014	2013	2014
Verrerie	0,082	0,026	2,3	2,5
Ginasservis	0,075	0,07	<2,4	<2,4
Vinon sur Verdon	0,156	0,011	2,6	2,4
St-Paul-lez-Durance	0,104	0,015	2,4	2,8

A chaque mesure β significative (supérieure au seuil de décision, soit la moitié de la limite de détection) sur un échantillon d'eau de pluie, une spectrométrie gamma et un dosage en potassium sont réalisés. Lors de ces investigations, aucun radioélément artificiel n'a été détecté supérieur au seuil de détection par spectrométrie gamma.

Les activités en tritium des précipitations mesurées en 2013 et 2014 sont généralement non significatives (de l'ordre de 2,5 Bq/l). Les valeurs significatives sont proches des seuils de décision.

Un dispositif de cinq balises enregistre en continu l'exposition gamma ambiante au niveau des stations de surveillance du site ainsi qu'au niveau des communes environnantes. Un certain nombre de dosimètres, disposés en clôture du site, mesurent régulièrement la dose d'irradiation.

Les valeurs mesurées sont dues à la radioactivité naturelle d'origine tellurique et cosmique. Du fait de l'implantation du Centre sur des terrains géologique récents, le niveau mesuré d'irradiation ambiante a pour caractéristique d'être relativement faible. Il est en moyenne de 70 nGy/h (72 milliardième de Gray par heure) en 2013 et 2014. A titre de comparaison, la valeur moyenne enregistrée à l'extérieur du CEA Cadarache en 2014 est de l'ordre de 78 nGy/h à Manosque.

A titre indicatif, l'IRSN donne dans le bilan de l'état radiologique de l'environnement français en 2010- 2011 [12] une valeur de débit de dose gamma ambiant moyen sur le territoire métropolitain de 92 nGy/h sur le réseau Télecay.

Les valeurs de dosimétrie ambiante mesurées en clôture de site en 2014 sont globalement inférieures à la valeur moyenne calculée depuis 2009. Il convient de noter cependant que la valeur annuelle moyenne du débit de dose du dosimètre « INB 56 chemin de ronde » est égale à 121 nGy/h en 2014. Cette valeur est due au stockage de déchets sur l'INB 56.

Cette valeur peut être comparée à la valeur moyenne mesurée hors site d'environ 78nGy/h. Le rayonnement ajouté en 2014 par l'INB 56 est donc d'environ 40nGy/h. Comme le rayonnement est de type γ (le seul qui se propage sur des distances supérieures à 1m), le débit de dose correspondant est d'environ 40nSv/h. Si l'on suppose une présence de 40

heures⁴ par an à proximité de la clôture on obtient une dose ajoutée de 0,002 mSv sur un an, très en deçà de la limite de dose ajoutée pour le public de 1 mSv (Art. R1333-8 du Code de la santé publique).

1.9.1.2 Qualité physico-chimique de l'air

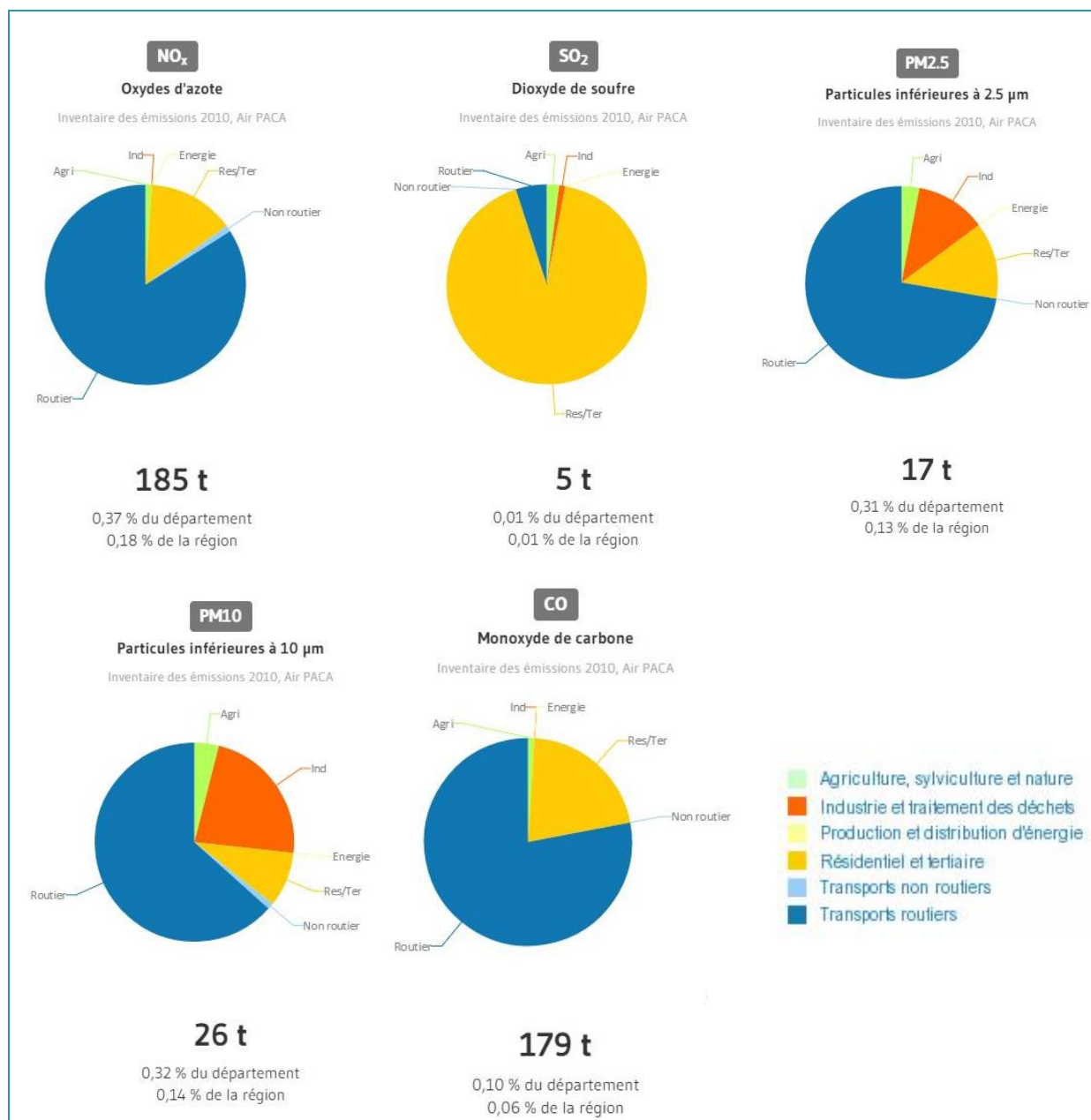
La qualité de l'air est vérifiée en continu par l'association Air PACA⁵ grâce à des stations fixes où sont mesurées les concentrations en différents polluants. De plus, une station mobile de mesure de polluants de l'air permet de multiplier les « campagnes mobiles » en sillonnant le territoire couvert par Air PACA.

A titre indicatif, les niveaux de recommandation et d'alerte n'ont jamais été atteints vis-à-vis des concentrations volumiques en SO₂ (dioxyde de soufre), CO (monoxyde de carbone) et NO_x (oxydes d'azote) à Saint-Paul-lez-Durance, durant la période où une station fixe s'y trouvait.

La figure suivante présente les contributions des principaux secteurs à la pollution chimique de l'air de la commune de Saint-Paul-lès-Durance.

⁴ Cette valeur est basée sur la présence d'un chasseur posté 2 fois 2 heures par semaine pendant les 10 semaines de chasse par an.

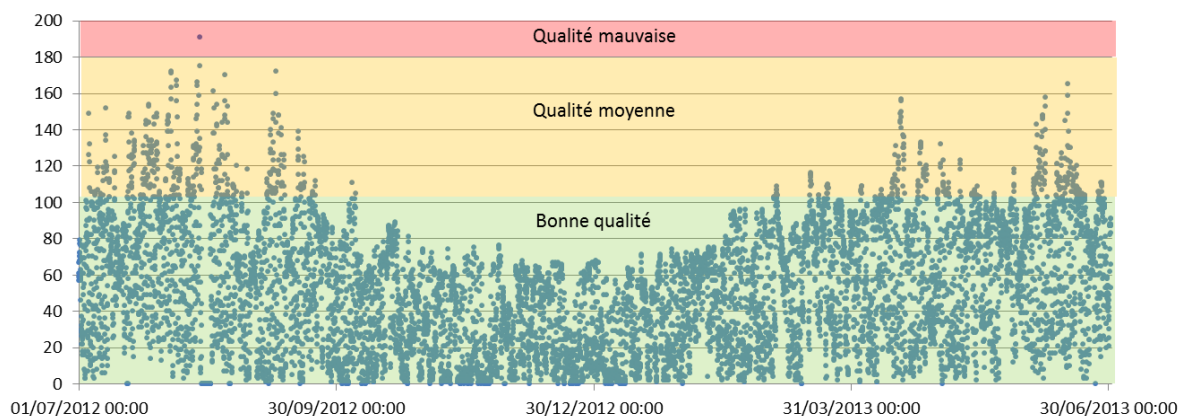
⁵ Air PACA est l'organisme chargé de la surveillance de la qualité de l'air en région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Cet organisme est agréé par le ministère en charge de l'environnement, il regroupe les collectivités territoriales, services de l'Etat et établissements publics, les industriels, associations de protection de l'environnement et de consommateurs, des personnalités qualifiées et/ou professionnels de la santé.



Contributions des principaux secteurs à la pollution chimique de l'air de la commune de Saint-Paul-lès-Durance (bilan 2010, source : Air PACA)

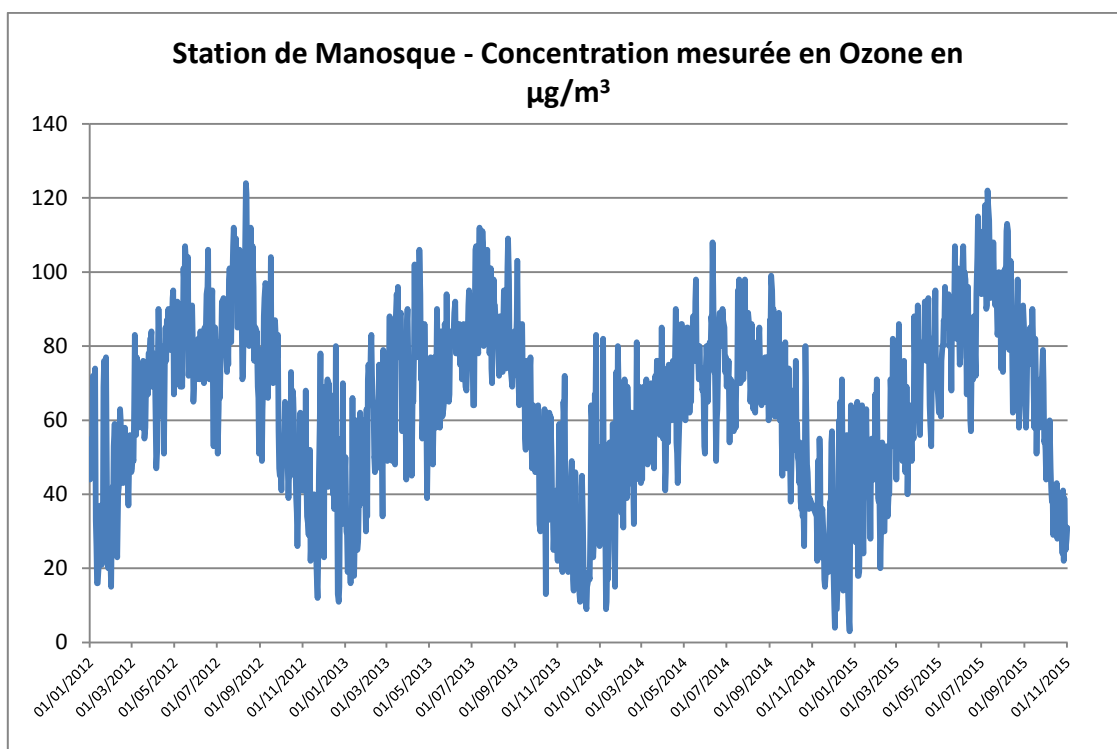
Pour l'ozone la valeur cible pour la protection de la santé humaine ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le maximum journalier de la moyenne sur 8 heures) est régulièrement dépassée.

Ce phénomène est dû au transfert atmosphérique de la pollution émise dans les régions situées au sud de Cadarache.



Concentration en ozone dans l'air (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) à la station de Cadarache en 2012-2013 (Source : Air PACA).

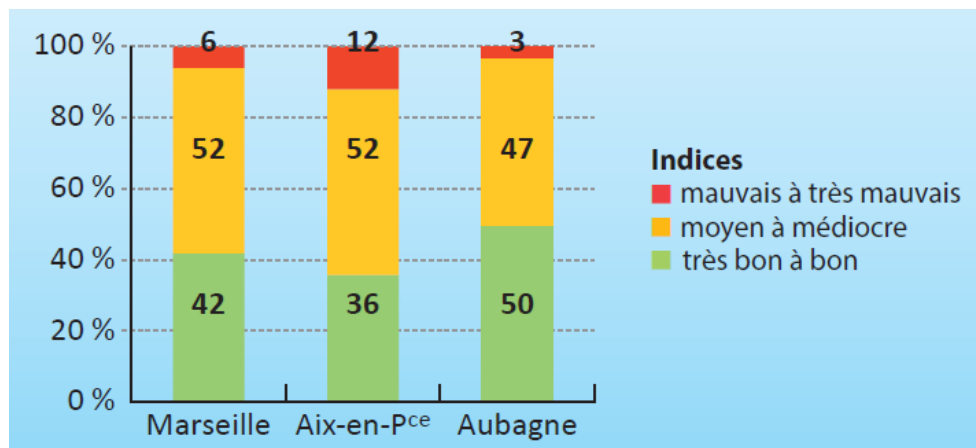
Les couleurs correspondent aux niveaux de qualité (vert = bon, orange = moyen, rouge = mauvais)



Concentration en ozone de l'air à la station de Manosque du 1/01/2012 au 30/11/2015 (données AIR-PACA)

Les analyses effectuées à Aix-en-Provence (site urbain le plus proche) en 2013 indiquent que les indices de qualité de l'air sont, plus de la moitié de l'année, moyens à médiocres.

L'indice ATMO permet de qualifier la qualité de l'air quotidienne d'une agglomération, sur une échelle de 1 à 10. L'indice 1 correspond à une qualité de l'air « très bonne » et 10 à « très mauvais ». Cette échelle tient compte des niveaux du dioxyde de soufre, du dioxyde d'azote, de l'ozone et des poussières.



Fréquence des indices de la qualité de l'air en 2013 dans les bouches du Rhône pour 3 villes principales (extrait du bilan annuel AIR-PACA)

Les niveaux de particules sont à l'origine de presque tous les indices mauvais, rencontrés principalement en période hivernale. L'ozone est en cause en période estivale.

Selon l'article R221-1 du Code de l'environnement, les objectifs de qualité de l'air sont, en moyenne annuelle, respectivement de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le SO_2 et de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le NO_2 . Pour l'ozone, l'objectif de qualité pour la protection de la santé humaine est de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le maximum journalier de la moyenne sur 8 heures, pendant une année civile, et la valeur cible du nombre de jours de dépassement de cet objectif de qualité est de 25 jours par an. Par ailleurs, la valeur limite pour la protection de la santé humaine (sur 8 h) en CO est de $10\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

1.9.2 Le milieu aquatique

La Durance reçoit les effluents liquides du site, rejetés après traitement, conformément à la réglementation en vigueur et selon les limites de rejet imposées (Arrêté préfectoral du 25/09/2006). Des prélèvements de différents types et selon des fréquences spécifiques sont effectués en amont du point de rejet (Durance à Manosque, Verdon à Vinon), à l'exutoire du site de Cadarache et en aval en Durance (au lieudit Saint Euchère ou à la station fixe de Mirabeau) et dans le canal EDF (station de Jouques). Ces prélèvements destinés principalement au contrôle radiologique, sont effectués sur des échantillons d'eau, de sédiments ainsi que sur un certain nombre de bio-indicateurs tels que la faune et la flore aquatiques. Un ensemble de prélèvements d'eau souterraine est également effectué, en fonction du Plan de Contrôle et de Surveillance de l'Environnement.



Le point rejet (exutoire) des effluents liquides en Durance

1.9.2.1 Radioactivité du milieu aquatique

Eaux de surface

– Durance

Le tableau ci-après présente, pour les années 2013 et 2014 les résultats d'analyses des eaux de surface. Les résultats sont exprimés en Bq par litre d'eau.

	Activité α global moyenne (Bq/l)		Activité β global moyenne (Bq/l)		Activité ^3H moyenne (Bq/l)	
	2013	2014	2013	2014	2013	2014
Amont site Station de pompage	0,05	<0,05	0,14	0,09	2,7	2,4
Aval site Pont de Mirabeau	0,04	0,06	0,07	0,08	2,7	2,6
Canal EDF Aval site (Jouques)	0,05	<0,05	0,06	0,06	3,2	<2,4

Dans ce tableau, les valeurs mesurées sont inférieures ou très proches des limites de détection.

Les activités alpha global et bêta global sont du même ordre de grandeur pour les échantillons d'eau de surface prélevés en amont et en aval du site.

A titre indicatif, l'IRSN donne, dans le « bilan de l'état radiologique de l'environnement français en 2009 », des résultats de radioactivité mesurée en 2009 dans les cours d'eau de la métropole éloignés des installations nucléaires :

- les activités alpha global mesurées sont de l'ordre de 0,02 à 0,04 Bq/l. Ces activités sont attribuées à la présence des radionucléides des chaînes d'uranium d'origine naturelle ;
- les activités bêta global mesurées sont de l'ordre de 0,08 à 0,15 Bq/l.



La station du Pont de Mirabeau

Il n'existe pas de valeurs guide pour donner des éléments de comparaison. A titre indicatif, l'Organisation mondiale pour la santé a publié des valeurs pour l'eau potable. Elle recommande de ne pas consommer régulièrement (2 L/jour) des eaux au-delà de certaines concentrations en radionucléides. Celles-ci sont présentées dans le tableau suivant :

Type de radionucléide	Concentration maximum en Bq/l d'eau
Tritium	10 000
Carbone 14	100
Autres radionucléides émetteurs $\beta\gamma$	10
Radionucléides α	1

– **Ravin de la Bête**

Des analyses hebdomadaires sont réalisées dans le Ravin de la Bête sur des prélèvements d'eaux de ruissellement. Ces analyses concernent les mesures des activités alpha global et bêta global sur l'eau brute et de l'activité du tritium sur l'eau filtrée. Une mesure de la teneur en potassium et une spectrométrie gamma sont également réalisées si l'activité bêta global est supérieure au seuil de décision.

Le point d'analyse considéré ici est référencé par le CEA (dans les bilans annuels de surveillance de l'environnement) comme étant le point n°17. Il est situé en sortie de Ravin, juste avant son rejet dans la Durance.

Les tableaux suivants présentent les résultats des analyses pour les années 2013 et 2014.

	Activité moyenne α global (Bq/l)		Activité moyenne β global (Bq/l)		Activité moyenne ^3H (Bq/l)	
	2013	2014	2013	2014	2013	2014
Sortie du Ravin de la Bête	0,08	<0,4	0,08	0,14	2,8	2,7

Les eaux de ruissellement du Ravin de la Bête ne présentent aucune valeur anormale de radioactivité. Sur les échantillons avec une activité bêta global supérieure au seuil de décision, les spectrophotométries gamma n'ont pas révélé la présence de radioélément artificiel.

Végétaux aquatiques

La radioactivité des végétaux aquatiques est mesurée dans le Verdon au niveau de Vinon-sur-Verdon et en Durance à Manosque, pour les points amont, et au niveau du lieu-dit Saint-Eucher pour le point aval, ainsi que dans le Ravin de la Bête. Les tableaux ci-après présentent les résultats pour les années 2013 et 2014.

2013	Activité moyenne							
	Bq/kg frais							Bq/kg de Ctot
	Bêta	^{40}K	^{238}Pu	$^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$	$^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$	Tritium libre	Tritium lié	^{14}C
Manosque	187	154	nm	nm	nm	nm	nm	nm
Vinon sur Verdon	86	102	nm	nm	nm	nm	nm	nm
St Eucher	123	123	<0,0051	0,0061	<0,28	<0,98	<0,11	206
Ravin de la Bête	104	86	nm	nm	nm	nm	nm	nm

nm =non mesuré

2014	Activité moyenne							
	Bq/kg frais							Bq/kg de Ctot
	Bêta	^{40}K	^{238}Pu	$^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$	$^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$	Tritium libre	Tritium lié	^{14}C
Manosque	nm	nm	nm	nm	nm	nm	nm	nm
Vinon sur Verdon	69	85	nm	nm	nm	nm	nm	nm
St Eucher	98	98	< 0,0008	< 0,002	< 0,14	< 0,89	< 0,09	273
Ravin de la Bête	70	79	nm	nm	nm	nm	nm	nm

nm =non mesuré

Il n'y a pas eu de prélèvements de végétaux aquatiques au point de rejet du Centre et aucun prélèvement de végétaux n'a pu être réalisé en 2014 à Manosque. En effet, les cours d'eau torrentiels comme la Durance ou le Verdon ne favorisent pas l'ancrage des végétaux aquatiques dans certaines zones (présence majoritaire de galets et sables).

Ces tableaux montrent qu'aucune activité anormale n'a été mise en évidence dans les végétaux aquatiques prélevés.

Les analyses réalisées montrent la présence de potassium-40, isotope radioactif du potassium et la présence de carbone-14, isotope radioactif du carbone, composants naturellement présents dans les végétaux.

Les traces de plutonium-239 et de plutonium-240 mesurées, proches du seuil de décision, sont les traces encore visibles des retombées des essais aériens d'armes nucléaires (de 1945 à 1980).

A titre de comparaison, l'IRSN a mesuré en 2009 des activités dans les algues marines du littoral français. La radioactivité mesurée est représentée quasi-exclusivement par le potassium-40 (entre 59 et 312 Bq/kg frais). Des traces de plutonium-239 et de plutonium-240 sont également observées avec des activités de l'ordre de 0,006 à 0,010 Bq/kg frais. Les activités mesurées en carbone-14 varient de 240 à 291 Bq/kg de carbone total.

Sédiments

La radioactivité des sédiments est mesurée aux mêmes points de prélèvement que la flore aquatique. Les émetteurs gamma mesurés sont le potassium 40 (radioélément naturel) et le césium 137. Les tableaux ci-après présentent les résultats pour les années 2013 et 2014.

Année 2013	Activité moyenne en Bq/kg sec					
	Bêta	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs	²³⁸ Pu	²³⁹ Pu+ ²⁴⁰ Pu	⁹⁰ Sr+ ⁹⁰ Y
Manosque	560	480	8,1	< 0,05	0,07	< 2,3
Vinon sur Verdon	360	220	< 1	< 0,05	0,06	< 4,6
St Euchèr	560	520	5,2	< 0,05	< 0,05	< 2,4
Station de Mirabeau	nn	nm	nm	nm	nm	nm
Station de Jouques	380	300	2	< 0,05	< 0,05	< 2,6
Ravin de la Bête	660	410	4,6	nm	nm	nm

nm : non mesurée

Année 2014	Activité moyenne en Bq/kg sec					
	Bêta	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs	²³⁸ Pu	²³⁹ Pu+ ²⁴⁰ Pu	⁹⁰ Sr+ ⁹⁰ Y
Manosque	nm	nm	nm	nm	nm	nm
Vinon sur Verdon	360	63	1,1	< 0,05	< 0,05	< 5
St Eucher	370	240	0,93	< 0,05	0,062	< 2,3
Station de Mirabeau	nm	nm	nm	nm	nm	nm
Station de Jouques	450	230	1	<0,05	0,035	< 3,1
Ravin de la Bête	420	200	2,8	<0,05	0,19	< 7,4

nm : non mesurée

Il n'y a pas de sédiments au point de rejet du site de Cadarache, d'où l'absence de mesures en ce lieu. De plus, aucun sédiment n'a pu être prélevé à Mirabeau et Manosque en 2014. En effet, les cours d'eau torrentiels comme la Durance ou le Verdon ne favorisent pas la sédimentation d'éléments fins (présence majoritaire de galets et sables).

Les émetteurs gamma mesurés sont le potassium-40, isotope radioactif du potassium, naturellement présent dans les sédiments, et le césium-137, radioélément artificiel, dont des traces dues aux retombées de l'accident de Tchernobyl de 1986, sont encore mesurables.

A titre de comparaison, l'IRSN a mesuré en 2009 des activités dans les sédiments marins du littoral français. Le potassium constitue le principal radionucléide naturel émetteur gamma. L'activité potassium-40 mesurée est comprise entre 141 et 633 Bq/kg sec. Le césium-137 est mesuré avec des activités au maximum de 2,6 Bq/kg sec. Il faut néanmoins noter que les concentrations en césium-137 dans les sédiments peuvent varier d'un ordre de grandeur en fonction de l'abondance et de la nature de la fraction la plus fine, souvent riche en minéraux argileux.

Poissons

Chaque année, une campagne de pêche électrique est organisée en collaboration avec l'IRSTEA (ex CEMAGREF). Cette campagne permet de prélever différentes espèces de poissons ubiquistes et carnassières (i.e. chevesnes, barbeaux, hotus, truites, etc.) dans différents lieux. Le tableau suivant présente les résultats de la campagne de pêche 2013.

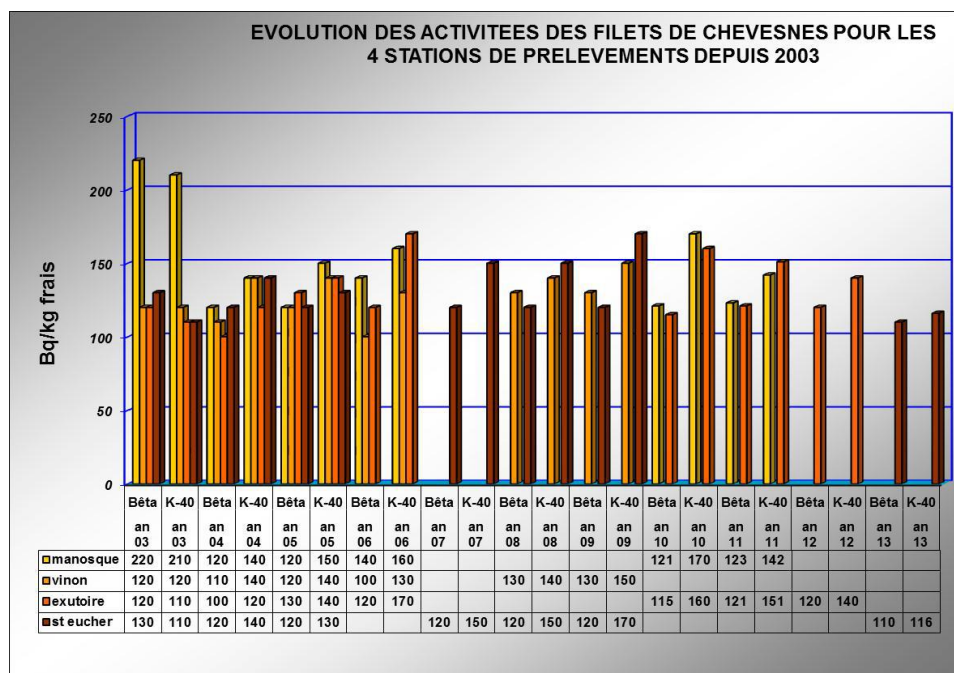


Campagne de pêche dans la Durance

	Activité moyenne										
	β glob.	^{40}K	^{137}Cs	^{134}Cs	^{210}Pb	^{238}Pu	$^{239}_{240}\text{Pu}$ et ^{240}Pu	$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$	^3H libre	^3H lié	^{14}C
	(en Bq/kg frais)								(en Bq/g)		(en Bq/kg de C tot)
ORAISON (Truites)											
Filets	118	151	<0,29	<0,23	<2,77	nm	nm	nm	<0,95	0,44	225,4
Arêtes	104	143	<0,84	<0,63	11,68	<0,0032	<0,0032	<0,19	<0,92	0,35	228,6
St EUCHER (Barbeaux et Chevesnes)											
Filets	110	116	<0,24	<0,23	<2,81	nm	nm	nm	nm	nm	nm
Arêtes	98	135	<0,98	<0,98	<10,51	nm	nm	nm	nm	nm	nm
EXUTOIRE (Carpes)											
Filets	114	174	<0,34	<0,26	<2,99	<0,0006	<0,001	<0,31	<0,99	2,02	269
Arêtes	81	118	<0,52	<0,44	<4,86	<0,003	<0,003	<1,1	<0,87	3,09	274,8
VINON-VERDON (Truites)											
Filets	130	179	<0,25	<0,19	<2,49	<0,0008	<0,0015	<0,06	<0,83	<0,31	236,4
Arêtes	58	138	<1,08	<0,9	<1,14	<0,0084	<0,011	<0,11	<0,84	nm	230,4

nm=non mesuré

L'évolution de l'activité bêta globale et du K-40 (Bq/g frais) dans les filets de chevesnes pêchés depuis 2003 sur les 4 stations de prélèvement est présentée sur la figure suivante.



Notons que compte tenu du peu de spécimens prélevés à la station de St-Eucher, les échantillons de barbeaux et de chevesnes ont été regroupés afin d'avoir une quantité de matière suffisante pour réaliser les analyses radiologiques.

Aucune activité anormale n'a été mise en évidence dans les poissons prélevés en 2013.

L'activité bêta globale mesurée dans ces poissons est par ailleurs essentiellement due à la présence de Potassium-40, isotope radioactif du potassium, présent naturellement dans les poissons.

A titre de comparaison, l'IRSN a mesuré en 2009 des activités dans les poissons marins du littoral français. La radioactivité mesurée est dominée par la présence de potassium-40 dont la concentration est de l'ordre de 0,1 Bq/g frais.

Eaux souterraines

Le Centre dispose de plus d'une centaine de forages, dénommés **piézomètres**, qui permettent d'assurer une surveillance spécifique des eaux souterraines sous-jacentes aux installations.

Au minimum, 48 d'entre eux font l'objet d'un suivi mensuel. Les autres forages permettent de faire un état des nappes souterraines au droit de certaines installations et de compléter la R&D sur la modélisation des écoulements à l'échelle du site.

Les analyses portent sur les activités volumiques en alpha global, en bêta global, et en tritium, et la concentration en potassium (permet de suivre les variations de la mesure bêta global).

Depuis de nombreuses années, les résultats des analyses effectuées sur les nappes d'eaux souterraines à l'extérieur du Centre sont inférieurs au seuil de décision en tritium (radioélément le plus facilement détectable et le plus mobile dans l'eau) ainsi qu'au seuil de décision en alpha et bêta.

A l'intérieur du Centre, les activités volumiques mesurées sont inférieures à 1 Bq/l en alpha global et bêta total et inférieures à 10 Bq/l en tritium, à l'exception de quelques points singuliers identifiés et plus particulièrement surveillés.

A l'extérieur du Centre, les valeurs sont du même ordre. Le tableau suivant présente les fourchettes de résultats des prélèvements mensuels réalisés dans les piézomètres qui surveillent la nappe phréatique des calcaires du Crétacé.

La fourchette indiquée donne l'étendue des variations mensuelles.

Elément mesuré	Activité moyenne Résultat 2013	Activité moyenne Résultat 2014
α	0,04 à 0,07 Bq/l	0,05 à 0,06 Bq/l
β	0,06 à 0,17 Bq/l	0,05 à 0,11 Bq/l
Tritium	2,3 à 6 Bq/l	2,4 à 2,8 Bq/l
Potassium	0,6 à 3,7 mg/l	0,4 à 2,8 mg/l

ITER a réalisé un « point zéro radiologique » en 2007, et dans ce cadre a notamment réalisé de nouveaux forages sur son site. Neuf nouveaux piézomètres ont ainsi été mis à disposition, ils ont donné lieu à des analyses détaillées. Le tableau suivant présente les fourchettes de valeurs rencontrées sur les 9 piézomètres.



Piezomètre

Nature	Unité	Radioactivité des eaux souterraines prélevées sur la zone ITER
⁷ Be	Bq/l	<0,05 à <0,1
⁴⁰ K	Bq/l	< 0,08 à 2,42
⁵¹ Cr	Bq/l	< 0,01 à < 0,2
⁵⁴ Mn	Bq/l	<0,003 à <0,01
⁶⁰ Co	Bq/l	<0,003 à <0,01
⁶⁴ Cu	Bq/l	< 90
¹⁸⁷ W	Bq/l	< 0,2 à <9
¹²⁹ I	Bq/l	<0,004 à < 2
¹³³ Ba	Bq/l	<0,004 à < 0,7
¹³⁴ Cs	Bq/l	<0,004 à < 0,7
¹³⁷ Cs	Bq/l	<0,007 à <0,7
²²⁶ Ra	Bq/l	<0,08 à < 0,3
²²⁸ Ra	Bq/l	<0,01 à < 0,05
¹⁵² Eu	Bq/l	<0,005 à < 0,02
¹⁵⁴ Eu	Bq/l	<0,003 à < 0,01
²² Na	Bq/l	<0,003 à < 0,01
²³⁵ U	Bq/l	<0,005 à < 0,02
²³⁸ U	Bq/l	<0,03 à <0,8
²⁴¹ Am	Bq/l	<0,003 à < 0,03
⁹⁰ Sr	Bq/l	< 0,010 à 0,160
Tritium Eau libre (HTO)	Bq/l	<3,0 à <3,4
Carbone 14	Bq/l	<2 à <3
Mesure alpha totale	Bq/l	0,018 à 0,136
Matières en suspension (MES)	g/l	0,004 à 3,195
Activité bêta globale des cendres du précipité des MES	Bq/kg	0,008 à 1,64

Ces valeurs ne montrent aucune anomalie par rapport aux eaux souterraines de la région.

1.9.2.2 Qualité physicochimique et biologique des eaux de surface et des milieux aquatiques

Le jugement de l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse

État des eaux de la station

Années (1)	Bilan de l'oxygène	Température	Instruments	Acidification	Salinité	Polluants spécifiques	Invertébrés benthiques	Diatomées	Poissons (2)	Hydromorphologie	Pressions hydromorphologiques	ÉTAT ÉCOLOGIQUE	POTENTIEL ÉCOLOGIQUE	ÉTAT CHIMIQUE
2014	TBE	NC	BE	BE	Ind	BE	Ind	TBE	MOY		Moy		MOY	BE
2013	TBE	NC	BE	BE	Ind	BE	Ind	TBE	MOY		Moy		MOY	BE
2012	BE	NC	TBE	TBE	Ind	BE	Ind	TBE	TBE		Moy		BE	BE
2011	BE	NC	TBE	TBE	Ind	BE	Ind	TBE	TBE		Moy		BE	BE
2010	BE	NC	MOY ①	TBE	Ind	BE	Ind	TBE	MED		Moy		MOY	BE
2009	BE	NC	TBE	TBE	Ind	BE	Ind	TBE	MED		Moy		MOY	BE
2008	BE	NC	TBE	TBE	Ind	BE	Ind	TBE	BE		Moy		BE	BE
2007	BE	NC	TBE	TBE	Ind		Ind	TBE	BE		Moy		BE	
2006	TBE	NC	TBE	BE	Ind		Ind	TBE			Moy		BE	

(1) Année la plus récente de la période considérée pour l'évaluation de l'état.

(2) Voir Nota concernant l'élément de qualité "Poissons" à la rubrique évaluation de l'état.

Légende

État écologique

TBE	Très bon état
BE	Bon état
MOY	État moyen
MED	État médiocre
MAUV	État mauvais
Ind	État indéterminé : absence actuelle de limites de classes pour le paramètre considéré, ou absence actuelle de référence pour le type considéré (biologie), ou données insuffisantes pour déterminer un état (physicochimie). Pour les diatomées, la classe d'état affichée sera "indéterminé" si l'indice est calculé avec une version de la norme différente de celle de 2007 (Norme AFNOR NF T 90-354)
NC	Non Concerné
	Absence de données

État chimique

BE	Bon état
MAUV	Non atteinte du bon état
Ind	Information insuffisante pour attribuer un état
	Absence de données

Le tableau ci-avant présente les résultats des analyses de l'eau de la Durance au niveau de la station de Cadarache (station 06162000 en aval du site) extraits du site Internet <http://sierm.eaurmc.fr>. Ces analyses sont faites pour le compte de l'agence de l'eau Rhône-Méditerranée et Corse (www.eaurmc.fr)

La cotation est faite selon l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état des eaux de surface.

Le principe du suivi

Le suivi comporte deux volets comprenant, d'une part, un suivi mensuel de la qualité physico-chimique de l'eau et, d'autre part, une évaluation ponctuelle annuelle de la qualité écologique des milieux.

Les résultats sont exprimés à l'aide du système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau, le « SEQ-Eau ». Le SEQ-Eau est un outil national d'évaluation de la qualité des eaux,

dont la réalisation a été conduite par le ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, les DREAL Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (ex. D.I.R.E.N. Direction Régionale de l'Environnement) et les Agences de l'Eau. Ce système se situe dans la continuité des outils précédemment utilisés par les différents acteurs de l'environnement en proposant des classes de qualité avec la représentation classique à 5 couleurs (bleu, vert, jaune, orange, rouge). Il innove cependant en créant 15 altérations qui sont des groupements de paramètres, en proposant des indices de qualité qui permettent une évaluation plus précise que les classes de qualité et en définissant des classes d'aptitude à la biologie et aux usages.

La qualité de l'eau est décrite, pour chaque altération, avec un indice et 5 classes d'aptitudes. Le tableau ci-dessous reprend les classes d'aptitudes en fonction des paramètres analysés sur les divers échantillons d'eau.

Pour les paramètres métaux, les valeurs retenues sont celles qui correspondent à une dureté de l'eau moyenne (sachant que la dureté de la Durance varie de 19 à 28°f (degré français).

LEGENDE (grille d'évaluation SEQ-Eau)					
Classes et indices de la qualité de l'eau par altération					
sur l'eau brute					
Classe de qualité → Indice de qualité →	CLASSE D'APTITUDE				
	Eau de très bonne qualité	Eau de bonne qualité	Eau de qualité moyenne	Eau de qualité médiocre	Eau de mauvaise qualité
	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
PARAMETRES	80	60	40	20	
MES (mg/l)	2	25	38	50	-
DCO (mg O ₂ /l)	20	30	40	80	-
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	3	6	10	25	-
NTK (mg N/l)	1	2	4	6	-
NO ₃ (mg NO ₃ /l)	2	10	25	50	-
NO ₂ (mg NO ₂ /l)	0,03	0,3	0,5	1	-
NH ₄ (mg NH ₄ /l)	0,5	1,5	2,8	4	-
PO ₄ (mg PO ₄ /l)	0,1	0,5	1	2	-
TAC (d°f)	8	5	3	0	-
TA (°f)	-	-	-	-	-
As (µg/l)	1	35	70	100	-
Cd (µg/l)	0,004	0,04	0,37	1,3	-
Hg (µg/l)	0,007	0,07	0,7	1	-
Zn (µg/l)	0,43	4,3	43	98	-
B (µg/l)	-	-	-	-	-
Pt (mg P/l)	0,05	0,2	0,5	1	-
CCL ₄ (µg/l)	2	2,3	2,5	20	-
Coliformes thermotolérants (u/100 ml)	50	500	5000	10000	-

La classe « bleue » de référence permet la vie, la production d'eau potable (après une simple désinfection), les loisirs et sports aquatiques, tandis que la classe « rouge » ne permet plus de satisfaire au moins l'un de ces critères.

L'évaluation de la qualité biologique des milieux aquatiques de la Durance en amont et en aval du rejet est réalisée à l'aide de méthodes quantitatives du type « Indice Biologique » fondées sur l'application d'un principe général, selon lequel à un milieu donné correspond une association végétale et animale particulière. Ainsi, une analyse comparative (amont-aval) permet d'évaluer l'impact lié aux modifications de l'environnement sur les communautés. Dans cette optique, deux indices biologiques ont été déterminés : l'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN) relatif aux peuplements de macro invertébrés vivant au fond de la rivière et l'Indice



Bryophyte sp.

Biologique Diatomiques (IBD) qui concerne une population d'algues microscopiques (les diatomées, algues unicellulaires entourées d'une coque siliceuse).

Cette appréciation écologique des milieux est complétée par l'évaluation de la concentration en micropolluants minéraux (métaux) sur les sédiments et sur les végétaux. Les analyses sur végétaux sont couramment effectuées sur des mousses (bryophytes) qui sont d'excellents bio-concentrateurs de métaux lourds. Cependant, le lit de la Durance ne contenant pas de bryophytes autochtones, les analyses ont dû être réalisées sur des mousses aquatiques provenant d'une autre rivière et précédemment implantées au niveau des stations de prélèvements.

Seuls les résultats de l'année 2014 sont présentés afin de ne pas trop alourdir le document. Les résultats de 2013 sont du même ordre. Les différences significatives sont dues aux événements externes au site de Cadarache.

Qualité physico-chimique des eaux de la Durance

Les résultats d'analyses physico-chimiques sur les deux stations suivies (amont et aval du point de rejet du site de Cadarache) sont synthétisés dans les deux tableaux suivants.



Points de prélèvement en Durance

Dates prélèvements Année 2014	Code station	MES en mg/l	DBO5 en mg/l	Nitrates en mg/l	Nitrites en mg/l	Ammonium en mg/l
15 au 16 janv.	Amont	110	0,9	3,1	0,02	< 0,05
	Aval	32	0,7	3,4	< 0,01	< 0,05
12 au 13 mars.	Amont	5,4	4	2,5	< 0,01	< 0,05
	Aval	7,0	1,7	2,7	< 0,01	< 0,05
24 au 25-mars	Amont	9,6	2,9	2,7	< 0,01	< 0,05
	Aval	9,0	2,6	3,3	< 0,01	< 0,05
10 au 11 avril	Amont	14	0,6	2,1	< 0,01	< 0,05
	Aval	12	3	2,2	< 0,01	< 0,05
19 au 20-mai	Amont	3,8	2,2	2,2	< 0,01	< 0,05
	Aval	2,4	0,6	2,7	< 0,01	< 0,05
23 au 24 juin	Amont	35	4	2,3	0,01	0,80
	Aval	29	1	2,9	0,02	< 0,05
15 au 16-juil.	Amont	25	0,8	1,8	< 0,01	< 0,05
	Aval	13	3	2,2	< 0,01	< 0,05
19 au 20-août	Amont	18	0,7	1,7	< 0,01	< 0,05
	Aval	9,4	0,5	2,0	< 0,01	< 0,05
24 au 25-sept.	Amont	35	0,5	2,2	0,02	< 0,05
	Aval	53	0,5	2,6	0,02	< 0,05
20 au 21 oct.	Amont	31	0,5	1,5	< 0,01	< 0,05
	Aval	67	1,1	2,3	0,01	< 0,05
20 au 21-nov.	Amont	39	< 0,5	2,0	< 0,01	< 0,05
	Aval	19	< 0,5	2,7	0,02	< 0,05
8 au 9-déc.	Amont	19	0,8	1,6	< 0,01	< 0,05
	Aval	33	0,9	1,6	< 0,01	< 0,05

Dates prélèvements Année 2013	Code station	Orthophosphates en mg/l	TAC en °f	Zinc en µg/l	Phosphore total en mg/l	Bactérie Coliformes en u/100ml
15 au 16 janv.	Amont	0,02	17,0	3	0,03	540
	Aval	0,02	18,3	2	0,016	320
12 au 13 mars	Amont	0,02	16,4	<1	< 0,01	180
	Aval	0,02	16,8	<1	< 0,01	86
24 au 25 mars	Amont	0,01	17,1	1	< 0,01	240
	Aval	0,02	17,8	2	0,01	280
10 au 11 avril	Amont	0,02	15,4	7	0,015	120
	Aval	< 0,01	15,6	9	< 0,01	140
19 au 20 mai	Amont	0,02	15,0	6	< 0,01	160
	Aval	0,03	15,7	1	0,016	380
23 au 24 juin	Amont	0,03	14,3	3	0,019	61
	Aval	0,02	15,1	2	0,023	64
15 au 16-juil.	Amont	0,02	13,1	2	0,010	240
	Aval	0,02	13,8	4	0,016	140
19 au 20-août	Amont	0,06	12,9	2	0,028	520
	Aval	0,07	13,9	3	0,062	140
24 au 25-sept.	Amont	0,01	13,1	1	0,019	1400
	Aval	0,02	14,1	<1	0,022	1200
20 au 21 oct.	Amont	0,02	15,5	1	< 0,01	300
	Aval	0,02	15,6	3	< 0,01	280
20 au 21-nov.	Amont	0,01	17,8	<1	< 0,01	110
	Aval	0,06	18,2	2	0,023	< 1
8 au 9-déc.	Amont	0,02	17,3	<1	< 0,01	24
	Aval	0,04	17,4	1	0,017	20

*Il est à noter que compte tenu des très fortes pluies au mois de février 2014 et de l'interdiction d'accès en Durance par EDF, la campagne de février a été décalée au 12 et 13 mars 2014

Les paramètres analysés dont les concentrations sont toutes inférieures aux limites de quantification (DCO, NTK, As, Cd, Hg et CCl4) ne sont pas représentés dans les tableaux ci-dessus. Ils correspondent à une eau de très bonne qualité.

Les deux stations présentent, sur l'ensemble des campagnes mensuelles, une bonne qualité de l'eau.

Seuls les paramètres MES, Zn et coliformes thermo-tolérants indiquent, sur quelques campagnes, une qualité respectivement mauvaise et moyenne de l'eau, identique en amont et en aval, qui s'explique en grande partie par les lâchers lessivant le lit de la Durance et de ce fait une remise en suspension des sédiments.

Le rejet n'influence pas les variations de MES (matières en suspension) de la Durance compte tenu du phénomène de dilution et du rapport entre le débit du rejet et le débit de la Durance.

La présence parfois plus importante des *Escherichia Coli* peut être de diverses origines: les travaux de curage, le débroussaillage des berges le lessivage de sols contaminés par des matières fécales (lâchers d'eau du barrage), les déversoirs d'orages de réseaux d'assainissement, etc. ; ces variations bactériennes à caractère local sont difficilement appréhendables. En dehors de ces périodes, il n'y a pas d'écart significatif entre l'amont et l'aval ; par conséquent le site de Cadarache ne peut pas être la cause des concentrations bactériennes.

En conclusion, sur l'ensemble de l'année 2014, les différences constatées entre l'amont et l'aval du rejet du site de Cadarache sont minimales sur les paramètres analysés. Les écarts constatés s'expliquent indépendamment du rejet. Aucun impact manifeste sur la Durance n'est relevé sur le plan de la qualité physico-chimique des eaux.

Qualité physico-chimique des eaux du Ravin de la Bête

Les résultats des analyses effectuées entre 2013 et 2014 au point de rejet du Ravin de la Bête dans la Durance (point de rejet n°2 de l'arrêté, coordonnées Lambert II étendu X : 873549 m et Y : 1861490 m), sont présentés dans les tableaux suivants :

	Unités	Limites de conformité	janv.	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	déc.
Hydrocarbures	mg/l	5	0,97	0,23	0,14	0,2	<0,1	0,1	0,14	0,15	0,41	<0,1	<0,1	0,14
pH à t° échantillon	unités pH	5,5-8,5	8	8,2	8,2	7,9	8	8,2	7,9	8,3	8,1	8,1	8,1	8,1
MES	mg/l	35	3	<2	22	28	<2	5	24	168	65	124	9	2
DCO nd*	mg/l	125	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30	71	<30	55	<30
DBO5 nd*	mg/l O ₂	30	5	<3	<3	3	<3	<3	<3	<3	9	<3	8	<3

* non décanté

Qualité des eaux du Ravin de la Bête au niveau du point de rejet dans la Durance pour l'année 2013

	Unités	Limites de conformité	janv.	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	déc.
Hydrocarbures	mg/l	5	0,14	0,74	0,13	0,16	0,3	<0,1	<0,1	0,27	0,27	0,12	<0,1	<0,1
pH à t° échantillon	unités pH	5,5-8,5	8,1	8	7,9	8,4	7,8	8,3	8,1	7,6	7,2	7,8	8,3	9,1
MES	mg/l	35	35	18	68	13	4	4	15	19	114	180	347	7
DCO nd*	mg/l	125	<30	<30	<30	37	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30
DBO5 nd*	mg/l O ₂	30	<3	<3	<3	3	<3	<3	<3	3	<3	<3	<3	<3

* non décanté

Qualité des eaux du Ravin de la Bête au niveau du point de rejet dans la Durance pour l'année 2014

Ces résultats montrent que la valeur limite en matières en suspension (MES) est souvent dépassée et bien au-dessus du seuil de conformité (plus du double). Plusieurs raisons peuvent être avancées :

- la constitution du lit et des berges en matériaux terreux ;
- la présence de végétaux dans le lit qui, en se décomposant, créent de la matière organique pouvant favoriser les MES ;
- le fait que les terrains et le lit du Ravin de la Bête soient régulièrement retournés par les sangliers très présents sur le secteur (ce qui conduit à désagréer les sols superficiels) ;
- la réalisation des mesures par temps de pluie donc lorsque les rejets sont les plus importants (et donc la probabilité de la concentration en MES par érosion et lessivage aussi).

Par ailleurs, les autres paramètres mesurés ne sont pas significatifs (inférieurs aux seuils de décision).

Qualité biologique des eaux de la Durance

L'indice IBGN déterminé en 2014 à partir des analyses biologiques à l'aval et à l'amont est de 13, ce qui correspond respectivement à l'appréciation de « bon » état écologique (couleur verte).

Taxons dominants	Durance amont	Durance aval
	Chironomidae (31%) Baetidae (29%)	Caenidae (26%) Chironomidae (25%)
Variété taxonomique	23	24
Classe de variété	7	7
Taxon indicateur	7	7
Groupe indicateur	Leuctridae	Leuctridae
IBGN	13	13
Etat écologique (HER 6 exogène 7)*	Bon	Bon
Indice de Shannon / diversité maximum	1.85 / 3.14	2.05 / 3.18
Indice d'équitabilité	0.59	0.80
Densité totale (ind./m²)	5570	1957

*Suivant Norme NF EN ISO 8689-2 mai 2000

Les analyses hydrobiologiques des macro-invertébrés des deux stations révèlent des peuplements très proches. La faune est indicatrice d'un milieu moyennement productif en nutriments et caractéristique d'un cours d'eau à granulométrie grossière avec présence d'algues. Seules quelques différences mineures ont été observées entre l'amont et l'aval.

Les notes obtenues avec l'Indice de Polluosensibilité Spécifique (IPS) et l'Indice Biologique Diatomées (IBD), lors de la campagne de 2014, sont dans le tableau suivant :

Taxons dominants	Durance amont	Durance aval
	Achnantheidium minutissimum(ADMI-43%) ; Cocconeis euglypta (CEUG-22%)	Achnantheidium minutissimum (ADMI-38%) ; Achnantheidium pyrenaicum (ADPY-37%)
Richesse spécifique	27	26
Nombre de genre	14	12
IPS	17.1	17.5
IBD	18.6	20
Etat écologique (HER 6 exogène 7)*	Très Bon	Très Bon
Indice de Shannon / diversité maximum	3.03 / 4.76	2.54 / 4.7
Indice d'équitabilité	0.64	0.54

*Suivant Norme NF EN ISO 8689-2 mai 2000

L'analyse des diatomées montre une amélioration légère des stations amont et aval qui passent d'un état écologique « Bon » en 2013 à « Très Bon » en 2014. Les changements mineurs observés en 2014 entre l'amont et l'aval n'influencent pas l'état écologique du milieu.

Les IBGN et IBD indiquent une bonne qualité de l'état écologique de la Durance.

Analyse sur sédiments et bryophytes de la Durance

PARAMETRES	Unité	STATION AMONT	STATION AVAL
Matières sèches	% MB	51,4	43,1
Azote total Kjeldhal (NTK)	mg/kg MS	< 7,73	< 6,49
Arsenic (As)	mg/kg MS	6,50	5,35
Cadmium (Cd)	mg/kg MS	< 0,11	< 0,11
Cuivre (Cu)	mg/kg MS	14,6	13,9
Chrome (Cr)	mg/kg MS	18,4	15,0
Chrome hexavalent (Cr VI)	mg/kg MS	< 0,129	< 0,108
Nickel (Ni)	mg/kg MS	33,0	31,1
Plomb (Pb)	mg/kg MS	10,3	9,6
Zinc (Zn)	mg/kg MS	66,1	66,4
Fer (Fe)	mg/kg MS	20 418	18 900
Mercure (Hg)	mg/kg MS	0,737	2,415
Aluminium (Al)	mg/kg MS	10 074	7 817
Bore (B)	mg/kg MS	4,93	1,87

Analyse sur sédiments – campagne 2014 (MS : Matière Sèche)

Les sédiments sont caractéristiques d'une bonne qualité du milieu naturel, excepté pour :

- le paramètre Nickel qui se situe dans la classe de qualité moyenne, comme en 2013, pour les deux stations ;
- le paramètre Mercure qui se situe dans la classe moyenne pour la station amont et dans la classe médiocre pour la station aval.

Néanmoins, sur la matrice eau, toutes les valeurs mesurées lors des campagnes mensuelles sont inférieures à la limite de quantification, que ce soit en amont ou en aval du rejet du CEA de Cadarache. De même pour les bryophytes.

Comme les valeurs mesurées cette année sont supérieures d'un facteur 10 par rapport à 2013 sur les deux stations de mesure, l'origine de cette augmentation ne peut être imputée au rejet du CEA de Cadarache et l'écart de concentration entre les deux stations de mesure est probablement lié aux caractéristiques des deux stations de prélèvement.

De plus, se pose également le problème de représentativité des échantillons prélevés car il est parfois difficile d'échantillonner des sédiments sur certaines portions du lit (absence sur la première couche). L'effet de barrage sur le point amont peut aussi avoir son incidence sur la bonne représentativité du point de mesure de par sa proximité voisine.

Le fer et l'aluminium sont toujours des éléments majeurs présents en quantité significative en amont comme en aval. L'azote Kjeldahl met en évidence des sédiments riches en débris végétaux.

Il est établi que le flux sédimentaire atteignant le barrage de Cadarache provient en grande partie de l'érosion mécanique des Terres noires callovo-oxfordiennes de la Moyenne Durance. Cette formation est marneuse et contient une phase argileuse qui lui confère ses fortes teneurs en aluminium et fer. De plus, la couleur grisâtre du sédiment peut indiquer la présence de minéraux riches en fer.

Le tableau ci-dessous reprend les classes d'aptitudes en fonction des paramètres analysés sur l'échantillon de bryophytes.

LEGENDE (grille d'évaluation SEQ-Eau)						
Classes et indices de la qualité de l'eau par altération						
sur les bryophytes						
		CLASSE D'APTITUDE				
		Eau de très bonne qualité	Eau de bonne qualité	Eau de qualité moyenne	Eau de qualité médiocre	Eau de mauvaise qualité
Classe de qualité →		Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
Indice de qualité →		80	60	40	20	
PARAMETRES						
As (mg/kg de poids sec)		4,5	9	27	54	-
Hg (mg/kg de poids sec)		0,15	0,30	0,85	1,7	-
Cd (ma/ka de poids sec)		1,2	2,5	7	14	-

PARAMETRES	Unité	STATION AMONT	STATION AVAL
Matières sèches	% MB	32,1	29,9
Arsenic (As)	mg/kg MS	3,74	4,61
Mercurure (Hg)	mg/kg MS	< 0,053	< 0,052
Cadmium (Cd)	mg/kg MS	< 0,05	< 0,05

Analyse sur bryophytes (MS : Matière Sèche)

Les bryophytes sont caractéristiques d'une très bonne qualité du milieu naturel, avec juste le paramètre Arsenic, au niveau de la station aval, qui se situe dans la classe bonne qualité.

Conclusion

Les conclusions du laboratoire agréé par le Ministère de l'écologie et du développement durable, en charge du programme de surveillance, sont indiquées ci-après.

« Les deux stations de mesure présentent des caractéristiques relativement similaires. Le rejet des effluents du centre de Cadarache ne présente donc aucun impact négatif sur le milieu naturel.

Les résultats 2014 au format SEQ-Eau démontrent dans l'ensemble une bonne qualité du milieu naturel (la Durance).

On note cependant, pour le paramètre Mercure, une augmentation de la concentration d'un facteur 10 sur les sédiments par rapport à l'année 2013.

Par contre, sur les matrices eau et bryophytes, les concentrations restent inférieures à la limite de quantification du laboratoire.

Cette forte augmentation sur les deux stations ne peut donc pas être imputée au rejet du CEA de Cadarache. Les caractéristiques des deux stations de prélèvements peuvent être à l'origine de l'écart entre les concentrations mesurées, ainsi que les problèmes rencontrés sur le terrain en termes de représentativité de l'échantillonnage.

En effet, la station amont est située trop près du barrage ce qui provoque une importante modification de la structure du lit chaque année.

Afin d'obtenir des caractéristiques sensiblement identiques pour les deux stations de prélèvement, il paraît indispensable de repositionner le point amont au plus près du rejet du CEA de Cadarache (à environ 400 m du point de rejet). »

1.9.2.3 Qualité des eaux souterraines

A l'occasion du point zéro d'ITER, une caractérisation chimique des eaux souterraines a été réalisée. Le tableau suivant présente les fourchettes de valeurs rencontrées sur les 9 piézomètres d'ITER.

Nature	Paramètre	Unité	Concentrations des eaux souterraines prélevées sur la zone ITER
Minéralisation	Conductivité à 25°C	µS/cm	455 à 725
	Fluorures	mg/l	< 0,1 à 0,7
	Calcium	mg/l	62 à 150
	Chlorures	mg/l	4,8 à 14
	Magnésium	mg/l	2,3 à 17
	Potassium	mg/l	< 1
	Silicates solubles	mg/l	4 à 4,7
	Sodium	mg/l	3,7 à 8
Fer et manganèse	Sulfates	mg/l	5,6 à 27
	Fer	mg/l	<0,010 à 0,021
	Manganèse	mg/l	<0,002 à 0,076
Oligo-éléments Micro polluants minéraux	Aluminium	mg/l	<0,010 à 0,042
	Nickel	mg/l	< 0,005
	Zinc	mg/l	0,031 à 0,620
Oxygènes et matières organiques	Demande chimique en oxygène (DCO)	mg/l	< 5 à 35

nd : non défini = aucune valeur limite ou de référence

Les concentrations de tous les éléments sont du même ordre de grandeur que le bruit de fond géochimique du site de Cadarache. Sur un piézomètre particulier, le zinc a été mesuré et confirmé à des valeurs supérieures au bruit de fond mais à des valeurs bien inférieures aux valeurs conseillées pour l'eau potable par l'Organisation Mondiale de la Santé.

L'hypothèse que l'on retient aujourd'hui serait l'ancienne présence d'une verrerie à cet emplacement il y a plusieurs décennies qui aurait pu utiliser ce métal pour son activité. Le zinc aurait pu être utilisé pour certains ornements appliqués sur le verre.

Dans le cadre de l'arrêté préfectoral N°113-2006, (article 9.1.3 Surveillance des effets dans l'environnement – Eaux souterraines) ; les caractéristiques chimiques des eaux de la nappe phréatique sont suivies par un réseau de 9 forages parmi ceux présentés au § 1.9.2.1.

Le tableau suivant présente les fourchettes de valeurs rencontrées sur les 9 piézomètres pour l'année 2014.

Paramètre	Unité	Eaux souterraines	
		Min	Max
Chlorures	mg/l	<5	81
Sulfates	mg/l	<10	72
Fluorures	mg/l	<0,1	1,1
Hydrocarbures totaux	mg/l	<0,1	0,7
Aluminium	mg/l	0,02	0,39
Fer	mg/l	<0,01	0,11

Paramètre	Unité	Eaux souterraines	
		Min	Max
Zinc	mg/l	<0,01	0,43
Bore	mg/l	<0,05	<0,05
Phosphore total	mg/l	<0,1	<0,1
Demande chimique en oxygène (DCO)	mg/l	<30	61
Demande biochimique en oxygène (DBO ₅)	mg/l	<3	9
Azote Global	mg/l	<1,52	4,71

1.9.3 Le milieu terrestre

1.9.3.1 Terre

Chaque année, un échantillon de terre est prélevé à Saint-Paul-lez-Durance entre 0 et 5 cm de profondeur. Le tableau ci-après présente les résultats de 2013 et 2014.

Année	Activité moyenne Radioéléments Naturels (Bq/kg)			Activité moyenne Radioéléments artificiels (Bq/kg)			
	²²⁶ Ra+desc.	²²⁸ Ra+desc.	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs	²³⁸ Pu	²³⁸ Pu + ²⁴⁰ Pu	²⁴¹ Am
2013	20	25	310	24	<0,05	0,42	<0,09
2014	18	2,2	27	22	<0,66	0,38	0,14

Elles sont également comparables aux valeurs issues des données IRSN dans le cadre de campagne de prélèvement du même type.

Des analyses ont été réalisées sur des échantillons de terre prélevés à une trentaine de kilomètres de Cadarache (ils sont considérés comme des échantillons de référence, non influencés par les activités du site de Cadarache du fait de la situation géographique de la commune). Les activités mesurées en césium-137, et en plutonium-239 et plutonium-240 sont comparables à celles mesurées dans l'échantillon prélevé à Saint-Paul-lez-Durance. Les traces de césium-137 sont cohérentes avec le niveau moyen d'activité mesuré sur le territoire français consécutif aux retombées de l'accident de Tchernobyl de 1986. Les traces de plutonium sont, elles, cohérentes avec le marquage dû aux retombées des essais aériens d'armes nucléaires (de 1945 à 1980).

Des mesures plus détaillées ont été réalisées sur 6 points de prélèvements dans le cadre du point zéro radiologique d'ITER en 2007.

Nature	Radioactivité des sols sur la zone ITER de 0 à -0,05 m (Bq/kg de matière sèche)	Radioactivités des sols sur la zone ITER De -0,05 à - 0,20 m (Bq/kg de matière sèche)
⁷ Be	< 3 à 6,7	< 3
⁴⁰ K	147 à 379, 5	170,1 à 379,5
⁵¹ Cr	<1 à < 3	<2 à < 3
⁵⁴ Mn	< 0,2 à < 0,3	<0,2 à < 0,3
⁶⁰ Co	<0,1 à < 0,3	<0,2 à < 0,3
¹²⁹ I	<3 à < 5	<3 à < 5
¹³³ Ba	<0,4 à < 0,5	<0,3 à < 0,5
¹³⁴ Cs	<0,2 à < 0,3	< 0,2 à < 0,3
¹³⁷ Cs	< 0,5 à 61,34	4,23 à 22,91
²²⁶ Ra	< 1 à 44,6	10,2 à 33,7
²²⁸ Ra	< 2 à 32,5	14,6 à 37,6
¹⁵² Eu	<0,5 à < 1,2	<0,5 à < 1
¹⁵⁴ Eu	<0,5 à < 2	<0,8 à < 1
²² Na	<1 à < 4	<3 à < 4
²³⁵ U	<3 à < 4	< 3 à 5,3
²³⁸ U	12,6 à 24,9	8,8 à 23,1
²⁴¹ Am	<0,6 à < 0,9	<0,5 à < 0,8
⁹⁰ Sr	21,3 et 52,4	27,7 et 30,5
Mesure alpha totale	8,27 et 13,6	8,45 et 12,02
Carbone 14	<42 à < 64	<57 à < 60

Ces résultats ne montrent également aucune anomalie.

De même, une analyse chimique a été réalisée sur des échantillons de sols superficiels (0,20 à 0,40 m), ainsi que de sols profonds (entre 2 et 19 m, prélèvements réalisés à partir de carottes de terrain issues de la construction de piézomètres). Les résultats sont présentés dans le tableau suivant.

	Unité	Concentration des sols superficiels sur la zone ITER entre 0,2 et 0,4 m	Concentration des sols profonds sur la zone ITER entre 2 et 19 m	Bruit de fond
Dioxines et Furannes	pg/g	0 à 1,65	0	nm
Aluminium	mg/kg	190 00 à 48000	150 00 à 24 000	nm
Arsenic	mg/kg	5,5 à 15	1,6 à 8,8	8,96
Béryllium	mg/kg	< 0,5	< 0,5	< 2
Cadmium	mg/kg	< 0,5	< 0,5	0,12 / 0,42
Chrome total	mg/kg	26 à 93	21 à 160	44 / 75
Cuivre	mg/kg	4,2 à 20	2,2 à 11	22,2 / 14,9
Mercure	mg/kg	< 0,05	< 0,05	0,022
Nickel	mg/kg	16 à 48	11 à 27	21,8 / 41,3
Plomb	mg/kg	7,8 à 24	3,2 à 7,6	17,2 / 64,8
Zinc	mg/kg	21 à 65	12 à 50	47 / 149
Fer	mg/kg	10 000 à 31 000	6 000 à 13 000	nm
Manganèse	mg/kg	200 à 1 000	140 à 180	1585
Cyanures totaux	mg/kg	< 2	< 2	nm
Indice Hydrocarbures	mg/kg	< 200	< 200	nm

nm : non mesuré

Le bruit de fond est la valeur de référence pour la région PACA (base de données Indiquasol). Le second chiffre, quand il est présent, est la valeur de référence pour le

programme ASPITET (Programme lancé par l'INRA en 1994 : Apports d'une Stratification Pédologique pour l'Interprétation des Teneurs en Eléments Traces).

Pour le chrome, toutes les valeurs ont été mesurées à des niveaux inférieurs à 47 mg/l, sauf en un endroit. Ceci peut s'expliquer par la présence d'une verrerie dans le passé qui aurait pu utiliser du chrome pour la fabrication du verre ou de ses accessoires.

1.9.3.2 Végétaux

Pour assurer la surveillance du milieu terrestre, divers types d'échantillons sont prélevés sur des produits végétaux de consommation humaine (fruits et légumes à feuilles et à racines) dans les communes situées autour du site de Cadarache ainsi que sur du lait de chèvre et du thym qui est un bio-indicateur d'une éventuelle contamination radiologique car il concentre certains radioéléments produits par l'industrie nucléaire, en particulier le Césium.

Les tableaux suivants présentent les résultats pour 2013 et 2014 des prélèvements sur les végétaux bio-indicateurs (valeurs moyennes en Bq/kg frais, sauf pour le ^{14}C en Bq/kg frais de Carbone total).

Activités moyenne 2013 en Bq/Kg frais	^{40}K	^{137}Cs	Carbone 14	Tritium libre	Tritium lié	^{238}Pu	$^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$
Ginasservis	214	0,4	276	< 0,6	< 0,4	$< 1,8 \cdot 10^{-3}$	$8,4 \cdot 10^{-3}$
Saint-Paul-lez-Durance	249	0,6	264	< 0,6	< 0,4	$< 1,7 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-2}$
Grande Bastide	230	0,3	238	< 0,9	< 0,2	$< 1,6 \cdot 10^{-3}$	$3,5 \cdot 10^{-3}$
Verrerie	198	0,7	261	0,6	0,9	$< 1,9 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-2}$

Activités moyenne 2014 en Bq/Kg frais	^{40}K	^{137}Cs	Carbone 14	Tritium libre	Tritium lié	^{238}Pu	$^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$
Ginasservis	204	0,4	247	< 0,6	< 0,4	$< 1,7 \cdot 10^{-3}$	$5,9 \cdot 10^{-3}$
Saint-Paul-lez-Durance	220	0,6	281	< 0,6	< 0,4	$< 7 \cdot 10^{-4}$	$9,3 \cdot 10^{-3}$
Grande Bastide	213	0,2	260	1,1	< 0,3	$1,3 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$
Verrerie	190	0,9	288	< 0,6	< 0,4	$< 2,1 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$

A titre indicatif, des analyses ont été réalisées sur des échantillons de thym « de référence » prélevés à une trentaine de kilomètres de Cadarache. Les niveaux d'activité en potassium-40 sont de l'ordre de 7 Bq/g de cendre (soit environ 202 Bq/kg frais).

Les valeurs mesurées en césium-137 dans l'échantillon prélevé sont du même ordre de grandeur que celles mesurées sur le sol français (retombées de l'accident de Tchernobyl en 1986).

Les niveaux d'activité en carbone-14 sont proches des valeurs trouvées communément dans les végétaux (en moyenne 260 Bq/Kg de carbone). Les valeurs en tritium libre et en tritium lié sont toutes inférieures aux ou très proches des seuils de décision.

Des mesures ont également été réalisées dans le cadre du point zéro radiologique d'ITER en 2007. Le thym a été sélectionné pour sa capacité à concentrer les radionucléides, et le chêne vert est quant à lui un bon indicateur du cycle de l'eau avec une capacité à représenter les rejets de tritium au cours de plusieurs mois.

Nature	Radioactivité du thym sur la zone ITER (Bq/kg de matière sèche)	Radioactivité du chêne vert sur la zone ITER (Bq/kg de matière sèche)
⁷ Be	60,6 à 197,9	18,8 à 89,4
⁴⁰ K	<11 à 429	<11 à <194
⁵¹ Cr	<1 à <11	<1 à <12
⁵⁴ Mn	<0,4 à <0,7	< 0,3 à <0,7
⁶⁰ Co	<0,3 à <0,7	< 0,3 à <0,8
¹²⁹ I	<2 à <72	< 2 à <72
¹³³ Ba	<0,3 à <0,9	< 0,4 à <0,7
¹³⁴ Cs	<0,4 à <0,7	<0,3 à <0,6
¹³⁷ Cs	<0,3 à 2,17	<0,3 à 1,95
²²⁶ Ra	<4 à <12	< 5 à <10
²²⁸ Ra	1,8 à 3,53	<1 à <3
¹⁵² Eu	<0,5 à <1	<0,4 à <0,8
¹⁵⁴ Eu	<0,2 à <0,7	< 0,3 à <0,6
²² Na	<0,4 à < 0,8	< 0,3 à <0,7
²³⁵ U	<0,3 à <0,7	< 0,3 à <0,6
²³⁸ U	< 1 à <27	< 1 à <23
²⁴¹ Am	<0,3 à <0,9	< 0,3 à <1
Tritium de l'eau libre (HTO)	<3 à < 24	<3 à < 9
Tritium sous forme organique (TOL)	0,5 à <4,2	0,4 à <1,2
Carbone 14	47 à 232	44,1 à 230
Carbone organique total	58 à 163	38 à 110

De plus, en 2008, plusieurs autres mesures ont été faites par le seul laboratoire français accrédité pour les mesures de TOL (Tritium Organiquement Lié) sur plusieurs emplacements autour du site ITER, à partir de feuilles de chênes verts et en prenant en compte la rose des vents. Toutes ces valeurs ont confirmé que les mesures en tritium sous forme HTO ou TOL sont inférieures à 2 Bq/l.

Les tableaux suivants présentent les résultats d'analyse de légumes (en valeur moyenne, en Bq par kg frais).

Activités 2013 en Bq/kg	Activité ¹⁴ C	Activité ³ H Eau libre	Activité ³ H lié	Activité ⁴⁰ K	Activité ¹³⁷ Cs	Activité ²³⁹ Pu+ ²⁴⁰ Pu	Activité ²³⁸ Pu	Activité ⁹⁰ Sr+ ⁹⁰ Y
Légume feuille	198	2,1	0,04	91	< 0,008	<5,0.10 ⁻⁴	<5,0.10 ⁻⁴	<0,004
Légume fruit	184	<1,1	<0,06	99	< 0,009	< 2,6 10 ⁻⁴	< 2,6 10 ⁻⁴	<0,03
Légume racine	194	< 1,1	<0,09	118	< 0,007	< 3,3 10 ⁻⁴	< 3,3.10 ⁻⁴	<0,05

Activités 2014 en Bq/kg	Activité ^{14}C	Activité ^3H Eau libre	Activité ^3H lié	Activité ^{40}K	Activité ^{137}Cs	Activité $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$	Activité ^{238}Pu	Activité $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$
Légume feuille	275	<1,25	<0,02	124	0,05	$<7,6 \cdot 10^{-4}$	$<6,0 \cdot 10^{-4}$	<0,017
Légume fruit	277	<1,15	0,55	103	0,04	$<1,6 \cdot 10^{-4}$	$<1,3 \cdot 10^{-4}$	<0,04
Légume racine	194	<1,1	<0,09	118	<0,007	$<3,3 \cdot 10^{-4}$	$<3,3 \cdot 10^{-4}$	<0,05

Les analyses réalisées montrent la présence de potassium 40, isotope radioactif du potassium naturellement présent dans les végétaux. Les activités mesurées en césium 137 et en strontium-yttrium 90 sont toutes inférieures aux seuils de décision.

Les niveaux d'activité en carbone 14 sont proches des valeurs trouvées communément dans les végétaux. Sur les échantillons prélevés, aucune mesure de transurien n'a été significative.

A titre indicatif, les analyses réalisées sur des échantillons de végétaux de consommation « de référence » prélevés en 2009 et 2010 à une trentaine de kilomètres de Cadarache, montrent des activités en potassium 40 de l'ordre de 12 à 15 Bq/g de cendres (soit environ 154 Bq/kg de frais), et des activités en carbone 14 de l'ordre de 266 ± 35 Bq/kg de carbone.

Le tableau suivant, issu du bilan radiologique de l'environnement français en 2012 réalisé par l'IRSN, donne l'évolution des niveaux d'activité du césium 137 dans différentes matrices du compartiment terrestre entre mai 1986 et décembre 2012 (en Bq/l, Bq/kg frais ou Bq/kg sec).

Accident de Tchernobyl 26 avril 1986		Accident de Fukushima 11 mars 2011		
Type de denrée	Mai 1986	Avant Fukushima	Avril 2011	Juin 2011 – Décembre 2012
Lait de vache	100 Bq/L**	0,07 – 1,2 Bq/L	0,6 Bq/L**	1 Bq/L**
Viande de bœuf	1 000 Bq/kg frais**	0,05 – 0,1 Bq/kg frais	0,2 Bq/kg frais**	< 0,2 Bq/kg frais
Légumes feuilles	1 000 Bq/kg frais**	0,02 – 0,8 Bq/kg frais	1,2 Bq/kg frais**	0,3 Bq/kg frais**
Fruits	Quelques dizaines à quelques centaines de Bq/kg frais*	< 0,1 Bq/kg frais	< 0,1 Bq/kg frais	< 0,1 Bq/kg frais
Céréales	Quelques dizaines de Bq/kg frais*	< 0,5 Bq/kg sec	-	< 0,5 Bq/kg sec
Gibier	Quelques milliers de Bq/kg frais dans les zones les plus contaminées*	Quelques Bq/kg frais*	-	1,6 Bq/kg frais**
Champignons	Quelques milliers de Bq/kg frais dans les zones les plus contaminées*	Quelques dizaines à quelques centaines de Bq/kg frais*	-	100 Bq/kg frais**

* Les valeurs mesurées diffèrent suivant l'origine géographique et le type de produit concerné
 ** Valeur maximale mesurée

Evolution des niveaux d'activité du césium 137 dans différentes matrices du compartiment terrestre français entre mai 1986 et décembre 2012 (Source : IRSN)

Le tableau suivant présente les résultats d'analyse du lait de chèvre en valeur moyenne en Bq/l (aucun éleveur de vaches laitières n'a été recensé dans la zone).

Les échantillons de lait de chèvre sont fournis par un éleveur de la commune de Gréoux-les-Bains.

Activité moyenne Bq/l	Activité moyenne ^{14}C	Activité moyenne ^3H Eau libre	Activité moyenne ^3H lié	Activité moyenne ^{40}K	Activité moyenne ^{137}Cs	Activité moyenne ^{131}I
2013	253	1,07	0,14	64,6	< 0,36	< 0,36
2014	290	< 1,2	< 0,2	64,1	< 0,63	< 0,55

Les mesures en Iode-131 et en Césium-137 sont inférieures aux seuils de décision.

Le potassium-40, isotope radioactif du potassium, et le Carbone-14, isotope radioactif du carbone, sont des composants naturels présents dans le lait.

A titre indicatif, nous avons réalisé des analyses sur des échantillons de lait de chèvre « de référence » prélevés à une trentaine de kilomètres de Cadarache. Les niveaux d'activité en potassium-40 sont du même ordre de grandeur.

Les niveaux d'activité en carbone-14 sont proches des valeurs trouvées communément dans les matières vivantes.

Dans tous les cas, les résultats sont en dessous des normes d'acceptabilité en matière de produits de consommation humaine (Codex Standard 193-1995 du Codex alimentarius FAO/OMS).

Pour ce qui concerne le volet chimique, on dispose des analyses des végétaux sur le site d'ITER. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant.

Nature	Unité	Activité des végétaux sur la zone ITER Thym	Activité des Végétaux sur la zone ITER Chêne vert	Valeurs de référence (*)
Dioxines et furannes	pg/g	0 à 0,29	0 à 0,79	-
Aluminium	mg/kg	410 à 990	120 à 420	-
Arsenic	mg/kg	< 0,5	< 0,5	-
Béryllium	mg/kg	< 0,5	< 0,5	-
Cadmium	mg/kg	< 0,5	< 0,5	-
Chrome total	mg/kg	0,91 à 2,4	0,62 à 2,5	0,2 à 1
Cuivre	mg/kg	6,3 à 8,3	3,5 à 4,6	2 à 12
Mercure	mg/kg	0,052 à 0,078	< 0,05 à 0,07	-
Nickel	mg/kg	1,1 à 1,7	< 0,5 à 10	0,1 à 3
Plomb	mg/kg	0,86 à 1,3	< 0,5 à 0,95	<3
Zinc	mg/kg	58 à 85	24 à 31	10 à 100
Fer	mg/kg	290 à 660	110 à 350	-
Manganèse	mg/kg	49 à 140	25 à 450	-
Cyanures totaux	mg/kg	< 2	< 2	-
Hydrocarbures	mg/kg	1200 à 4900	< 660 à 830	-

(*) Aucune valeur de référence n'ayant été trouvée pour la France, on a utilisé les valeurs indiquées par le Ministère Fédéral allemand de la Coopération et du Développement Economique (BMZ).

1.9.4 Conclusion

1.9.4.1 Aspect radiologique

Les analyses effectuées sur les prélèvements réalisés sur le et autour du site ainsi que les mesures en continu montrent des valeurs souvent inférieures aux seuils de décision des appareils de mesure ou comparables aux niveaux de radioactivité mesurés habituellement dans des lieux hors de l'environnement de Cadarache (radioactivité naturellement présente ou radioactivité artificielle résultant d'événements passés - traces des retombées de l'accident de Tchernobyl en 1986 ou des essais aériens des armes nucléaires entre 1945 à 1980).

Toutes ces mesures (plus de 5 200 prélèvements par an) montrent l'absence d'impact environnemental décelable du fonctionnement actuel et passé des installations de Cadarache.

Les prélèvements et analyses faits dans le cadre du point zéro radioécologique d'ITER en 2007 et des différents points zéro des nouvelles installations du Centre de Cadarache (AGATE, MAGENTA, RJH) confirment ces appréciations.

1.9.4.2 Aspect biologique et chimique

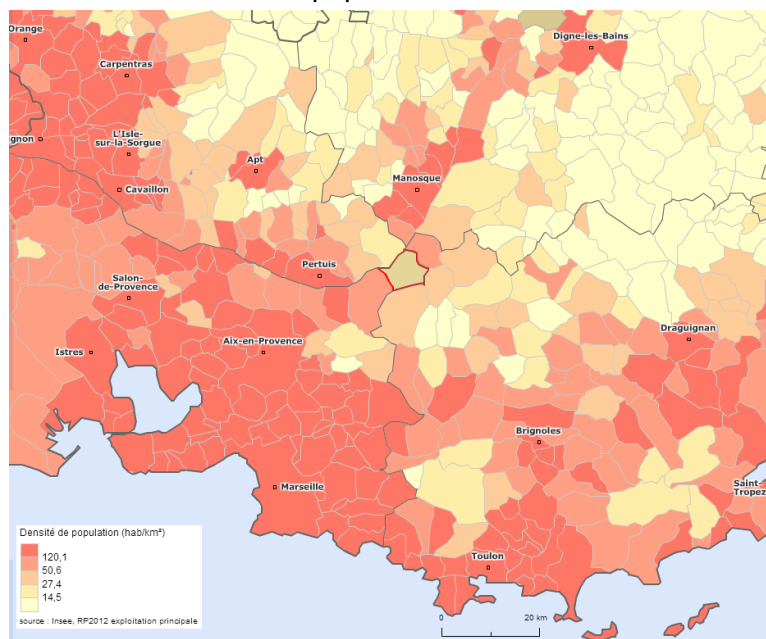
Les résultats des mesures et des analyses réalisées dans l'air, les sols, les eaux superficielles et souterraines ne mettent en évidence aucune pollution provenant du site de Cadarache. Globalement l'état de tous les compartiments de l'environnement est satisfaisant et ne montre aucune différence notable avec le « bruit de fond » de la région.

Les quelques points singuliers trouvent une explication indépendante des activités actuelles du site de Cadarache.

1.10 Milieu humain

1.10.1 Démographie et urbanisation

La carte de densité de population établie sur la base du recensement INSEE de 2012 donne



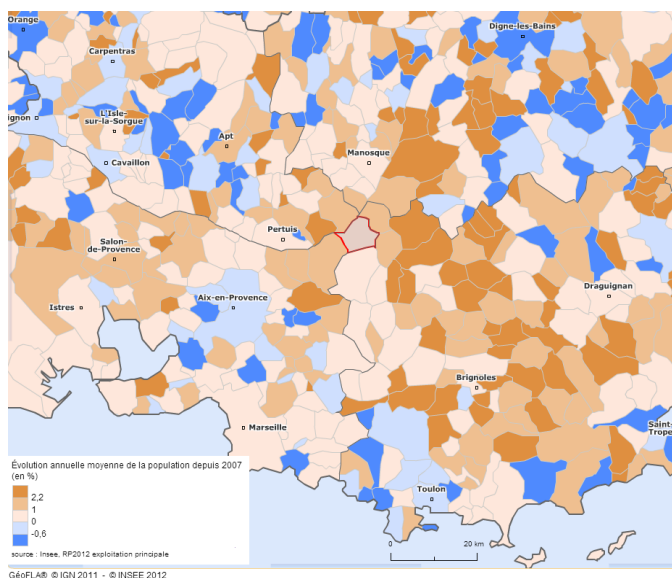
Densité de population dans un rayon de 80 km (la commune de St Paul est encadrée de rouge)

de 40 km, sur le littoral avec les agglomérations de Toulon et Marseille, autour de l'étang de Berre et dans la vallée du Rhône. Plus près de Cadarache, se trouve également l'agglomération d'Aix-en-Provence à environ 35 km au sud-ouest. La ville la plus importante située à proximité du site est Manosque (environ 23 000 habitants) à 15 km dans la direction du nord.

La figure ci-contre montre l'évolution de la densité de population sur le même territoire entre les deux recensements de 2007 et 2012. On constate que, près de Cadarache, la population a sensiblement augmenté, notamment à l'Est.

Le site de Cadarache est entouré de 8 communes rurales situées dans un rayon de 7,5 km.

Le tableau suivant donne la population en 1999, 2006 et 2012 (la population légale millésimée 2012, établie conformément au décret n°2013-1289, est entrée en vigueur le 1/1/2015).



Evolution de la population entre 2007 et 2012

Commune	Dépt.	Population INSEE 1999	Population légale 2006	Population légale 2012	Différence entre 1999 et 2012
Corbières	04	791	935	1 062	+271
Jouques	13	3 321	3 979	4 375	+1 054
Saint-Paul-lez-Durance	13	790	962	995	+205
Ginasservis	83	984	1 403	1 583	+599
Rians	83	3 628	4 289	4 398	+770
Vinon-sur-Verdon	83	2 992	3 799	4 299	+1 307
Beaumont-de-Pertuis	84	934	1 019	1 115	+181
Mirabeau	84	907	1 076	1 228	+321
Total		14 347	17 462	19 055	+4 708

Dans ce périmètre, l'apport estival de la population touristique n'est pas significatif, excepté sur la commune de Vinon-sur-Verdon en raison de l'activité de l'aérodrome. On constate que les environs immédiats du site de Cadarache sont très peu peuplés. Les concentrations de populations les plus proches sont localisées au village de Saint-Paul-lez-Durance et à la zone d'activités située entre le village et le site (direction ouest), au Hameau destiné essentiellement au logement des stagiaires et situé à proximité de l'entrée principale (direction nord-ouest), au château de Cadarache (direction nord) et surtout au village de Vinon-sur-Verdon (à 5 km de Cadarache dans la direction nord-est).

Au-delà de ce périmètre de 7,5 km, il y a une activité touristique importante avec la station thermale de Gréoux-les-Bains à environ 14 km du site et le lac d'Esparron à environ 20 km. Cette activité est de caractère plutôt estival et concerne essentiellement les mois de juillet et août. Les communes de concernées sont situées dans la direction nord-est par rapport au site de Cadarache. Enfin, une communauté religieuse est installée sur la commune de Jouques, au lieu-dit Notre Dame de la Fidélité, à 12 km du site dans la direction ouest/sud-ouest.

1.10.2 Ambiance sonore

L'article 3 de l'arrêté du 23 janvier 1997 relatif à la limitation des bruits émis dans l'environnement par les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), indique que les émissions sonores des installations ne doivent pas engendrer une **émergence** supérieure aux valeurs admissibles fixées dans le tableau suivant, dans les zones où celle-ci est réglementée. A noter que cet arrêté est également applicable aux Installations Nucléaires de Base (INB) conformément à l'Arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base.

Niveau de bruit ambiant existant dans les zones à émergence réglementée (incluant le bruit des installations)	Émergence admissible pour la période allant de 7h à 22h, sauf dimanches et jours fériés	Émergence admissible pour la période allant de 22h à 7h, ainsi que les dimanches et jours fériés
Supérieur à 35dB(A) et inférieur ou égal à 45dB(A)	6dB(A)	4dB(A)
Supérieur à 45dB(A)	5dB(A)	3dB(A)

Niveaux réglementaires en matière de bruit fixés par l'arrêté du 23 janvier 1997

Bruit ambiant, bruit résiduel et émergence : Le niveau de bruit ambiant est la mesure obtenue quand le bruit particulier de l'installation visée par les mesures est en fonctionnement, alors que le niveau de bruit résiduel est la mesure obtenue sans le bruit engendré par cette même installation. L'émergence correspond donc au calcul de la différence entre ces deux valeurs.

dB(A) : Décibel A. L'oreille humaine n'est pas sensible de la même manière à toutes les fréquences. A niveau équivalent, un son grave sera perçu moins fort qu'un son aigu. Pour tenir compte de ce facteur, un filtre de pondération fréquentielle appelé filtre de pondération A est utilisé.

Les niveaux sonores en limite de site doivent en outre être inférieurs aux limites fixées par l'arrêté préfectoral 113-2006A du 25 septembre 2006 soit :

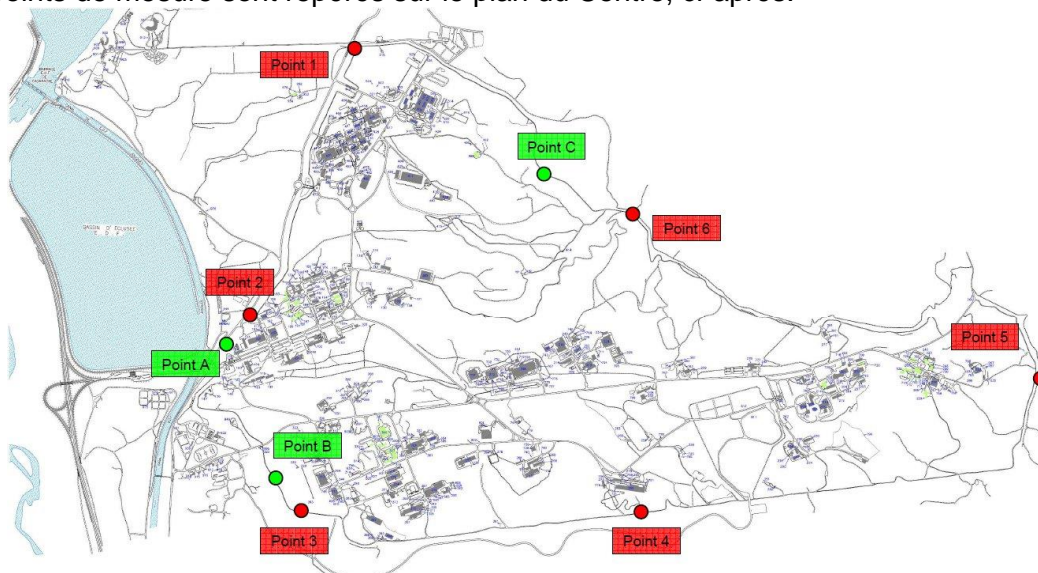
- le jour (7 h à 22h, sauf dimanches et jours fériés) : 60 dB(A),
- la nuit (22 h à 7 h), les dimanches et jours fériés : 50 dB(A).

Les dernières mesures effectuées en 2013 sont inférieures aux limites. Les résultats des mesures de bruit effectuées sont présentés dans le tableau ci-après.

Point de mesure	Niveaux relevés en dB(A)	
	Jour	Nuit
N°1	59	38
N°2	57	39
N°3	44	41,5
N°4	43,5	44
N°5	40	22,5
N°6	43,5	35,5

Les objectifs sont de 60 dB(A) le jour et de 50 dB(A) la nuit. Les résultats de mesures sont donc conformes aux objectifs.

Les points de mesure sont repérés sur le plan du Centre, ci-après.



Points de mesure de bruit

Trois points supplémentaires ont également été mis en place en limite de site (dans l'inter clôture) à 1,5 m au-dessus du sol pour obtenir le **bruit résiduel** servant au calcul d'**émergence**.

Le bruit ajouté par les installations du Centre de Cadarache, appelé émergence, a été calculé à partir des mesures effectuées aux points 1 à 6 et A à C.

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant.

Point	Emergence jour en dB(A)	Emergence max. jour autorisée en dB(A)	Emergence nuit en dB(A)	Emergence max. nuit autorisée en dB(A)
N°1	5,5*	5	1	***
N°2	3,5	5	4	4
N°3	0**	6	1,5	4
N°4	4,5	6	2	4
N°5	2	6	0	***
N°6	4,5	6	3,5	***

* : conforme dans l'incertitude de mesure de l'appareillage ; ** : émergence négative due à l'absence de bruit du site au point de mesure ; *** : niveaux inférieurs à 35 dB(A) pour lesquels l'indicateur d'émergence n'est pas applicable

Bruit ajouté par les installations du Centre de Cadarache en 2013

Enfin, une analyse en fréquences a été réalisée au cours de la période d'exploitation du site pour les points 1 à 6. Cette dernière ne fait pas apparaître de tonalités marquées. Les forts niveaux sonores dans les fréquences aigües sont dus à l'avifaune.

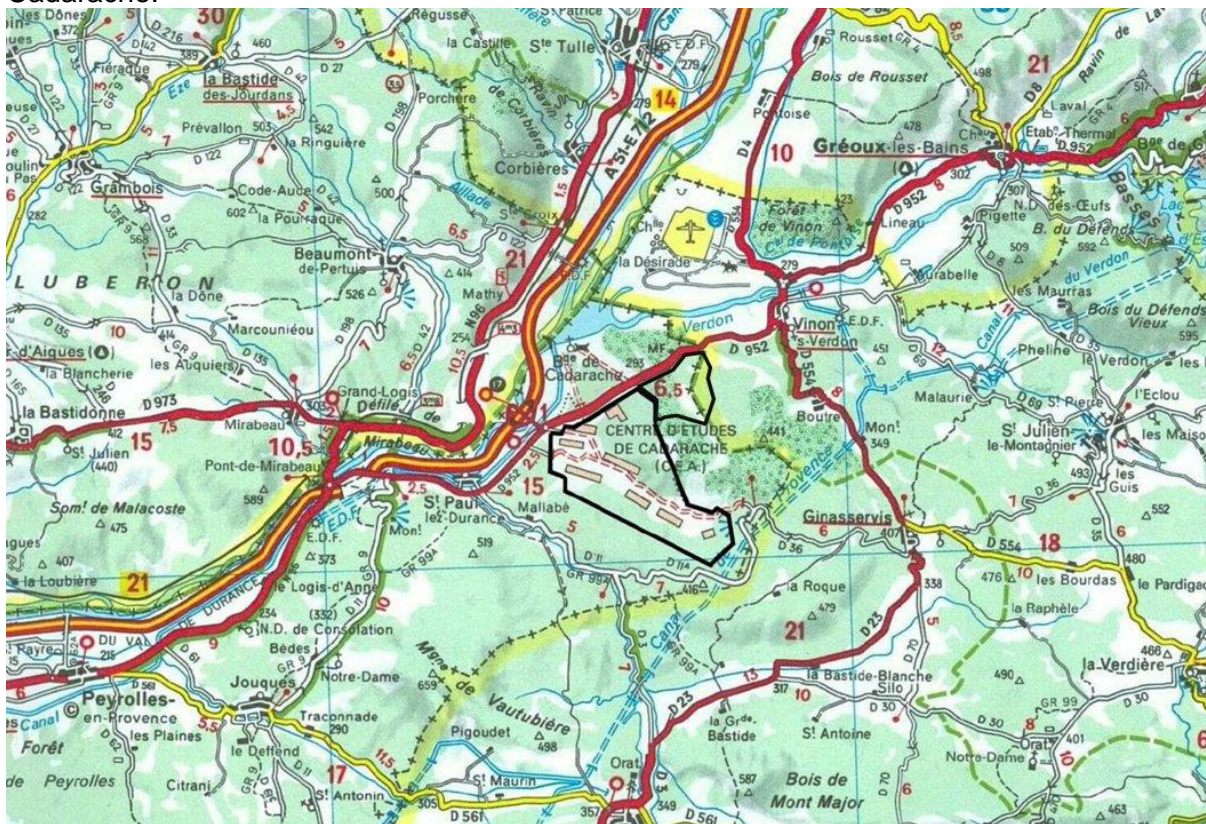
Toutes les mesures réalisées sont conformes à la réglementation. La principale source de bruit à proximité du site de Cadarache est due à la circulation routière. Cette constatation est confirmée par les mesures qui ont été réalisées en 2007 sur le site d'ITER, présentés dans le tableau suivant.

Point	Niveaux relevés en dB(A)	
	Jour	Nuit
Près de la clôture CEA, au sud d'ITER	33,5	31,5
Au nord du site ITER en limite	33,5	29,5
Bord de la route, face à la maison de l'ONF	48,5	32,5

1.10.3 Les transports

1.10.3.1 Infrastructures routières

La figure suivante présente les principales voies de communication dans l'environnement de Cadarache.



Les voies de communication autour du CEA Cadarache

Le site est accessible, à partir du sud (Aix-en-Provence, Marseille) et du nord (Manosque) par la Route Nationale 96, la Route Départementale 952 et l'autoroute A51 dont la bretelle d'accès de la gare de St-Paul-lez-Durance est reliée à la Route Départementale 952 par un rond-point situé devant l'entrée principale du Centre.

Outre la RD 952, les routes les plus proches sont la RD 11 et la RD 36 qui permettent d'accéder au Centre par la Porte de Ginasservis, côté est. Quinze portes réparties le long de la clôture permettent de rejoindre ces voies en utilisant des chemins forestiers. Elles peuvent être utilisées en cas de situation exceptionnelle.

Le chantier ITER est accessible par une seule entrée située sur la RD 952, de même que l'accès aux bureaux.

La RN 96 et la RD 952 sont de bonne qualité, d'au moins 7 mètres de large. Les autres voies sont de qualité moyenne.

La circulation sur la RN 96 est très importante mais a nettement chuté depuis la mise en service de l'autoroute A51. Sa fréquentation moyenne journalière est descendue en 2002 à 7 530 véhicules au sud du pont de Mirabeau et à 6 400 véhicules sur la portion la plus proche du site de Cadarache située dans le département du Vaucluse.

L'autoroute A 51 a absorbé de son côté en 2001 un trafic moyen journalier de 15 600 véhicules sur la section située entre Pertuis et Cadarache, et de 14 800 véhicules sur la section située entre Manosque et Cadarache. La différence entre ces 2 sections correspond essentiellement au trafic en provenance d'Aix-en-Provence lié à l'activité de Cadarache.

Pour l'ensemble de ces données, la part de trafic correspondant aux poids lourds et aux cars est de 7 à 8 %.

En moyenne journalière annuelle, 3 810 véhicules ont emprunté la gare autoroutière de Saint-Paul-lez-Durance en 2001, dont 3 630 véhicules de tourisme et 180 cars ou poids lourds. La circulation en ce lieu est principalement due aux activités du site de Cadarache.

Il en est de même sur la route départementale 952 qui longe le Centre côté nord-ouest. Les comptages effectués par la DDE 13 indiquent pour 2002 un trafic moyen journalier de 5 730 véhicules au nord de l'entrée du Centre et de 5 710 véhicules du côté de Saint-Paul-lez-Durance. Les pointes principales se situent aux heures de début et de fin de journée (7h-9h et 16h-17h).

Les autres routes départementales, plus éloignées, ont une fréquentation moindre. En particulier, la fréquentation moyenne journalière de la RD 11 au sud-ouest du Centre était de 1 050 véhicules en 2002.

La circulation sur le Centre et sur l'emprise d'ITER obéit aux règles appliquées communément en agglomération. Sur le Centre, le trafic s'écoule suivant un réseau d'axes principaux reliés entre eux par des transversales, des routes et des chemins forestiers. Une piste de 4 mètres de large fait le tour de la clôture par l'intérieur et relie entre elles les différentes entrées.

Une analyse complémentaire concernant le trafic de matières dangereuses aux abords du site a été réalisée par le CETE Méditerranée en 2004. Cette étude montre que l'essentiel du trafic concerne l'autoroute A51 (150 poids lourds transportant des matières dangereuses en moyenne par jour).

Quelques poids lourds empruntent également la RD 952 qui longe les clôtures du Centre et d'ITER côté ouest, pour desservir la commune de Vinon-sur-Verdon.

L'approvisionnement du Centre en carburants (essence et gazole) a atteint un niveau stable ces dernières années avec 12 livraisons annuelles représentant environ 150 m³ pour l'essence et 120 m³ pour le gazole. Les trajets de camions d'hydrocarbure sur le Centre sont accompagnés d'un véhicule de la FLS sur le trajet porte principale – chaufferie – porte principale. En ce qui concerne les gaz comprimés (air, argon, butane, hélium, hydrogène, oxygène, méthane, propane, ammoniac, etc.), le flux d'entrée/sortie est d'environ 600 kg/an, sauf pour l'azote pour lequel il est de 6 000 kg/an. Le Centre est aussi approvisionné en produits chimiques divers, soit en capacités allant jusqu'à plusieurs mètre-cubes par an, soit en colis de petites quantités d'éthanol, d'acide nitrique ou sulfurique, de soude caustique (colis de 1 à 5 litres), ou encore de benzène (moins d'un colis de 5 ou 10 litres par mois).

En ce qui concerne le trafic ferroviaire de matières dangereuses sur la voie qui longe la RN 96, celui-ci a été recensé en 2005 sur la base des informations fournies par la SNCF et les industriels concernés. L'essentiel de ce trafic est dû à l'usine ATOFINA de Saint-Auban (04) qui a communiqué le détail de ses transports sous réserve de confidentialité.

1.10.4 Paysages

Le site Internet du Grand site de la Sainte-Victoire qualifie le paysage autour de Cadarache ainsi : (<http://www.grandsitesaintevictoire.com>).

« Cadarache entre Durance et Haut-Var... »

Cette unité, tout en contraste, est formée de collines boisées et de vallons cultivés qui rythment le paysage. Cet ensemble typique de la montagne de Basse Provence est formé de chênaies blanches et de pinèdes, denses et âgés. La présence des ripisylves de la Durance et de l'Abéou offre une linéarité boisée et une couleur particulière le long des cours d'eau. Le domaine de Cadarache est adossé à une succession de collines basses de chênaies blanches et pinèdes. La diversité des essences et l'âge des peuplements marque cette forêt domaniale et lui confère une exceptionnalité forestière, rare dans le département. Les collines ne dépassent pas 338 m d'altitude et présentent un relief moins accidenté que Concors. Espace perçu mais interdit, le complexe industriel de Cadarache marque fortement le paysage et contraste avec l'ambiance « naturelle » du lieu ».



Sur les hauteurs de Saint-Paul-lez-Durance
(auteur Simone Dominati)

On pourrait également ajouter que le site de Cadarache a su se faire discret, ses installations étant le plus souvent peu élevées et intégrées dans le paysage de sorte à minimiser leur impact visuel.

Une autre réalisation de l'homme a également marqué le paysage, il s'agit de l'aménagement de la Durance, notamment le canal EDF et le barrage de Cadarache.



Saint-Paul-lez-Durance et le canal EDF

Dans un rayon de 30 kilomètres autour de Cadarache se trouvent des paysages célèbres dans le monde entier : la montagne de la Sainte-Victoire au sud-est, celle de la Sainte-Baume au sud, le lac de Sainte-Croix et l'entrée des gorges du Verdon à l'est, les falaises de Moustiers-Sainte-Marie au nord-est et le Luberon au nord-ouest.

1.10.5 Patrimoine culturel et historique

Le patrimoine culturel et historique est très riche dans la région. Ce bref aperçu se limitera au site de Cadarache et aux éléments de patrimoine les plus marquants à proximité immédiate.

1.10.5.1 Le domaine de Cadarache

Déjà, au néolithique supérieur (environ 3 000 ans avant J.C), les premiers essais industriels des hommes de la moyenne Durance qui vivaient en aval de Saint-Paul ont laissé des traces : des silex taillés, des os ouvrés, ainsi que d'importants débris de poterie.

A l'âge des métaux, les indices de la présence humaine se multiplient dans le périmètre même de Cadarache. Ensuite, De nombreux vestiges témoignent d'une permanence d'un habitat sur la commune de Saint-Paul-lez-Durance, du 1^{er} au 5^{ème} siècle après J.C. Le site de Cadarache se situait sur la voie romaine qui reliait Aix-en-Provence à Riez, puis vers les Alpes et Fréjus.



La nécropole reconstituée sur le Centre de Cadarache

C'est en 1964, lors de travaux de terrassement liés à l'extension du Centre, que fut mis au jour un ensemble de cimetières allant du premier âge du fer (6^{ème} siècle avant J.C) à l'époque des invasions barbares (3^{ème} au 5^{ème} siècle).

Les fouilles réalisées en 1964 ont mis à jour 198 sépultures ; les archéologues ont alors découvert des ossements et objets divers (assiettes et vases en céramique).

Les quelques tombeaux reconstitués en surface, datent de l'époque mérovingienne (5^{ème} et 6^{ème} siècle après J.C).

Il faut attendre le début du 11^{ème} siècle pour trouver la première mention de Cadarache dans les textes, en 1066, le domaine était la propriété de Hughes de Cadarache. Un premier château a probablement été détruit vers 1386, pendant la guerre contre Raymond de Turenne qui ravagea la Provence. Dans l'enceinte du château, se trouvait aussi un village avec une population relativement nombreuse jusqu'au 13^{ème} siècle. Le village est tombé en ruines à la fin du 14^{ème} siècle. Il n'en reste plus rien aujourd'hui.

Le château a été reconstruit au 15^{ème} siècle. Outre les fondations, qui suivent probablement le contour du rocher, ne subsistent de cette époque que quelques pans d'une enceinte primitive et la porte d'entrée au nord qui présente des caractères anciens. Les écuries (aujourd'hui, la Ferme) sont au moins aussi anciennes et remontent au 13^{ème} ou 14^{ème} siècle. Le château est inscrit au répertoire des monuments historiques depuis 1925.

Le domaine de Cadarache a toujours appartenu à d'illustres familles, mais il ne constitua jamais la pièce maîtresse d'une fortune foncière. Il a donc rarement été une résidence principale, mais plutôt un agréable lieu de séjour campagnard voué aux parties de chasse.

En 1905, le domaine fut légué par testament à la commune d'Embrun. Au début du 20^{ème} siècle, seule la chasse restait vivace et elle fut louée à un groupe d'hommes d'affaires marseillais. Le domaine fut vendu en 1914 et par un jeu d'échange avec des forêts en Gironde, il échut à l'Etat.

L'Administration des Eaux et Forêts le transforma en un parc pour le repeuplement du gibier au début des années 30. Sur une surface boisée de 170 hectares, des aménagements considérables furent entrepris pour l'élevage des faisans, perdrix, lièvres, chevreuils... jusqu'à l'introduction surprenante de mouflons de Corse en 1935, prévus pour être réintroduits en Yougoslavie et en Pologne. Mais comme entretemps le roi de Yougoslavie mourut, personne ne réclama les mouflons qui sont restés à Cadarache et ont prospéré depuis. Cette même année, le domaine fut à nouveau transformé, cette fois en école nationale des garde-chasses.



La cour intérieure du château de Cadarache

En 1959, le CEA qui cherchait un nouveau Centre est autorisé à venir s'installer à Cadarache. Cet endroit présentait en effet de nombreux atouts comme le rappela le Haut-commissaire de l'époque, Francis Perrin, lors de l'inauguration du Centre en 1963 : « près d'une ville universitaire, sans expropriation, des sols propices aux constructions lourdes, près d'une rivière pour le refroidissement, dans une région attrayante ».

1.10.5.2 Les falaises de Saint-Eucher

Au bord de la Durance, sur la rive opposée au site de Cadarache se trouvent les falaises de Saint-Eucher, du nom de l'évêque de Lyon de 435 à 449. Auparavant, celui-ci fut sénateur d'Aquae-Sextiae (Aix-en-Provence), puis moine dans les îles de Lérins et enfin ermite dans les falaises qui portent son nom.

Afin de s'isoler d'un monde, qu'il avait connu civilisé et qui sombrait dans la barbarie, Eucher vécut dans une grotte murée et seules Galla, son épouse, Tullia et Consortia ses deux filles purent le visiter et lui apporter sa pitance. Mais en 434, la réputation de l'ermite du Luberon était telle, qu'à la mort de l'évêque de Lyon, on descendit le chercher dans sa solitude provençale pour le placer sur le trône épiscopal. Un martyrologue lyonnais du 8^{ème} siècle précise d'ailleurs qu'Eucher fit de la résistance puisque l'archidiacre chargé de cette mission dut casser le mur de la grotte et l'obliger à le suivre pour être sacré à Lyon.

Dès son arrivée à Lyon, son premier souci fut d'écrire à sa fille Tullia pour lui ordonner de prendre sa place dans sa grotte. Décédée peu après sa claustration, celle-ci fut ensevelie dans une crypte rupestre, sur un site appelé depuis lors Tullæ, qui fut ensuite transformé en Sainte-Tulle, village à quelques kilomètres en amont des falaises. Au Moyen Âge, son sépulcre fut recouvert par une chapelle.



Prélèvement au pied des falaises de St-Eucher

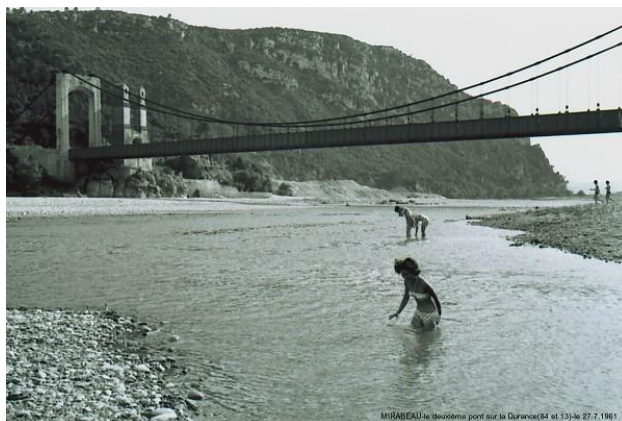
1.10.5.3 Le défilé de Mirabeau et le défilé de Canteperdrix

Le rétrécissement de la Durance, quelques kilomètres en aval de Cadarache sur la commune de Mirabeau, où la rivière se fraye un chemin entre deux falaises de calcaire abruptes, le défilé de Canteperdrix (site d'escalade sur la rive droite), a donné lieu à quatre ponts successifs. L'ancienne route romaine qui reliait Aix-en-Provence à Riez passait en ce lieu et l'on utilisait des bacs à chaîne dès la première moitié du 18^{ème} siècle.

Le pont édifié au 15^{ème} siècle fut en partie détruit quatre fois en 1440, 1635, 1843 et 1881 par une Durance déchaînée, au débit multiplié par cent. Il fut chaque fois reconstruit car son péage était lucratif.

Après deux projets de pont non retenus en 1816 et 1817, Marc Seguin évoque l'idée d'un pont suspendu en 1825. C'est Jean-François Théophile Sauzet qui l'exécute en 1831. Le pont est de type « fil de fer » sur 150 m de long pour 5,50 m de large. Les suspensions sont arrimées à deux immenses portiques néo-romans encore debout aujourd'hui (inscrits Monument historique le 6 juillet 1988). Achievé en 1835, il est emporté par la crue millénale le 2 novembre 1843 et reconstruit en 1845.

Ce pont, détruit pendant la Première Guerre mondiale, est remplacé par un pont d'une travée unique de 175 m de long surplombant la Durance à 14 m de hauteur et doté de deux pylônes en béton armé de 22 m de haut. L'ouvrage est achevé en juillet 1935, une sculpture et un bas-relief sont exécutés par Antoine Sartorio et symbolisent les quatre départements limitrophes. On disait que le pont de Mirabeau (troisième du nom) avait un pied dans chacun des quatre départements limitrophes (Alpes-de-Haute-Provence, Bouches-du-Rhône, Var et Vaucluse) et chacun des piliers illustrait son département par une frise.



Le troisième pont de Mirabeau (en 1961)

Durant la libération, les Alliés, voulant retarder la retraite des chars allemands, le firent bombarder sans succès par leur aviation pendant trois jours. Finalement ce furent les résistants qui le firent sauter le 17 août 1944. Il fut reconstruit en 1947.

L'actuel pont moderne date de 1988 et les frises de Sartorio se trouvent désormais réunies au centre du giratoire, situé sur le côté gauche de la Durance.



Chapelle de Cante Perdrix

1.10.5.4 Chapelle de la Madeleine

A quelques dizaines de mètres en amont se trouve la chapelle de Cante Perdrix, dite à l'époque Sancte Marie de Roca Ruffa, possession de l'Abbaye de Villeneuve-lès-Avignon.

Ce prieuré, un des plus anciens de Provence (fin du 12^{ème} siècle) dédié à la Madeleine, était le lieu de culte d'une confrérie de bateliers-pontoniers de la Durance. Sa façade conserve une inscription latino-provençale au sujet d'une éclipse du 13^{ème} siècle : « *L'an du Seigneur 1239, le 3 des nonnes de juin, le soleil s'est obscurci. Réfléchis, prends garde, si tu commences comment tu finiras. Qui bien fera, bien [finira]* ».

1.10.6 Urbanisme

La gestion de l'urbanisation au niveau du Centre de Cadarache est présentée brièvement dans cette partie, en allant du plus large au plus détaillé.

1.10.6.1 SCOT (Schéma de Cohérence Territoriale)

La commune de Saint-Paul-lez-Durance fait partie de la Communauté d'Agglomération du Pays d'Aix, (CPA) qui regroupe, depuis le 1^{er} janvier 2014, 36 communes, ce qui représente environ 388 000 habitants. A ce titre, elle entre dans le périmètre du Schéma de Cohérence Territoriale du Pays d'Aix, qui touche les départements des Bouches-du-Rhône et du Vaucluse (Pertuis), et recouvre les 36 communes de la CPA.

Définition

Le SCOT est un document de planification urbaine créé par la loi de Solidarité et Renouvellement Urbains (SRU) du 13 décembre 2000, qui vise à mettre en cohérence, à l'échelle d'un territoire, l'ensemble des politiques d'aménagement en matière : d'urbanisme, d'habitat, de déplacements, d'économie et d'équipements commerciaux, de préservation des espaces agricoles, naturels et des paysages.

Articulation avec les autres documents d'urbanisme

Le SCOT du Pays d'Aix est lié à d'autres documents de planification s'appliquant sur son périmètre, par des relations de compatibilité et de prise en compte fixées par le Code de l'urbanisme.

Le SCOT doit notamment être compatible avec des documents de rang supérieur :

- ✕ la Directive Territoriale d'Aménagement (DTA) des Bouches-du-Rhône ;
- ✕ la charte du Parc Naturel Régional du Luberon (PNRL) ;
- ✕ le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion de l'Eau (SDAGE) Rhône-Méditerranée ;
- ✕ le Schéma d'Aménagement et de Gestion de l'Eau (SAGE) de l'Arc ;
- ✕ le Plan Climat Energie Territorial (PCET) du Pays d'Aix.

Il doit aussi prendre en compte les schémas régionaux : de cohérence écologique (SRCE), et climat-air-énergie (SRCAE).

Enfin, il implique la mise en compatibilité des documents d'ordre inférieur, tels que le Plan Local d'Urbanisme (PLU) des communes, et les documents de planification sectorielle élaborés par la CPA : Programme Local de l'Habitat (PLH) et Plan de Déplacements Urbains (PDU).

Le SCOT n'a pas vocation à définir la destination et l'usage des sols à la parcelle, mais il fixe des orientations et prescriptions avec lesquelles, notamment, les Plans Locaux d'Urbanisme (PLU), devront être compatibles.

1.10.6.2 Document d'urbanisme communal

La commune de Saint-Paul-lez-Durance dispose d'un Plan d'Occupation des Sols (POS⁶), depuis le 9 avril 1996, et la dernière révision date de novembre 2009.

⁶ Depuis la loi relative à la solidarité et au renouvellement urbains du 13 décembre 2000, dite « loi SRU », le plan local d'urbanisme (PLU) est le principal document de planification de l'urbanisme au

L'ensemble du Centre de Cadarache est classé en zone urbaine UN (Centre Nucléaire), sur laquelle il n'y a pas de restriction de construction.

1.10.6.3 Maîtrise de l'urbanisme sur le Centre de Cadarache

Le site de Cadarache présente la particularité d'être à la fois un domaine boisé, et un centre de recherches avec un bâti qui évolue. Le classement en « zone urbaine » de l'ensemble des parcelles du Centre de Cadarache représente une particularité pour un domaine boisé, et dégage le CEA de posséder des documents réglementaires face à l'espace boisé. Le « Schéma Directeur de Gestion de la forêt et des milieux naturels du CEA de Cadarache 2010-2019 », élaboré par l'ONF, et présenté précédemment, constitue un outil non réglementaire dont le CEA s'est doté dans sa volonté d'appliquer un mode de gestion durable et raisonné dans le temps de sa propriété.

Le CEA s'est également doté, depuis juillet 2013, d'un Comité de gestion du patrimoine écologique du site. En effet, les contraintes environnementales et de préservation de la biodiversité sont à prendre en compte au même titre que les autres contraintes (géotechniques, accès, VRD⁷, etc.), et à ce titre, elles sont à intégrer dès la conception des projets. Le Comité de gestion du patrimoine écologique du centre de Cadarache, mis en place par la Direction du Centre, permet de prendre des décisions stratégiques en intégrant notamment :

- ✕ la réalisation de projets ou de grands travaux ayant une emprise foncière ;
- ✕ la gestion des forêts et des espaces naturels ;
- ✕ les enjeux écologiques ;
- ✕ les autres activités sur les terrains du CEA (chasses, ball-trap, fréquentation du public, etc.).

Ce comité est présidé par le Directeur Délégué à la Sûreté et à la Sécurité, et est composé de représentants de chaque entité du Centre ayant potentiellement une influence sur le patrimoine écologique.

niveau communal ou intercommunal, qui a remplacé le Plan d'Occupation des Sols. Cependant, la commune de Saint-Paul-lez-Durance n'en est pas encore dotée et le POS reste en vigueur.

⁷ VRD : Voirie et Réseaux Divers.

1.10.7 Occupation des sols

1.10.7.1 Végétation naturelle et environnement forestier

Les statistiques relatives au domaine forestier sont fournies par l'inventaire forestier, un service de l'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN). Ce service est chargé de l'inventaire permanent des ressources forestières nationales de manière à permettre à l'état de connaître l'évolution dans le temps et les potentialités de la forêt française.

Les résultats issus des campagnes d'inventaire de 2005 à 2009 indiquent que la forêt en région PACA représente 9,4 % de la surface forestière nationale. Avec un taux de boisement de 48 %, elle est la seconde région française la plus forestière après la Corse.

La répartition entre surface de forêts de feuillus et de conifères est équilibrée en région PACA (51 % feuillus et 49 % conifères). Le pin sylvestre est largement dominant comme essence principale dans les départements montagneux tandis que le pin d'Alep est prépondérant en se rapprochant de la côte méditerranéenne. Le mélèze d'Europe est bien représenté dans les Hautes-Alpes et les Alpes-Maritimes. Le chêne pubescent représente quasiment la moitié des peuplements feuillus.

La région de Cadarache fait partie de la Provence occidentale calcaire, composée en alternance de reliefs compacts et de bassins sédimentaires meubles. Elle présente un peuplement sylvestre en accord avec les terrains, quoique l'essor rapide de l'exploitation économique et industrielle du territoire ait entraîné des modifications importantes du tapis végétal.

Différentes espèces occupent des terrains souvent en relation avec les conditions micro-climatologiques, le site de Cadarache étant à la limite de leurs zones de végétation.

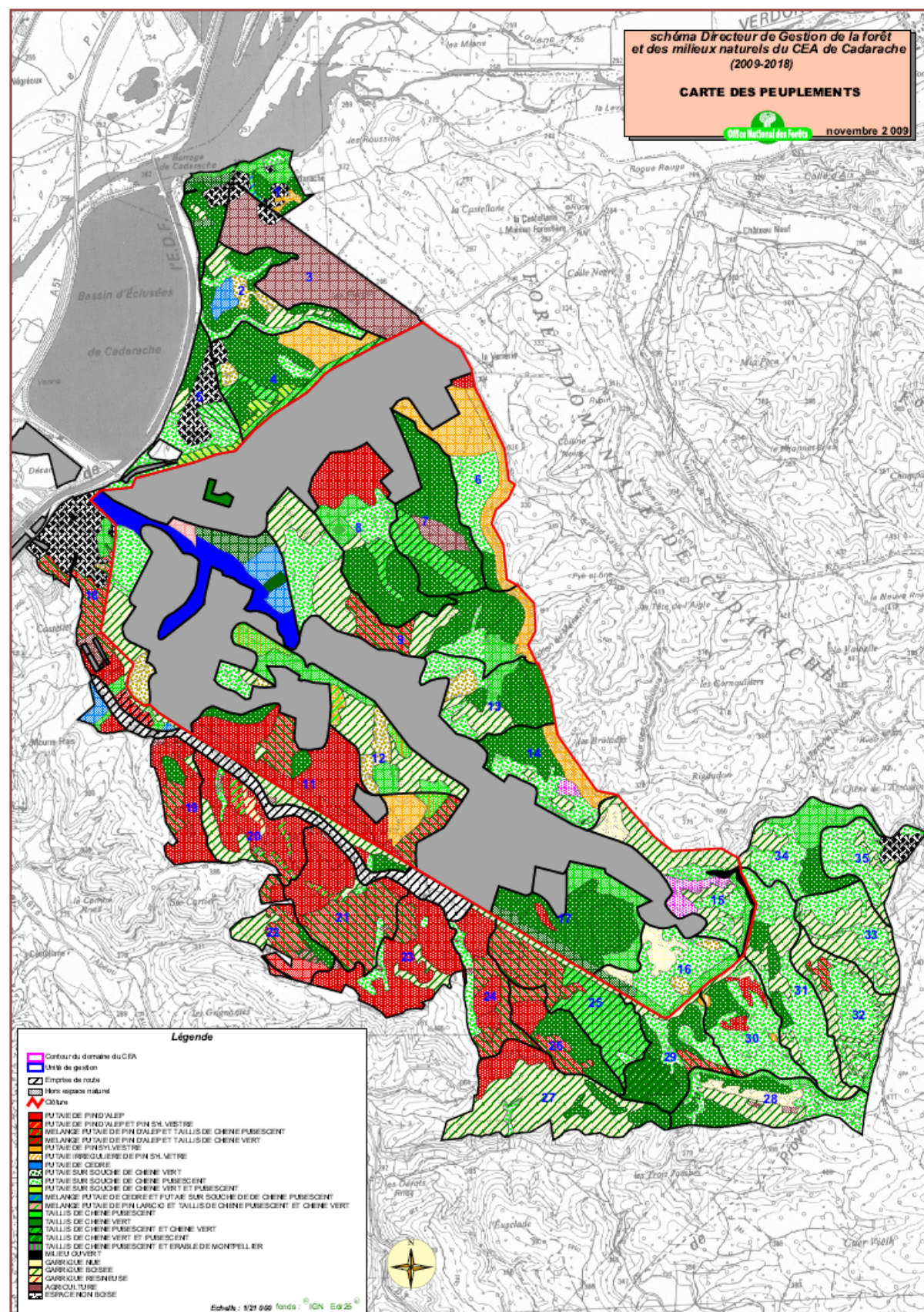
Ces différentes espèces sont les suivantes :

- la chênaie, presque partout présente sous forme de taillis médiocres, qui se maintient difficilement dans les régions de la vallée de la Durance ainsi que sur les régions côtières sous l'action de la sécheresse, du vent et de l'impact humain ;
- dans les zones incultes, on trouve également le pin d'Alep, le pin pignon et le pin maritime ;
- les taillis qui sont pour leur part constitués de térébinthes, buis, troènes, cornouillers, genévriers, tandis que les clairières sont peuplées entre autres de romarins, de thym et de chênes kermès. Le long des cours d'eau (moins de 1 % du peuplement), se trouvent également des peupliers, des aulnes et des ormeaux.

Le site de Cadarache représente un domaine naturel important malgré les activités qui y sont implantées. La figure suivante donne la carte de peuplement du domaine constitué, pour une part importante, de chênes verts et de chênes pubescents et pour une part moindre de futaie de pins d'Alep.

La zone d'ITER est très majoritairement occupée par des chênes pubescents.

La végétation qui entoure et peuple le site de Cadarache est particulièrement sensible au feu notamment après une longue période de sécheresse et en présence de vent. En effet, sur le plan de la sécurité, l'orographie, le régime particulier des vents, la topographie et surtout la prédominance des espaces boisés sont des facteurs propres à amplifier les effets d'un éventuel incendie de forêt. L'incendie des 1^{er}, 2 et 3 août 1989 a ainsi détruit 4 300 hectares aux abords du Centre dont 17 hectares à l'intérieur.



Peuplement forestier du Centre de Cadarache en 2009

1.10.7.2 Utilisation agricole des sols et élevage

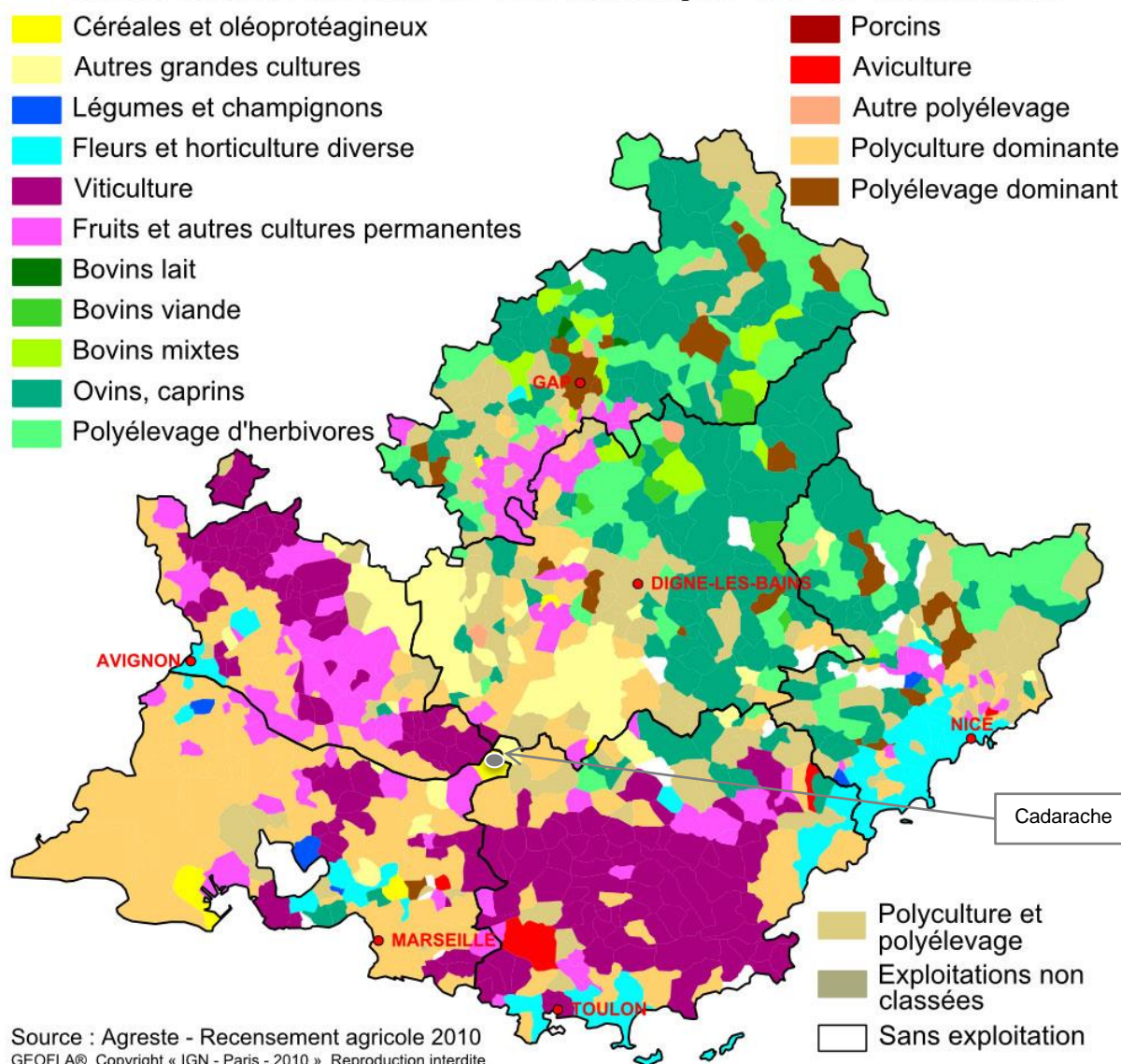
La région PACA est la première région productrice de légumes frais, de fruits et de fleurs. Et la quatrième région productrice de vin d'Appellation d'Origine Contrôlée (AOC). Le nombre d'exploitations agricoles de la région est de 22 100, soit 4,5 % du total national.

Ces exploitations occupent un espace important : 610 940 ha de superficie agricole utilisée, sans compter les groupements pastoraux. Près de 7 000 d'entre elles ont disparu en 10 ans (entre 2000 et 2010) sur la région, l'équivalent de une sur quatre. Ces disparitions sont de deux sur trois en 40 ans.

La superficie agricole utilisée a diminué de 12 % en 10 ans. Cette diminution, plus forte que dans le reste de la France, touche tout particulièrement le secteur horticole, avec 28 % de ses surfaces et 44 % de ses exploitations en moins en 10 ans.

L'orientation technico-économique des communes de la région est présentée ci-après.

Orientation technico-économique de la commune



Orientation technico-économique par communes pour la région PACA (source Agreste)

L'économie agricole des régions avoisinant le site de Cadarache se partage entre plusieurs activités conditionnées par l'altitude des terrains :

- sur les hautes terres et collines, soit des forêts ou des peuplements arbustifs déjà décrits, soit des prairies naturelles ou artificielles servant de pacage, soit des cultures de plantes à parfums (lavande principalement) ou médicinales, soit de la vigne ;
- dans les fonds de vallée ou les terres irrigables, des cultures vivrières diverses dans des zones très particularisées (rives de la Durance entre Manosque et Avignon, nord-ouest d'Aix entre cette agglomération et la Durance, zone sud du Luberon dans un polygone ayant pour sommets Lauris, la Bastide-des-Jourdans, Mirabeau, Pertuis, et enfin au sud de Cadarache aux alentours de Rians).

Il est difficile de disposer d'éléments représentatifs permanents qui sont en effet liés :

- aux choix effectués par les agriculteurs en fonction de la météorologie, des demandes du marché, des directives régionales, nationales ou européennes ;
- à la période de l'année : telle parcelle plantée en céréales jusqu'au mois de juillet sera, pendant l'été plantée en melon, ou restera en jachère.

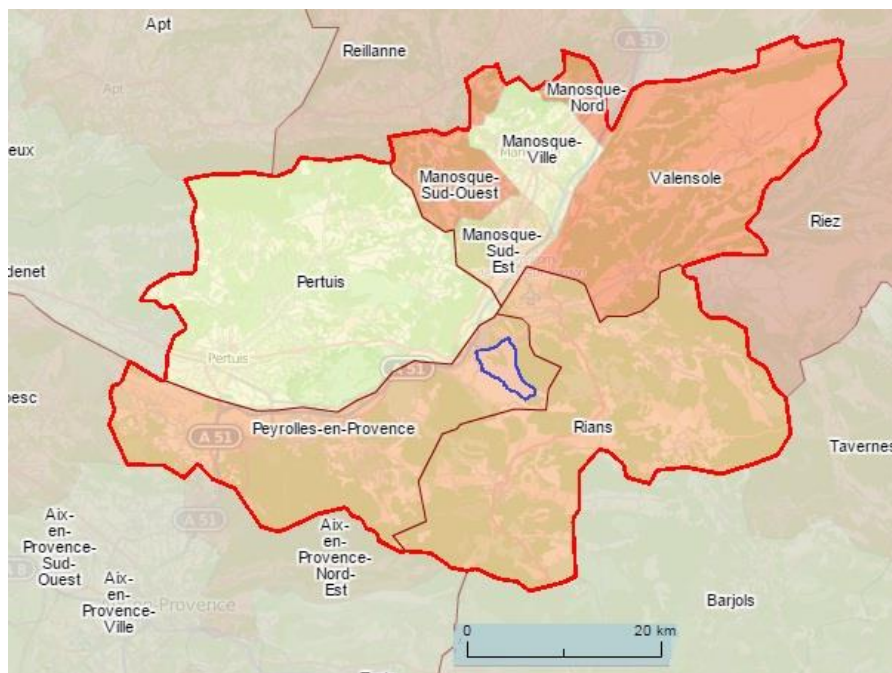
Les données décrivant l'agriculture locale sont extraites du Recensement Général Agricole (RGA) qui a lieu environ tous les 10 ans et dont le dernier date de l'année 2010. Pour estimer l'évolution des pratiques agricoles locales, les données collectées sont comparées à celles du précédent recensement datant de 2000.

Le RGA fournit des données chiffrées par cantons et non par commune (secret statistique). Les données présentées ci-après sont qualitatives en ce qui concernent les communes et quantitatives pour les cantons. Le périmètre retenu est un rayon de 20 km autour du centre de Cadarache.

Dans ce rayon de 20 km, 8 cantons (situation en 2010), répartis sur 4 départements, sont concernés (cf. carte ci-après) :

- le canton de Peyrolles en Provence (Bouches du Rhône), composé des communes de Saint-Paul-Lez-Durance, Jouques, Peyrolles en Provence, Meyrargues et Le Puy Sainte Réparate.
- le canton de Rians (Var), composé des communes de Ginasservis, Vinon-sur-Verdon, Rians, Artigues, Saint-Julien et La Verdière.
- le canton de Valensole (Alpes de Hautes Provence), composé des communes de Gréoux-les-Bains, Valensole, Saint Martin de Brôme et Brunet.
- le canton de Pertuis (Vaucluse), composé des communes Beaumont de Pertuis, La Bastide des Jourdans, Mirabeau, Grambois, Vitrolle en Lubéron, La tour d'Aigues, La Bastidonne, Pertuis, Ansouis, Saint Martin de la Brasque, La Motte d'Aigues, Pépin d'Aigues, La Cabrières d'Aigues et Sannes.
- le canton de Manosque Sud-Est (Alpes de Hautes Provence), composé des communes de Corbières et Sainte-Tulle.
- le canton de Manosque Sud-Ouest (Alpes de Hautes Provence), composé des communes de Pierrevet et Montfluron.
- le canton de Manosque Nord (Alpes de Hautes Provence), composé des communes de Volx et Saint Martin Les Eaux.
- et le canton de Manosque Ville (Alpes de Hautes Provence).

Cette zone se divise en deux parties à l'image de l'agriculture de la région : d'une part les plaines de la Durance et du Verdon et les zones irrigables dans lesquelles se trouvent les grandes cultures et les maraîchages, d'autre part les parties hautes sur lesquelles prédominent la culture de la vigne, les pacages et la culture des plantes à parfum.



Cantons dans un Rayon de 20 km autour de Cadarache (Source Agreste)

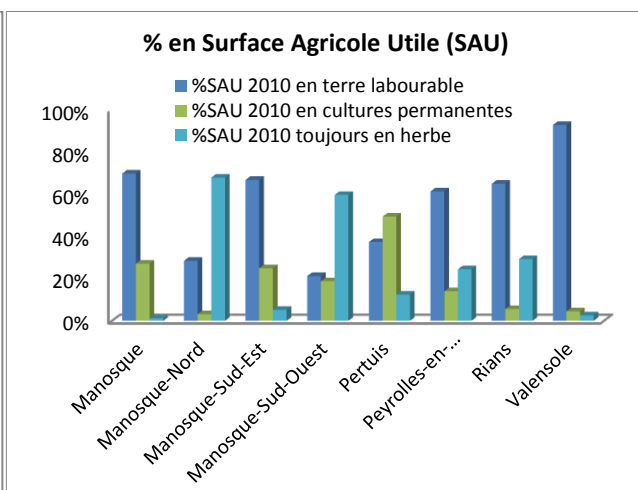
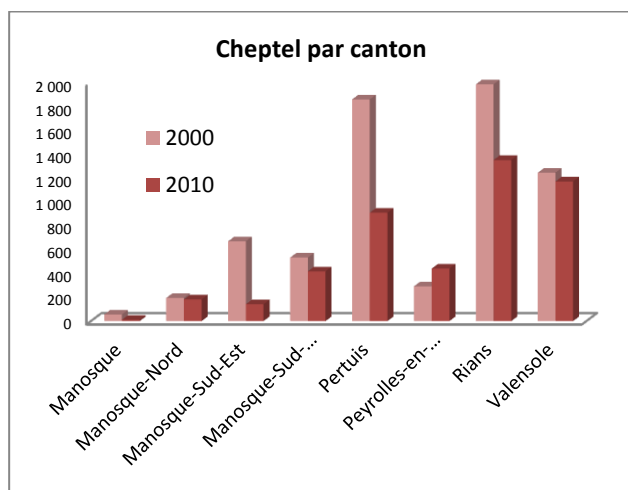
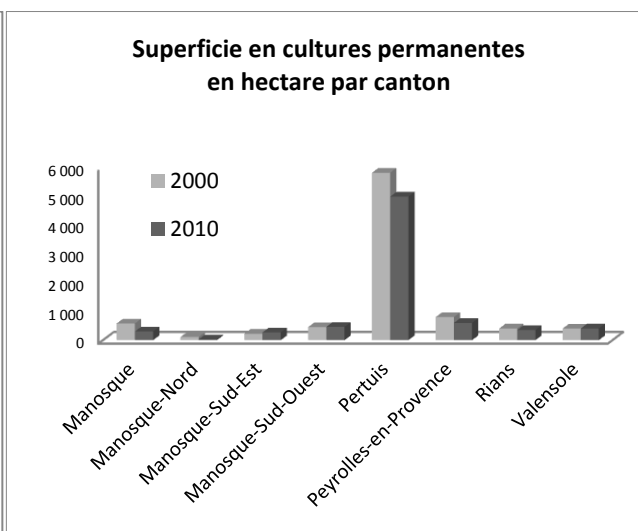
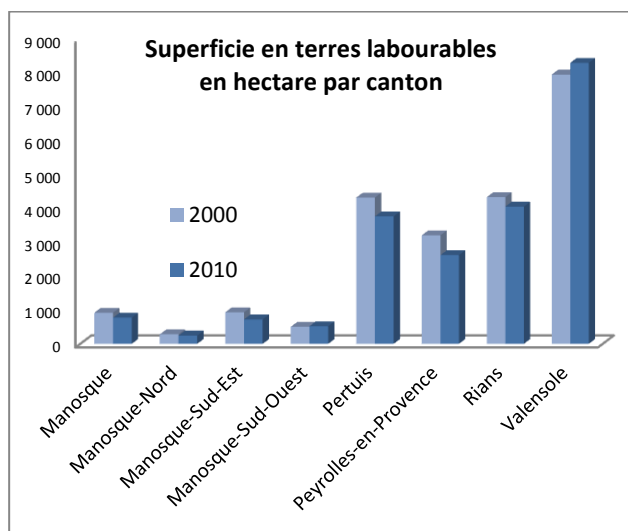
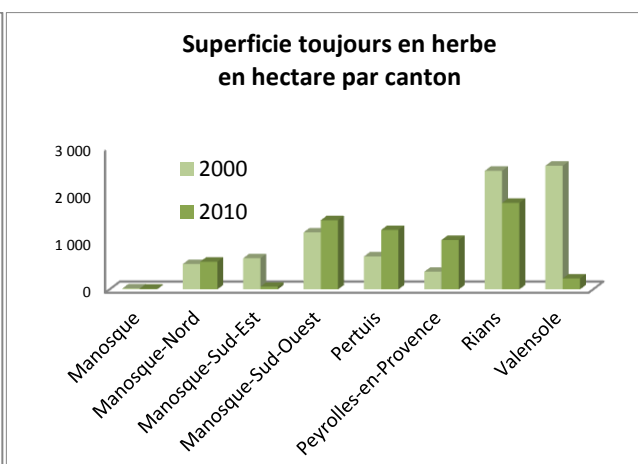
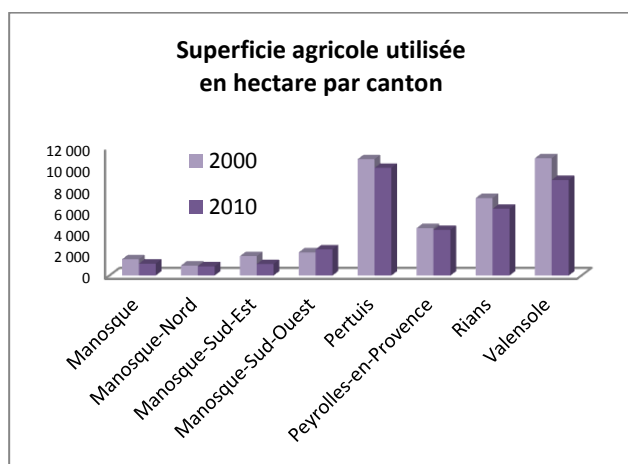
Evolution des pratiques agricoles dans un rayon de 20 km

Entre 2000 et 2010, le nombre d'exploitations agricoles et la superficie des terres utilisées ont sensiblement baissé. Les cantons de Pertuis, de Valensole et de Rians sont ceux qui comptabilisent le plus de surfaces agricoles utilisées. Le canton de Pertuis comptabilise à lui seul plus de 65 % de la superficie occupée par les cultures permanentes (vignes, vergers, pépinières ornementales, etc.). Les cantons de Valensole, Rians, Pertuis et Peyrolles en Provence sont ceux disposant de la plus grande superficie en terres labourables, dédiées aux cultures de céréales, de légumes secs et protéagineux, de fourrages, de tubercules et de légumes de plein champ. Le canton de Valensole dédie quasi exclusivement sa surface agricole à ce type de culture, ainsi que les cantons de Rians, Peyrolles en Provence et Manosque (Ville et Sud-Est), en association avec les prairies, dédiées au bétail.

En ce qui concerne le cheptel, le nombre de tête de bétail a fortement diminué dans certains cantons comme celui de Pertuis (divisé par 2), de Rians (-30%) ou de Manosque Sud-Est (divisé par 5). A contrario, il a sensiblement augmenté dans le canton de Peyrolles en Provence.

Les graphes ci-après présentent l'utilisation des surfaces agricoles pour les années 2000 et 2010 et le cheptel en UGBTA⁸.

⁸ Unité gros bétail tous aliments (UGBTA) : unité employée pour pouvoir comparer ou agréger des effectifs animaux d'espèces ou de catégories différentes



Caractéristiques des terres agricoles utilisées et cheptel pour les cantons dans un périmètre de 20 km autour du Centre de Cadarache (RGA 2010)

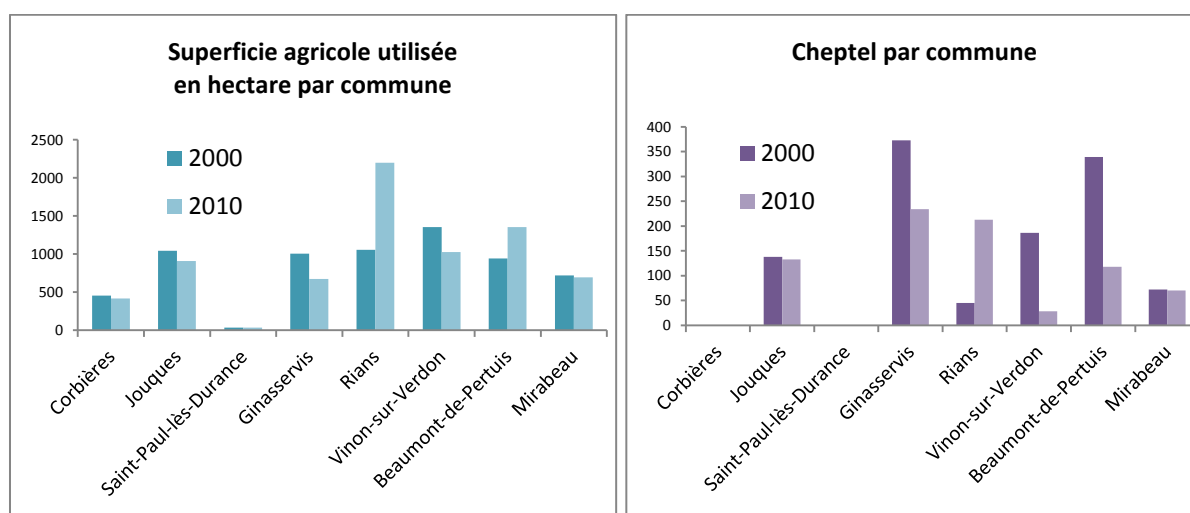
Dans un rayon de 5 km autour du centre, sont présentes les communes de Jouques et Saint-Paul-lez-Durance (Bouches-du-Rhône), de Ginasservis, Rians et Vinon-sur-Verdon (Var), de Beaumont-de-Pertuis et Mirabeau (Vaucluse) et de Corbières (Alpes de Haute-Provence).

Evolution des pratiques agricoles dans un rayon de 5 km

Sur ces communes, les surfaces agricoles utilisées ont sensiblement varié entre 2000 et 2010. Pour les communes de Corbières, Jouques, Ginasservis, Vinon-sur-Verdon et Mirabeau, elles ont baissé. A contrario, pour les communes de Beaumont de Pertuis et Rians, elles ont augmenté et notamment doublé pour Rians.

En ce qui concerne le cheptel, le nombre de têtes de bétail a sensiblement diminué entre 2000 et 2010 sur les communes de Jouques et de Mirabeau, et a franchement décru sur les communes de Ginasservis (-40%), Vinon-sur-Verdon (-85%) et Beaumont de Pertuis (divisé par 3). Seule la commune de Rians a vu ce nombre croître très notablement (multiplié par 5).

L'existence de cheptel n'est pas recensée sur les communes de Corbières et Saint-Paul-Lez-Durance.



Surface agricole utilisée et cheptel pour les communes sur un périmètre de 5 km autour du Centre de Cadarache (RGA 2010)

Les orientations technico-économiques de ces communes ont peu évolué entre 2000 et 2010 comme présenté dans le tableau ci-après :

Commune	Orientation technico-économique de la commune	
	2000	2010
Beaumont-de-Pertuis	Viticulture (appellation et autre)	Viticulture (appellation et autre)
Corbières	Viticulture (appellation et autre)	Viticulture (appellation et autre)
Ginasservis	Polyculture et polyélevage	Polyculture et polyélevage
Jouques	Polyculture et polyélevage	Fruits et autres cultures permanentes
Mirabeau	Viticulture (appellation et autre)	Viticulture (appellation et autre)
Rians	Polyculture et polyélevage	Polyculture et polyélevage
Saint-Paul-lès-Durance	Céréales et oléoprotéagineux	Céréales et oléoprotéagineux
Vinon-sur-Verdon	Cultures générales (autres grandes cultures)	Cultures générales (autres grandes cultures)

Orientations technico-économiques des communes sur un périmètre de 5 km autour du Centre de Cadarache (RGA 2010)

Le secret statistique ne permet pas d'obtenir de données chiffrées détaillées concernant les types d'élevage ou de cultures. Seul le recensement de l'existence d'un type ou d'un autre est disponible et présenté dans le tableau ci-après :

Activité Commune	Légume	Fruit	Plante aromatique	Céréale	Cheptel
Beaumont-de-Pertuis	Betterave, Pomme de terre et Tubercule	Melon, Vignes		Blé tendre, Orge, Mais, Oléagineux, Colza, Tournesol, Fourrage	Chèvre, Brebis
Corbières	Betterave	Vignes		Mais, Oléagineux, Colza, Tournesol	
Ginasservis	Betterave			Blé tendre, Orge, Mais, Oléagineux, Tournesol, Fourrage	Bovin, Vache, Chèvre, Brebis, Poulet
Jouques	Aubergine, Courgette, haricot vert, Poivron, Potiron, Salade, Tomate, Pomme de terre et Tubercule	Vignes, Verger	Lavande et Lavandin, Safran, Sauge	Blé tendre, Orge, Oléagineux, Tournesol, Fourrage	Bovin, Vache, Chèvre, Brebis
Mirabeau		Vignes	Lavande et Lavandin, Romarin, Thym	Blé tendre, Orge, Mais, Oléagineux, Tournesol, Fourrage	Brebis
Rians	Ail, Autres légumes	Melon, Vignes, Verger		Blé tendre, Orge, Mais, Oléagineux, Colza, Tournesol, Fourrage	Bovin, Vache, Chèvre, Brebis, Poulet
Saint-Paul-lès-Durance				Céréale (jachère)	
Vinon-sur-Verdon	Ail, Artichaut, Aubergine, Asperge, Bette et Carde, Betterave, Brocolis, Carotte, Cèleri, Choux, Concombre, Courgette, Echalote, Epinard, Fenouil, Fève, Haricot vert, Navet, Oignon, Petit pois, Poireau, Poivron, Potiron, Radis, Salade, Salsifis, Tomate, Betterave, Pomme de terre et Tubercule, Autres légumes	Fraise, Melon, Pastèque, Vignes		Orge, Mais, Oléagineux, Colza, Tournesol, Fourrage	Brebis

Cultures et élevages dans les communes sur un périmètre de 5 km autour du Centre de Cadarache (RGA 2010)

En ce qui concerne les élevages, les chiffres à l'échelle des départements indiquent que les brebis, poulets et chèvres sont largement plus représentés que les bovins et vaches, notamment les vaches laitières. Par exemple, dans le Var, où se trouvent les communes de Rians et Ginasservis, comptabilisant plus de 50% des têtes de bétail parmi les communes concernées, on dénombre pour l'ensemble du département environ 620 bovins et 280

vaches (allaitantes et laitières), ainsi que 3690 chèvres, 11660 poulets et 51820 brebis. La proportion de bovins et vaches allaitantes est donc relativement faible.

A noter également que la présence effective des animaux dans les prairies ou les étables proches du site de Cadarache est subordonnée à la transhumance.

Conclusion

En conclusion, malgré des évolutions parfois sensibles, les grandes caractéristiques de l'agriculture et de l'élevage sont les suivantes :

- les cultures sont localisées dans les zones irriguées et principalement dans le val de Durance et du Verdon ;
- on rencontre principalement des maraîchages à Vinon-sur-Verdon et Jouques, et des céréales et des vignes sur l'ensemble des communes (à l'exception de Saint-Paul-Lez-Durance et Ginasservis pour les vignes) ;
- l'élevage est dominé par les ovins et les volailles, et dans une moindre mesure les caprins ;
- peu ou pas de vaches laitières sont recensées sur les communes comprises dans un rayon de 5 km autour du site.

1.10.7.3 Organisation de la profession et labels

Chaque branche d'activité a sa propre organisation. Les céréales sont vendues directement aux utilisateurs (minotiers, fabricants de pâtes, etc.) par les coopératives. La commercialisation des fruits et légumes se fait principalement à un niveau individuel, soit par l'intermédiaire de négociants, soit par vente directe sur les marchés régionaux. Les cultures fourragères, peu utilisées directement sur les exploitations, sont vendues à des négociants.

La viticulture

La production viticole à proximité de Cadarache s'est organisée pour partie en producteurs indépendants (à Beaumont-de-Pertuis, Gréoux à proximité de Cadarache) et pour partie en caves coopératives.

Les producteurs de Beaumont-de-Pertuis et de Mirabeau peuvent prétendre au label Indication Géographique Protégée (IGP) « Vin de pays d'Aigues », de même que ceux des communes vauclusiennes du sud-Luberon pour les vins qui ne peuvent avoir l'appellation d'origine contrôlée « Côtes-du-Lubéron ».

La pomme de terre de Pertuis

En 2008 est créée la confrérie de la pomme de terre de Pertuis. Et le 29 janvier 2010 la pomme de terre de Pertuis devient une marque. Cultivée dans la région de Pertuis, Cadenet, Lambesc, Peyrolles, elle est conditionnée en sacs portant le logo officiel de la « Pomme de terre de Pertuis ».

L'agneau de Sisteron

Les agneaux élevés pendant 60 jours minimum avec la mère en bergerie, et ayant un âge compris entre 70 et 150 jours, et pesant de 13 à 19 kg peuvent prétendre à l'IGP label rouge Agneau de Sisteron.

Le miel de Provence

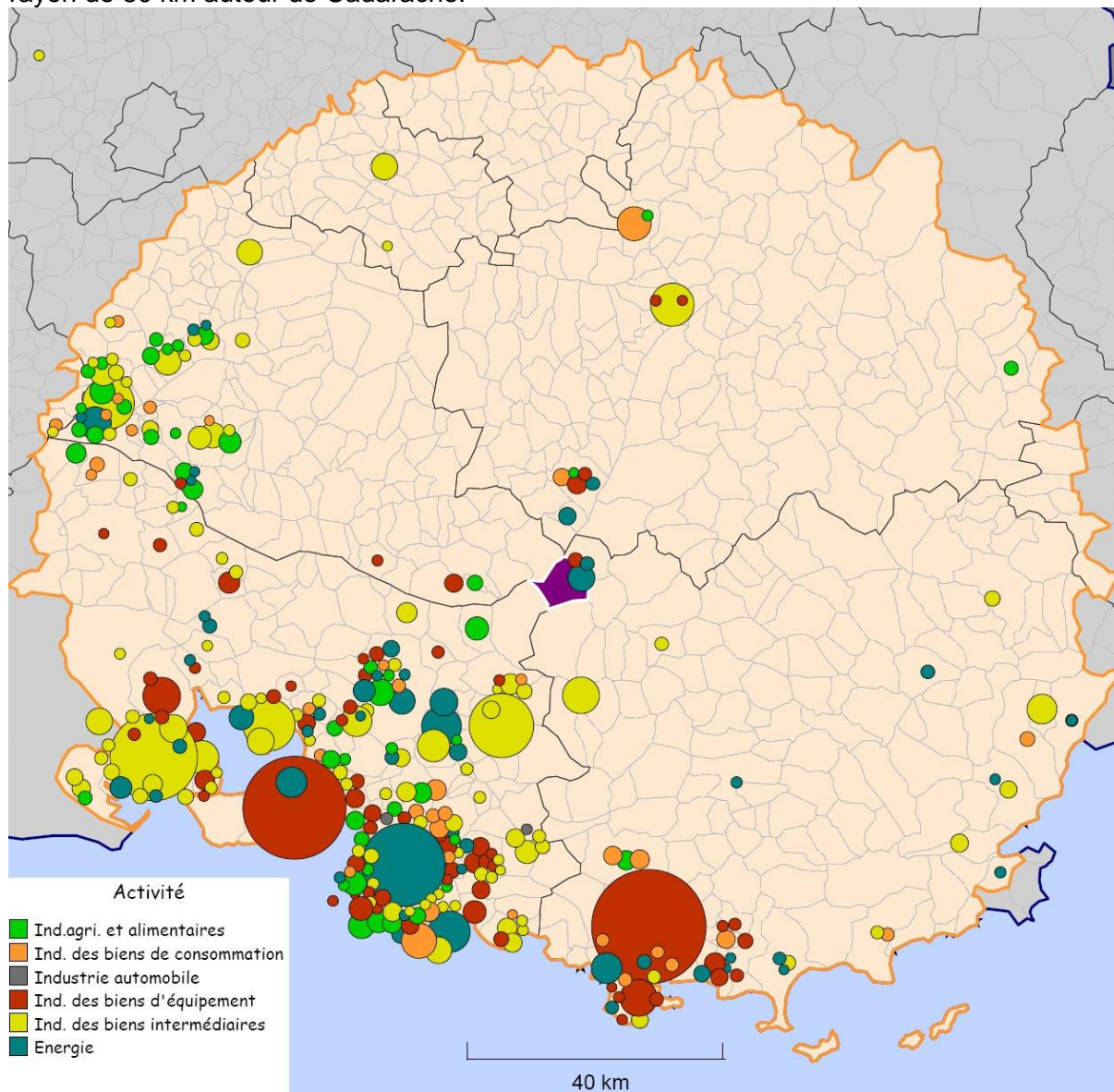
Les apiculteurs produisant du miel ayant les caractéristiques suivantes : miel monofloral ou polyfloral, y compris miel de miellat, issu de la flore spontanée de Provence ou d'une culture spécifique à la Provence, à l'exception des cultures de colza, de tournesol ou de luzerne ainsi que toute autre culture non spécifique avec des pollens spécifiques à la Provence, spectre pollinique des miels devant, dans tous les cas, présenter une spécificité provençale peuvent prétendre à l'appellation IGP Miel de Provence.

Huile d'olive de Provence AOC

Pour pouvoir postuler à l'AOC, l'huile d'olive de Provence doit être élaborée à base des variétés aglandau, bouteillan, cayon, salonenque ainsi que celles dénommées localement brun, cayet, petit ribier et belgentiéroise. Il faut au moins deux de ces variétés principales présentes au sein de l'oliveraie. Plusieurs oliveraies à proximité de Cadarache peuvent prétendre à ce label, notamment sur la commune de Mirabeau.

1.10.8 Activités industrielles

La figure suivante indique la localisation des sites industriels les plus importants dans un rayon de 80 km autour de Cadarache.



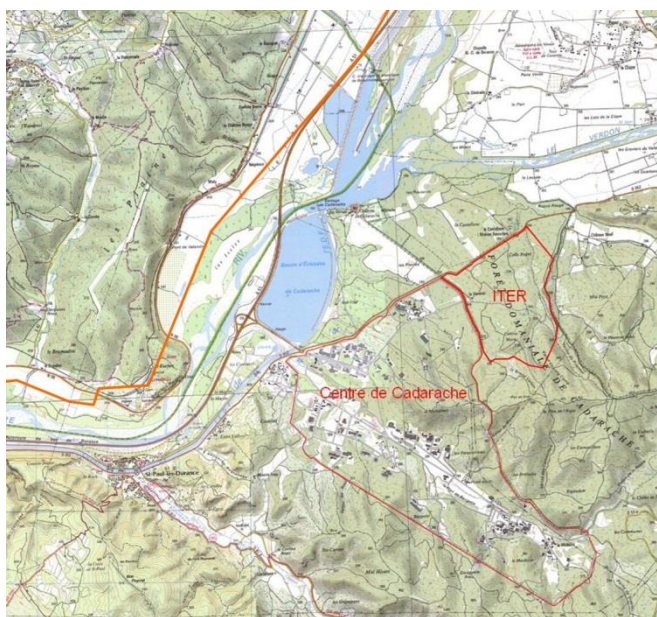
Carte des principaux sites industriels autour du CEA Cadarache

Cadarache est éloigné des grandes agglomérations et des grands centres industriels. Les concentrations industrielles importantes se situent à plus de 50 km (usines chimiques Arkema à Saint-Auban et Sanofi à Sisteron au nord, agglomération marseillaise au sud et périphérie de l'Étang de Berre au sud-ouest).

Dans un rayon de 20 km autour de Cadarache, se sont développées des zones industrielles de taille plus modeste qui accueillent notamment beaucoup de sous-traitants de Cadarache. C'est en particulier le cas à Saint-Paul-lez-Durance et Vinon-sur-Verdon, mais aussi à Manosque et Sainte-Tulle dans les Alpes de Haute-Provence. A Manosque (20 km au nord), on trouve des entreprises spécialisées en mécanique de précision, en électronique ou en optique, ainsi qu'en traitement des déchets.

L'activité industrielle la plus importante de la vallée de la Durance concerne la production et la distribution d'énergie hydroélectrique. L'ensemble hydraulique comprend 18 centrales représentant une puissance de 2 000 MW. Celles-ci sont pilotées à distance, à partir d'un poste de commande centralisée localisé à Sainte-Tulle à 10 km au nord de Cadarache. Les centrales les plus proches de Cadarache sont celles de Sainte-Tulle (10 km), Beaumont-de-Pertuis (5 km) et Jouques (8 km).

A Manosque il existe deux sites de stockage souterrain pour les hydrocarbures et le méthane, dans des cavités de sel. L'exploitation du gaz rend nécessaire la constitution d'un stockage permettant un meilleur équilibre des ressources et des pointes de consommation sur le réseau national. La liaison avec l'artère principale qui passe au sud d'Aix-en-Provence s'effectue par une canalisation de 68 km de long et de 750 mm de diamètre nominal. Elle transporte le méthane humide à la pression maximale de 80 Bar. Le cheminement de la canalisation est représenté sur la figure ci-contre. Celle-ci passe à 1,5 km de la limite ouest du site. Les vannes de sécurité sont installées au nord de Peyrolles et à Sainte-Tulle, à 10 km environ du site de Cadarache.



Trajet de la conduite de gaz

Deux pipelines passent par ailleurs à plus de 15 km au nord-ouest du site. Ils relient la zone de Fos sur Mer à Manosque (GEOPIPE) pour le transport d'hydrocarbures ou à Saint-Auban pour le transport d'éthylène gazeux.

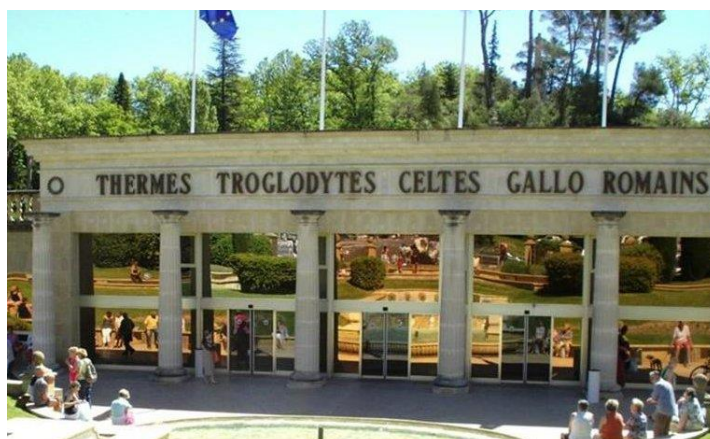
Un recensement des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) soumises à autorisation ou à autorisation avec servitude a été réalisé auprès des DREAL (Directions Régionales de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement) des quatre départements 04, 13, 83 et 84. Il en ressort qu'aucune ICPE de ce type n'est présente dans un rayon de 10 km autour du site. Quant aux ICPE soumises à déclaration, le recensement effectué auprès des préfectures et l'analyse des activités pratiquées, croisées avec leur éloignement montre que celles-ci n'engendrent pas de risques particuliers pour le Site de Cadarache.

1.10.9 Activités de loisirs

La région constitue une zone touristique appréciée. Dans un rayon de 20 km à l'est, au nord et à l'ouest de Cadarache séjournent, en été, plus de 10 000 touristes dans les villages provençaux et dans les bases de loisirs, le long du Verdon.

La région possède un grand nombre de sites historiques attractifs (pays d'Aix, d'Arles et le littoral) et des festivals permanents et dispersés sur le territoire. Près d'Aix, se trouvent par exemple le village de Lambesc dont bon nombre de bâtisses sont protégées, Lançon-de-Provence qui domine la plaine de la Durance, le village de La Roque d'Anthéron avec son abbaye, le village de Vauvenargues.

A 10 km à vol d'oiseau du site se trouve le village de Gréoux-les-Bains qui possède un établissement thermal affilié à la chaîne thermique du soleil, ouvert entre mars et décembre. Le thermalisme était



Les thermes de Gréoux-les-Bains

présent à Gréoux dès l'antiquité, à présent troisième centre thermal français. Les affections traitées concernent la rhumatologie et les voies respiratoires. Environ 27 000 personnes suivent chaque année une cure d'une durée de 6, 12 ou 18 jours.

Les zones d'intérêt touristique les plus proches du site de Cadarache sont, outre Gréoux-les-Bains, le lac d'Esparron, dont l'extrémité ouest est à moins de 15 kilomètres à vol d'oiseau du site et Manosque (ville historique, lieu de vie de Jean Giono, lac de baignade) à environ 20 kilomètres. On peut également citer Mirabeau (5 km), dont la fontaine a servi de lieu de tournage pour le film *Manon des Sources* et dont le défilé est non seulement célèbre, mais propice à l'escalade.

Enfin à Vinon-sur-Verdon se trouvent un aérodrome de tourisme (aviation légère, planeurs, ULM), un club de canoë-kayak sur le Verdon, un ranch et un parc d'aventures et d'attractions animalières.

1.10.10 Zones de servitude

Les seules servitudes occasionnées par le site de Cadarache sont celles relatives à la restriction de la circulation aérienne.

2 Impact des activités du site de Cadarache sur l'environnement

2.1 Généralités

Le site de Cadarache interagit avec son environnement au travers de ses activités, de la présence de ses bâtiments et infrastructures, de ses prélèvements d'eau et de ses rejets d'effluents atmosphériques et liquides. Toutes les composantes de l'environnement sont concernées : environnements physique, biologique, naturel et humain.

Ce chapitre présente l'analyse de tous ces impacts sur l'environnement.

En ce qui concerne l'impact des rejets d'effluents sur l'environnement et la santé humaine, leur évaluation est réalisée à l'aide de calculs effectués selon une méthodologie précise, décrite au chapitre 5. Ces calculs sont faits à partir de rejets théoriques égaux à la somme des limites des rejets annuels de toutes les installations du site de Cadarache. Les niveaux de rejet réellement constatés sur une année donnée sont donc toujours inférieurs aux niveaux de rejet retenus pour les calculs. Ainsi, les calculs effectués permettent de garantir que l'impact évalué sera toujours supérieur à l'impact réel.

Les limites de rejet d'effluents de toutes les installations de site, qui servent de base aux calculs, sont présentées au paragraphe 2.2, ainsi que les limites en prélèvement d'eau. Les effluents rejetés sont analysés sous deux angles : l'aspect radiologique d'une part et l'aspect chimique d'autre part. Si tous les effluents ont une composante chimique, certains sont exempts de radioactivité ajoutée (par exemple ceux de la chaufferie du Centre). Par commodité on parlera d'« effluents chimiques » pour évoquer la composante chimique des effluents et d'« effluents radioactifs » pour la composante radioactive.

L'incidence des prélèvements d'eau sur les différentes ressources en eau est présentée au paragraphe 2.3.

Les hypothèses de calculs de l'impact des rejets et les paramètres utilisés sont présentés dans les annexes 2 à 5. Les calculs, réalisés avec des logiciels informatiques, permettent de déterminer les concentrations ajoutées en substances radioactives et chimiques des effluents rejetés dans tous les compartiments de l'environnement concernés (air, eaux, sols, végétaux, animaux, etc.) et ainsi de déterminer l'impact de ces rejets d'effluents sur l'homme et l'environnement.

Les hypothèses retenues pour quantifier les composantes radioactives et chimiques des effluents rejetés et les résultats des calculs d'impact environnemental sont présentés aux paragraphes 2.4 et 2.5.

Les résultats des calculs utilisés pour déterminer l'impact sur la santé humaine sont présentés au chapitre 6.

L'estimation des autres impacts est présentée aux paragraphes 2.6 à 2.13.

La gestion des déchets est présentée aux paragraphes 2.14 et 2.15.

2.2 Limites de prélèvements d'eau et de rejets du site

2.2.1 Prélèvements d'eau

L'arrêté préfectoral 113-2006-A du 25/09/2006 autorise le CEA à prélever jusqu'à 4 millions de mètres cubes d'eau pour l'ensemble des installations du site avec des débits maximaux présentés dans le tableau ci-après.

Origine de la ressource	Consommation maximale annuelle	Débit maximal instantané	Débit maximal horaire	Débit maximal journalier
Barrage de Cadarache (eau de la Durance)	4 000 000 m ³	250 l/s	900m ³ /h	16 000 m ³ calculés en moyenne mensuelle
Canal EDF (eau de la Durance)		500 l/s	900m ³ /h	

La décision ASN n°2010-DC-0173 du 5/01/2010 relative aux Installations Nucléaires de base civiles (INB) du centre de Cadarache fixe le volume d'eau prélevé et dédié au fonctionnement des INB du centre, à l'exception des eaux destinées au refroidissement du réacteur Jules Horowitz (RJH), à une maximum de 170 000 m³/an.

Pour le refroidissement du RJH, cette même décision autorise le CEA à prélever de l'eau brute dans le canal de Provence par le biais d'une canalisation dédiée. Les volumes prélevés ne doivent pas excéder 43 millions de m³ par an et le débit instantané doit être inférieur à 3 m³/s.

L'arrêté relatif à l'installation nucléaire de base secrète (INBS) du 15 octobre 2012 stipule que la quantité d'eau journalière maximale transférée vers l'INBS est de 15 000 m³/jour et que la quantité d'eau annuelle transférée vers l'INBS ne doit pas dépasser 2 400 000 m³/an.

2.2.2 Rejets d'effluents atmosphériques – composante radioactive

Les rejets d'effluents atmosphériques se font au travers de cheminées, propres à chaque installation. Les limites de rejets d'effluents atmosphériques radioactifs ainsi que leurs conditions de rejet sont définies dans l'arrêté préfectoral des 25 septembre 2006 (ICPE CEA, y compris certaines anciennes ICPE radioactives nouvellement autorisées au titre du code de la santé publique), l'arrêté interministériel du 15 octobre 2012 (INBS) et la décision ASN N°2010-DC-0172 du 5 janvier 2010 (INB). ITER ne dispose pas encore de décision relative à ses rejets d'effluents radioactifs. Ils n'ont donc pas été pris en compte dans les calculs d'impact.

Les limites sont données pour chacune des INB, pour l'ensemble des installations composant l'installation nucléaire de base secrète et pour l'ensemble des ICPE du CEA, de même que pour celles de l'IRSN.

Les limites annuelles de rejet d'effluents atmosphériques radioactifs, issues des différents arrêtés et décisions, sont regroupées dans le tableau ci-dessous.

Nom	Limites en GBq/an					
	Carbone 14	Tritium	Iode	Gaz rares	Autres émetteurs $\beta\gamma$	Emetteurs α
PEGASE	0,14	70	-	-	3,0E-04	2,0E-04
CABRI	-	1,0E+03	2,0E-03	5,6E+03	1,0E-05	1,0E-06
RAPSODIE	-	25	-	-	3,0E-04	2,0E-04
ATPu	-	-	-	-	3,0E-04	2,0E-04
STED	-	54	-	-	1,7E-04	-
MASURCA	-	-	-	-	1,7E-05	1,4E-05
EOLE/MINERVE	-	-	-	-	2,6E-06	2,2E-06
ATUe	-	-	-	-	1,0E-04	8,1E-05
MCMN	-	-	-	-	3,0E-04	2,0E-04
LECA/STAR	80	7,0E+03	0,44	9,3E+04	5,0E-02	2,0E-04
Entreposage	-	5,1	-	100	7,8E-05	2,2E-05
PHEBUS	-		2,2E-02	2,5E+04	9,0E-05	1,5E-05
LEFCA	-		-	-	3,0E-04	2,0E-04
CEDRA	10	3,0E+03	-	-	2,2E-03	2,9E-04
MAGENTA	-		-	-	5,0E-05	4,0E-05
AGATE	-	4,1	-	-	-	-
RJH	13	3,3E+03	6,7E-02	1,8E+04	6,4E-03	2,6E-04
INBS	17	45	1,5E-02	1,30E+04	4,0E-04	3,0E-05
ICPE-CEA	-	4,5	3,7E-02	280	5,2E-04	2,0E-05
ICPE-IRSN	-	12		-	1,7E-01	-
TOTAL	120,14	1,5E+04	5,8E-01	1,5E+05	2,3E-01	2,0E-03

On peut remarquer que les valeurs peuvent être très différentes d'une installation (ou d'un groupe d'installations) à une autre. Ceci est dû au fait que les limites, très inférieures aux valeurs qui présenteraient un risque sanitaire, sont définies au plus près des rejets minimums techniquement possibles de chaque installation.

2.2.3 Rejets d'effluents atmosphériques – composante chimique

Les limites de rejets d'effluents atmosphériques chimiques ainsi que leurs conditions de rejet sont définies dans les arrêtés préfectoraux des 25 septembre 2006 (ICPE CEA) et 12 août 2005 (ICPE IRSN), l'arrêté interministériel du 15 octobre 2012 (INBS) et les décisions ASN N°2010-DC-0172 et N°2010-DC-0173 du 5 janvier 2010 (INB).

Les limites sont données pour chacune des INB, pour l'ensemble des installations composant l'installation nucléaire de base secrète et pour l'ensemble des ICPE du CEA, de même que pour celles de l'IRSN. Elles sont présentées dans le tableau ci-après.

Toutes les installations ne figurent pas dans le tableau, car les différents arrêtés et décisions ne spécifient pas de limites pour toutes les installations. De nombreuses installations ne rejettent en effet pas d'effluents atmosphériques ayant des caractéristiques chimiques particulières.

	Limite par paramètre, en mg/Nm ³										Cd et Ti	Dioxyne et furanes
	HCl	Hg	Pb	Sb et Zn	HF	NOx	SO ₂	CO	Pous-sières	NaOH		
Rapsodie	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LECA STAR	5	0,005	0,1	0,1	0,5	-	-	-	-	-	-	-
INBS	-	-	-	-	0,3	110	125	-	-	-	-	-
Chaufferie (fioul)	-	-	-	-	-	225	35	100	5	-	-	-
Chaufferie (gaz)	-	-	-	-	-	600	1700	100	100	-	-	-
HRT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50	-	-
CEDRA	0,07	0,006	-	-	0,001	0,2	0,03	0,2	-	-	0,002	0,0000003

2.2.4 Rejets d'effluents liquides – composante radioactive

Les effluents liquides de toutes les installations du site sont collectés dans le même réseau, transférés vers la station de traitement des effluents liquides, et le rejet se fait après traitement, en Durance, en un point unique. L'autorisation de rejet, ainsi que les conditions de rejet sont données par l'arrêté préfectoral du 25 septembre 2006.

Les limites annuelles en activité sont indiquées dans le tableau ci-après.

Groupe de radionucléides	Limites annuelles de rejet en GBq/an
Tritium	1 000
Carbone 14	0,5
Emetteurs α	0,13
Autres émetteurs βγ	1,5

2.2.5 Rejets d'effluents liquide – composante chimique

L'arrêté préfectoral du 25 septembre 2006 réglemente également les caractéristiques chimiques des effluents liquides rejetés en Durance après traitement. Les limites sont les suivantes :

Caractéristiques contrôlées Rejets liquides	Limites de concentrations retenues dans l'arrêté préfectoral	Limites de flux journaliers retenues dans l'arrêté préfectoral
Débit maximum de rejet	4000 m ³ /j (200m ³ /h pour les effluents industriels, 50 m ³ /h pour les effluents sanitaires)	
pH	Entre 5,5 et 9	
Température	30°C	
Test "poisson"	Survie des poissons après 6 h dans les eaux traitées	
Matières en suspension (MES)	35 mg/l	80 kg/j
Demande chimique en oxygène (DCO)	100 mg/l	225 kg/j
Demande biologique en oxygène - 5 jours (DBO ₅)	30 mg/l	70 kg/j
Azote global	30 mg/l	70 kg/j
Phosphore total	10 mg/l	22,5 kg/j
Hydrocarbures totaux	5 mg/l	10 kg/j
Chlorures	200 mg/l	450 kg/j
Fluorures	1 mg/l	2,25 kg/j
Fer	2.5 mg/l	5 kg/j
Aluminium	2.5 mg/l	5 kg/j
Zinc	2 mg/l	4,5 kg/j
Bore	0,5 mg/l	1 kg/j
Sulfates	700 mg/l jusqu'au démarrage du RES puis 500 mg/l	1575 kg/j jusqu'au démarrage du RES puis 1125 kg/j

En outre, des effluents liquides sont générés par l'aéroréfrigérant du réacteur RES (INBS). Ceux-ci sont transférés vers des bassins spécifiques avant rejet en Durance par l'émissaire de rejets du site de Cadarache. Leurs caractéristiques et les limites associées sont présentées dans le tableau ci-après :

Caractéristiques contrôlées	Limites de concentrations retenues dans l'arrêté ministériel en mg/l	Limites de flux annuels retenues dans l'arrêté ministériel en kg/an
Phosphore	3	1 600
Chlorures	150	71 000
Sulfates	700	560 000
Zinc	2	1 600
AOx	1	300

L'élévation de la température de la Durance ne doit pas dépasser 1°C et le volume journalier est limité à 7 200 m³, comme stipulé dans l'arrêté ministériel du 15 octobre 2012.

2.2.6 Eaux collectées par le Ravin de la Bête

La fabrication d'eau potable produit des effluents qui sont collectés par le Ravin de la Bête. Il s'agit des eaux de lavage des filtres à sable et des boues de la station de production d'eau potable. Conformément à l'arrêté préfectoral du 25/09/2006, le débit journalier des effluents est limité à 1 500 m³/j et le débit horaire à 450 m³/h. Le même arrêté stipule que le rejet doit être conforme aux dispositions de l'article 32 (limites en concentration de substances chimiques dans les eaux résiduaires) de l'arrêté ministériel du 02/02/1998 relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation.

Les eaux souterraines issues du dispositif de drainage de la nappe du LEFCA (au titre de la prévention du risque de liquéfaction des sols en cas de séisme) sont également collectées par le Ravin de la Bête, à environ 100 m en amont de la fin de l'ovoïde de Carcy. Le débit moyen estimé est de 70 m³/h et le débit maximal attendu de l'ordre de 380 m³/h (niveau haut de la nappe).

De plus, rappelons que l'ensemble des eaux pluviales du Centre sont collectées par le Ravin de la Bête.

2.2.7 Rejets thermiques dans le canal EDF

L'échauffement de l'eau prélevée dans le canal de Provence et rejetée dans le canal EDF est limité selon les conditions définies dans le tableau ci-après, issu de la décision ASN N°2010-DC-0172.

Conditions initiales	Limites liées aux rejets thermiques	
	Température à l'aval du rejet	Echauffement du canal EDF de Jouques
T canal amont < 25 °C	T aval < 25 °C	≤ 2,5 °C entre le 1er octobre et le 31 mai
	T aval < 25 °C	≤ 1°C entre le 1er juin et le 30 septembre
T canal amont ≥ 25 °C	T aval ≤ T amont	≤ 0 °C

2.3 Impact des prélèvements d'eau

2.3.1 Description du principe et des modalités des prélèvements d'eau

L'alimentation en eau des installations du site de Cadarache est assurée par un réseau d'eau potable. Ce réseau distribue une eau destinée à la fois à un usage sanitaire, industriel et de lutte contre l'incendie. Il n'y a pas de distribution d'eau brute sur le site (hormis celle provenant du canal de Provence, destinée aux seuls refroidissements du RJH et dans le futur d'ITER).

Par ailleurs, un réseau spécifique d'eau déminéralisée produite au niveau de la chaufferie centrale dessert certaines installations du Centre.

2.3.1.1 Origine des prélèvements

Le site de Cadarache dispose de deux moyens de prélèvement d'eau :

- une prise d'eau dans le canal EDF ;
- une prise d'eau située dans le plan d'eau en amont du barrage de Cadarache.

La prise d'eau dans le canal EDF s'effectue grâce à un batardeau. A partir de celui-ci, l'eau prélevée transite par gravité jusqu'à un puits d'exhaure de récupération. Un dispositif de six pompes d'une capacité totale de 2 200 m³/h permet de relever l'eau jusqu'à une vasque de répartition située à la station de traitement de l'eau potable (quatre pompes de 450 m³/h et deux pompes de 200 m³/h).



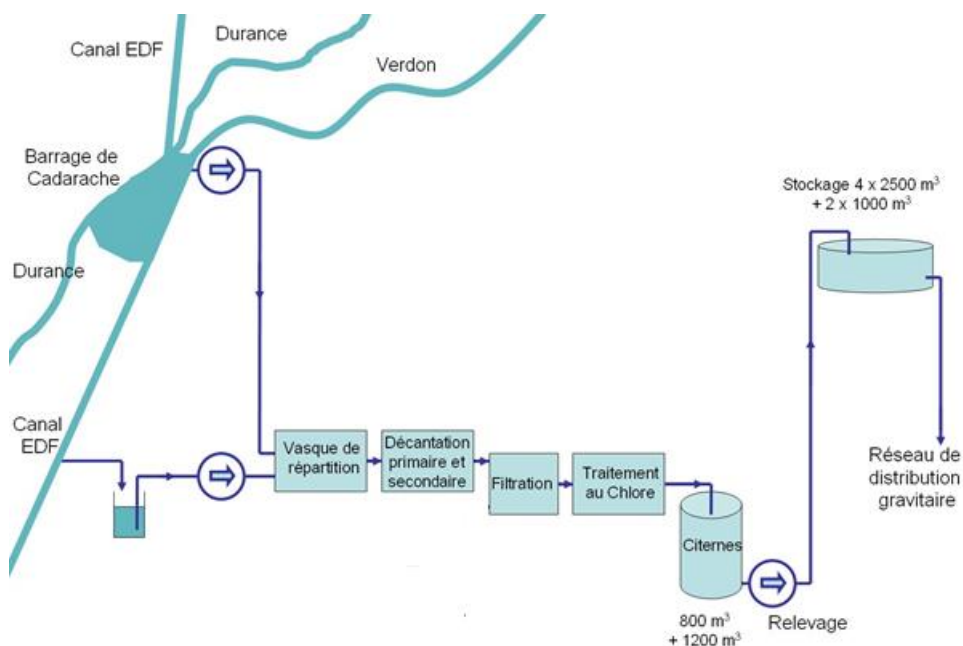
Ouvrage de prise d'eau dans le canal EDF

Le pompage de l'eau du canal au niveau de la prise d'eau du barrage s'effectue grâce à deux pompes de 450 m³/h soit un total de 900 m³/h. La prise d'eau du barrage est reliée à la station de production d'eau potable par une canalisation de 1 200 m de long.

A sa mise en service, le RJH disposera en outre d'une alimentation en eau brute pour son refroidissement. Celle-ci proviendra du canal de Provence qui passe au-dessus du site. Cette eau sera ensuite restituée intégralement au canal EDF qui passe en-dessous du site. L'alimentation en eau brute du canal de Provence servira également, à terme, au refroidissement d'ITER.

2.3.1.2 Traitement de l'eau

A partir de la vasque de répartition, l'eau est admise dans la station de production d'eau potable qui dispose d'une capacité maximale de traitement de l'eau brute de 1 800 m³/h en continu. Le procédé de potabilisation est classique et comprend une décantation primaire et secondaire, une filtration et un traitement au chlore.



Principe du prélèvement d'eau et de son traitement

Le chlore gazeux est injecté en sortie de filtration, avant entreposage dans les citernes. Un échantillonnage de l'eau filtrée et désinfectée permet de contrôler l'efficacité des traitements. Des analyses de chlore résiduel et des mesures de turbidité et de pH sont réalisées en continu et enregistrées.

L'eau traitée est entreposée sur le lieu de production dans deux citernes de capacité respective 800 et 1 200 m³.

2.3.1.3 Stockage

Une fois traitée et rendue potable, l'eau est envoyée vers un point haut à partir duquel sont alimentés les bâtiments et installations.

Une installation comprenant quatre pompes permet de relever l'eau des citernes de la station de production d'eau potable via deux canalisations de diamètre 500 mm vers quatre réservoirs de 2 500 m³. Ce dispositif de relevage comprend quatre pompes dont trois ont une capacité maximale de 630 m³/h et une de 250 m³/h.

Deux pompes d'une capacité de 460 m³/h reprennent l'eau des réservoirs vers deux autres réservoirs de 1 000 m³ via une canalisation de refoulement de diamètre 350 mm.

A partir de chacune de ces deux installations de stockage de l'eau, il existe un départ de canalisation destiné à alimenter chacun un réseau différent. Les quatre réservoirs de 2 500 m³ alimentent la partie occidentale et septentrionale du Centre (réseau bas) et les deux installations de 1 000 m³ alimentent la partie orientale du site de Cadarache (réseau haut). Les artères principales des deux réseaux (réseau haut et réseau bas) de distribution d'eau potable sont interconnectées en plusieurs endroits.

L'ensemble des réservoirs représente une capacité totale de 12 000 m³. L'exploitation des réservoirs autorise une réserve technique minimale de 7 200 m³ dont une réserve incendie de 2 200 m³. Cette dernière ne peut être utilisée que sur intervention manuelle.

2.3.1.4 Contrôles

Des analyses physico-chimiques et bactériologiques sont réalisées périodiquement à la station de traitement. Des contrôles sont également effectués en différents points du réseau à l'intérieur du Centre. Les analyses de l'eau potable produite sur le Centre sont effectuées par un laboratoire agréé conformément à la réglementation relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine.

2.3.1.5 Distribution

Les artères principales du réseau d'eau potable sont maillées de façon à permettre l'alimentation des différentes zones du site par deux tracés différents de canalisations de diamètre 100 à 500 mm. La longueur totale développée est de l'ordre de 58 kilomètres.

Les réservoirs alimentant le réseau bas et ceux alimentant le réseau haut constituent les deux étages de distribution gravitaire du Centre de Cadarache.



Ce réseau alimente les points suivants :

- l'ensemble des installations du Centre de Cadarache (exploitées par le CEA ou l'IRSN) et d'ITER qui représente environ 95 % de l'eau consommée ;
- la zone artisanale de la commune de St-Paul-Lez-Durance et l'alimentation en secours de cette commune, qui représente environ 2,4 % de l'eau consommée ;
- des installations appartenant au CEA qui se situent à l'extérieur de l'enceinte du Centre (Maison d'hôtes, bâtiment dit « la cité », INSTN) et qui représentent environ 1,7 % de l'eau consommée ;
- un ensemble de résidences étudiantes, représentant environ 0,5 % du volume total ;
- les installations du barrage de Cadarache, représentant environ 0,03 % du volume total ;
- un bureau de Médecine du Travail dont la consommation représente environ 0,02 % du volume total ;
- une maison forestière, appartenant à l'O.N.F., représentant environ 0,01 % de la consommation totale ;
- les locaux du péage de l'autoroute.

2.3.1.6 Réseau incendie

Les poteaux d'incendie sont alimentés par le réseau de distribution d'eau potable, ils sont au nombre de 140 sur le Centre. Le dispositif de protection incendie intègre également dix bassins d'une capacité minimale de 120 m³ situés à l'intérieur de la clôture du Centre. A l'extérieur, deux citernes DFCI sont situées au sud du site et il existe également des citernes DFCI en forêt domaniale.

Un contrôle périodique des poteaux d'incendie est effectué semestriellement et permet de s'assurer que le débit ($60 \text{ m}^3/\text{h}$) et la pression (1 bar) disponibles sont conformes à la réglementation.

2.3.2 Incidence des prélèvements d'eau sur la ressource

2.3.2.1 Prélèvements dans la Durance

La quantité d'eau prélevée dans le canal EDF (en fonctionnement normal) ou dans le barrage EDF (en secours) s'élève à $376\,963 \text{ m}^3$ en 2013. Cette consommation provient en quasi-totalité du canal EDF et représente environ un dix millième du volume annuel transitant dans la Durance et le canal EDF au droit de Cadarache.

D'autre part le débit maximal prélevé est limité à $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$, que l'on peut comparer au débit prélevé pour l'irrigation et la potabilisation qui atteint, au plus fort de l'été, environ $130 \text{ m}^3/\text{s}$.

Les aménagements de la Durance et du Verdon réalisés dans les années 60-70 ont permis de régulariser les débits instantanés qui, auparavant, s'étagaient entre 35 et $6\,000 \text{ m}^3/\text{s}$. Outre la production d'électricité, ces aménagements évitent maintenant les crues dévastatrices et permettent d'irriguer environ 80 000 hectares.

Les faibles proportions des débits instantanés et de la quantité totale prélevés par le site de Cadarache permettent d'affirmer que l'incidence des prélèvements d'eau sur la ressource est négligeable.

2.3.2.2 Prélèvements dans la nappe phréatique

Le système de drainage du LEFCA, mis en place en 2015 et conçu pour maintenir le niveau de la nappe à une cote maximale de 269 mNGF, est amené à prélever de l'eau la nappe au droit de l'installation. Le prélèvement d'eau souterraine n'est pas permanent mais néanmoins régulier, le pompage n'est enclenché que lorsque la cote piézométrique 268,50 mNGF est atteinte. Aucun pompage n'a lieu lorsque le niveau de la nappe est sous cette cote piézométrique.

Les eaux d'exhaure des drains sont collectées par les réseaux d'eaux pluviales de la zone LEFCA qui sont dirigées vers le Ravin de la Bête, se jetant lui-même dans la Durance.

2.3.2.3 Prélèvements dans le canal de Provence

Le RJH (et ITER quand il sera en service) prélèveront l'eau nécessaire à leur refroidissement dans le Canal de Provence. Pour ce qui concerne le RJH, elle sera restituée en totalité au Canal EDF.

Les prélèvements du RJH seront au maximum de 43 millions de m^3 par an avec un débit instantané inférieur à $3 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le canal de Provence a une capacité instantanée de $40 \text{ m}^3/\text{s}$ et débite actuellement environ entre $1 \text{ m}^3/\text{s}$ en hiver et $13 \text{ m}^3/\text{s}$ en été. Ceci correspond à la fourniture d'eau aux clients de la Société du Canal de Provence alimentés directement par la prise de Boutre sur le canal de Provence. Le volume annuel qui transite dans le canal de Provence est d'environ 150 millions de m^3 , pour une dotation annuelle maximale de 660 millions. La différence entre la dotation maximale et le volume transité dans le canal de Provence est turbinée dans l'usine de Vinon-sur-Verdon et restituée au canal EDF.

Le RJH prélèvera au maximum 6,5% de la capacité totale du canal de Provence et 8,4% de la capacité encore disponible.

Si l'on considère les débits instantanés, le RJH prélèvera 7,5% de la capacité maximale instantanée ou encore 11% de la réserve de débit instantané disponible.

Ces chiffres montrent clairement que les prélèvements du RJH n'entament la réserve disponible que dans une faible proportion et n'obèrent pas les autres usages du canal, ni même l'augmentation des besoins futurs.

Sur le plan énergétique, l'eau qui sera prélevée dans le futur pour le RJH est aujourd'hui turbinée dans l'usine de Vinon-sur-Verdon et se retrouve ensuite dans le canal EDF, quelques kilomètres en amont du point de rejet du RJH.

En conclusion, le prélèvement sur la ressource n'a pas de conséquences sur sa disponibilité actuelle et future.

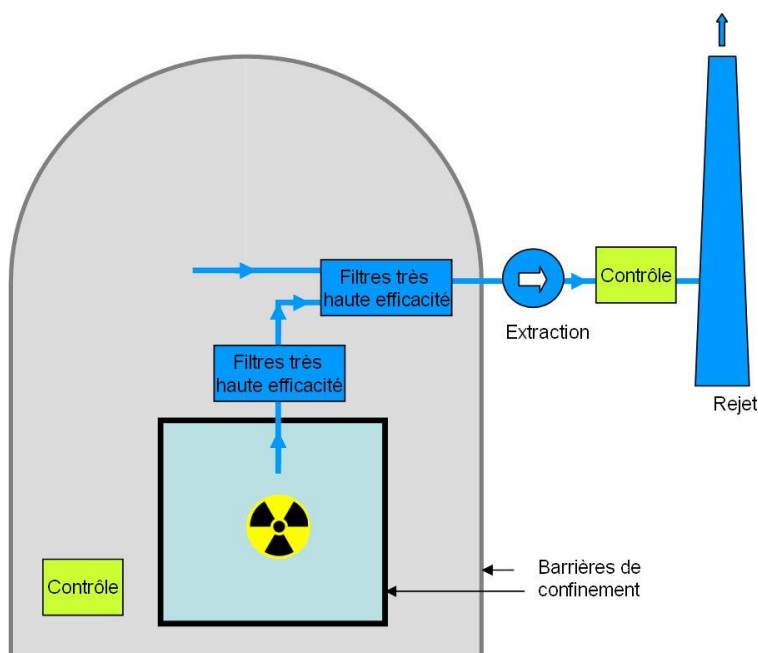
2.4 Impacts des rejets d'effluents par voie atmosphérique

2.4.1 Origine des effluents

Les rejets d'effluents atmosphériques radioactifs des installations nucléaires proviennent pour leur plus grande partie de la ventilation des différents locaux. Outre les fonctions classiques de renouvellement d'air et de maintien des conditions de température et d'humidité, les systèmes de ventilation nucléaire ont deux autres rôles :

- maintenir une dépression dans les locaux contaminés ou susceptibles de l'être, de manière à ce qu'un éventuel défaut de confinement n'ait aucune conséquence ;
- retenir la plus grande partie possible de la radioactivité contenue dans l'air extrait grâce au passage dans des batteries de filtres.

La filtration permet de retenir la quasi-totalité de la radioactivité présente dans les particules solides en suspension dans l'air (aérosols), mais est inefficace pour les gaz (tritium et gaz rares notamment). Le principe de la filtration nucléaire est donné dans le schéma ci-dessous.



De manière générale, les produits radioactifs sont confinés. Selon le niveau de radioactivité, les produits sont séparés de l'environnement par une ou plusieurs barrières, dites de confinement. Pour prévenir le risque de fuite, l'enceinte dans laquelle se trouve la radioactivité est mise en dépression. S'il y a plusieurs barrières de confinement, on met en place une cascade de dépressions, la pression allant en diminuant à chaque barrière jusqu'à la source de radioactivité. De cette manière, l'écoulement d'air se fait toujours de l'extérieur vers l'intérieur. Si une fuite se produit, les opérateurs sont protégés et la radioactivité est récupérée. L'air ainsi extrait est filtré avant rejet. L'efficacité minimale des filtres est de 1 000, ce qui signifie que 999 % de la radioactivité sous forme de particule en suspension dans l'air est piégée. Selon le niveau de radioactivité, plusieurs filtres peuvent être disposés en cascade.



Dispositif de contrôle des rejets d'effluents gazeux

Les rejets des systèmes de ventilation nucléaire sont surveillés en permanence, avec des mesures en continu. Celles-ci permettent de détecter en temps réel toute anomalie. Les systèmes de rejet sont également munis d'équipements permettant des mesures différées, beaucoup plus précises qui permettent de comptabiliser les rejets d'effluents et de contrôler le non dépassement

des limites.

Les installations rejettent très peu d'effluents chimiques. Pour celles qui en rejettent, ils sont surveillés et comptabilisés, selon les mêmes principes que les effluents radioactifs.

Quelques installations, notamment des laboratoires et la chaufferie du Centre, sont source de rejets d'effluents chimiques atmosphériques. Les rejets des laboratoires résultent de traitements chimiques nécessaires aux expérimentations.

La chaufferie fonctionne le plus souvent au gaz ; elle peut également fonctionner au fioul en secours, dans ce dernier cas ses rejets sont plus élevés.

2.4.2 Caractérisations des effluents atmosphériques – composante radioactive

Les caractéristiques des effluents radioactifs produits sont établies à partir des autorisations de rejet en vigueur. Celles-ci sont données par famille de radionucléide. Au sein d'une même famille de radionucléides (les « α » par exemple), les impacts de leurs différents constituants (Plutonium 240 ou Uranium 234 par exemple) peuvent être très différents. Pour tenir compte de cette disparité, on utilise le « spectre » des différentes installations, c'est-à-dire la répartition des différents radionucléides présents dans les effluents.

La composition des effluents tient également compte des radionucléides rejetés en quantités non détectables par les appareils de mesure. Dans ce cas, on considère forfaitairement que l'activité prise en compte dans le calcul d'impact est égale au **seuil de décision** pour le radionucléide considéré multiplié par la quantité annuelle d'air rejeté.

Seuil de décision

Le seuil de décision (SD) correspond à une valeur de comptage, pour laquelle on estime que, compte-tenu des fluctuations statistiques du bruit de fond, on peut affirmer avec une probabilité suffisamment élevée qu'un comptage supérieur à cette valeur SD révèle effectivement la présence de radioactivité dans l'échantillon mesuré.

La composition des effluents atmosphériques radioactifs produits, correspondant à l'ensemble des installations présentes sur le Centre, est présentée dans le tableau ci-après (le chantier ITER ne conduit pas à des rejets radioactifs, seuls ceux du Centre sont donc pris en compte) :

Isotope	Bq/an	Isotope	Bq/an	Isotope	Bq/an
HTO (eau tritiée)	2,14E+13	¹³⁴ Iorg	1,06E+3	²³² U	6,67E+1
¹⁴ C (CO ₂)	1,22E+11	¹³⁵ Iorg+	1,55E+4	²³⁴ U	9,81E+4
⁶⁰ Co	3,48E+5	^{131m} Xe	2,50E+12	²³⁵ U+	1,82E+4
⁶³ Ni	2,86E+4	¹³³ Xe	3,74E+13	²³⁶ U	1,32E+3
⁸⁵ Kr	1,17E+14	^{133m} Xe	1,16E+11	²³⁸ U+	5,23E+4
^{85m} Kr	5,07E+8	¹³⁵ Xe	6,10E+9	²³⁷ Np+	6,67E+1
⁸⁷ Kr	2,74E+8	¹³⁸ Xe	1,48E+8	²³⁸ Pu	8,15E+5
⁸⁸ Kr	8,30E+8	¹³⁴ Cs	7,83E+5	²³⁹ Pu+	5,52E+5
⁹⁰ Sr+	3,00E+6	¹³⁷ Cs+	8,14E+6	²⁴⁰ Pu	3,06E+5
¹⁰⁶ Ru+	4,43E+5	¹³⁸ Cs	2,71E+3	²⁴¹ Pu+	5,68E+6
^{110m} Ag+	3,20E+5	¹⁴⁴ Ce+	1,75E+5	²⁴² Pu	9,38E+4
¹²⁵ Sb+	4,41E+7	¹⁵⁴ Eu	5,22E+4	²⁴¹ Am	2,20E+5
¹²⁹ Iorg	7,51E+7	¹⁵⁵ Eu	6,08E+4	²⁴² Cm	8,76E+5
¹³¹ Iorg	4,35E+8	²³² Th	1,53E+6	²⁴⁴ Cm	9,03E+5
¹³² Iorg	6,18E+7	²³⁴ Th	1,11E+4		
¹³³ Iorg	5,07E+6	^{234m} Pa	5,11E+5		

Terme source retenu établi à partir des limites des rejets radioactifs atmosphériques

On considère que les rejets d'effluents radioactifs sont permanents, tout au long de l'année.

Dans le tableau, le « + » signifie que le radioélément a des descendants (il se désintègre en un ou plusieurs autres éléments également radioactifs) qui sont pris en compte dans le calcul. Le « m » signifie que l'isotope considéré est l'isotope **métastable**. Enfin le suffixe « org » pour les iodes signifie que c'est la forme organique de l'isotope qui est prise en compte.

Métastable

Terme qualifiant un système physique ou chimique qui, rigoureusement parlant, n'est pas stable, mais dont la transformation est si lente qu'il n'est pas nécessaire de la prendre en compte.

Les rejets diffus de radon ne sont pas réglementés. Ils sont cependant pris en compte pour le calcul d'impact et présentés dans le tableau ci-dessous :

Isotope	Bq/an
²²² Rn	1,95E+12

Rejets radioactifs de radon (ordre de grandeur)

2.4.3 Calcul d'impact du rejet des effluents atmosphériques sur l'environnement – composante radioactive

A ce jour, il n'existe pas de méthodes validées pour déterminer l'impact des rejets radioactifs sur l'environnement (cf. §5.2.3). On peut cependant l'appréhender partiellement car on dispose d'activités ajoutées dans les différents compartiments de l'environnement.

Les activités ajoutées dans l'air varient de 15 Bq/m³ pour le ⁸⁵Kr à moins d'un millionième de Bq/m³ pour les plus faibles activités des autres radionucléides.

Les activités ajoutées dans le sol varient entre 96 Bq/kg pour le tritium au Hameau, et à moins d'un millionième de Bq/kg pour les plus faibles activités des autres radionucléides.

L'activité ajoutée dans les productions végétales d'origine locale à Saint-Paul-lez-Durance, commune la plus sensible aux rejets par voie atmosphérique du Centre de Cadarache, est au plus de l'ordre de 50 Bq par kg en tritium. A titre indicatif, l'activité naturelle des légumes est de l'ordre de 140 Bq par kg, cette comparaison n'est donnée que pour apprécier les différences d'ordre de grandeur, car les effets sur l'organisme des différents radioéléments peuvent être très différents. L'activité ajoutée dans le lait est au plus de 150 Bq par kg en tritium.

Ces valeurs sont basées sur des rejets théoriques (on suppose que toutes les installations rejettent en permanence au maximum de la limite réglementaire) et les impacts sont calculés en considérant systématiquement les hypothèses les plus défavorables. En réalité, la radioactivité ajoutée par le Centre de Cadarache est quasi indécélable.

2.4.4 Caractérisation des effluents atmosphériques – composante chimique

Pour chaque installation relevant d'un arrêté ou d'une décision limitant les rejets, les valeurs limites autorisées ont été retenues. Comme pour les rejets radiologiques, une évaluation des éventuels rejets diffus a été réalisée sur l'ensemble des bâtiments du Centre (INB, ICPE et bâtiments banals).

En fonction du régime de fonctionnement de l'installation, les rejets sont supposés se produire, soit de manière continue dans l'année, soit de manière séquentielle, sur des périodes courtes.

Ainsi, les effluents sont caractérisés de la manière suivante :

- en termes de flux annuel pour les installations relevant d'un régime continu ;
- en termes de flux annuel et de flux horaire pour les installations relevant d'un régime séquentiel.

Si les flux ne sont pas fixés par l'arrêté d'autorisation de rejet correspondant, ils ont été déterminés à partir des concentrations limites de rejet auxquelles le régime de fonctionnement réel (continu ou séquentiel) a été appliqué.

Le tableau suivant présente les flux annuels et horaires des substances émises par les différentes installations, établis à partir des autorisations réglementaires présentées au chapitre 2.2.3.

Arrêté	Installation	Paramètre	Flux annuel (kg/an)	Flux horaire (kg/h)	Nb heures de fonctionnement
INB	INB 25 - E75	HCl	44,2	Sans Objet	continu
	INB 55 - E22	HCl	4380	Sans Objet	continu
		HF	438	Sans Objet	continu
	INB 55 - E64	Hg	1,75	Sans Objet	continu
		Pb	35	Sans Objet	continu
		Sb	35	Sans Objet	continu
		Zn	35	Sans Objet	continu
		HF	175,2	Sans Objet	continu
	INB 164 - CEDRA	CO	50	Sans Objet	continu
		HCl	20	Sans Objet	continu
		HF	0,3	Sans Objet	continu
		SO ₂	8	Sans Objet	continu
		Cd	0,6	Sans Objet	continu

Arrêté	Installation	Paramètre	Flux annuel (kg/an)	Flux horaire (kg/h)	Nb heures de fonctionnement
		Ti	0,6	Sans Objet	continu
		Hg	0,00184	Sans Objet	continu
		Sb	0,14	Sans Objet	continu
		As	0,14	Sans Objet	continu
		Pb	0,14	Sans Objet	continu
		Cr total	0,14	Sans Objet	continu
		Co (cobalt)	0,14	Sans Objet	continu
		Cu	0,14	Sans Objet	continu
		Mn	0,14	Sans Objet	continu
		Ni	0,14	Sans Objet	continu
		V	0,14	Sans Objet	continu
		Poussières	0,6	Sans Objet	continu
		NO _x	6	0,016	640
		Dioxines et Furanés	7,00E-08	Sans Objet	continu
		Sn	0,14	Sans Objet	continu
		Se	0,14	Sans Objet	continu
		Te	0,14	Sans Objet	continu
		Zn	0,14	Sans Objet	continu
AP ⁹ ICPE	Chaufferie Centrale Gaz Naturel	NO _x	22908	Sans Objet	continu
		CO	10259	Sans Objet	continu
		SO ₂	3586	Sans Objet	continu
		Poussières	498	Sans Objet	continu
	<i>Chaufferie Centrale FOD¹⁰</i>	NO _x	4500	30	150
		CO	750	5	150
		SO ₂	11250	75	150
		<i>Poussières</i>	750	5	150
	<i>HRT VAUTOUR</i>	NaOH	12	0,04	500
	<i>HRT SURBOUM</i>	NaOH	270	0,3	720
INBS PN	FSMC	HF	3	Sans Objet	continu
		NO _x	24	Sans Objet	continu
	<i>ME / MC</i>	NO _x	1760	2,2	800
		SO ₂	2000	2,5	800
	RNG	NO _x	880	2,2	400
		SO ₂	1000	2,5	400

Flux annuels et flux horaires des effluents atmosphériques pour les différentes installations considérées

Les installations relevant d'un régime séquentiel sont notées en italique. Dans ce cas, le nombre d'heures de fonctionnement est également indiqué.

Des flux annuels ont été estimés pour les installations mettant en œuvre des substances volatiles dans le cadre d'opérations de chauffe sans reflux. De manière enveloppe, il a été considéré que les quantités mises en œuvre dans le cadre de ces opérations se retrouvaient émises à l'environnement.

⁹ AP : arrêté préfectoral

¹⁰ FOD : fuel ordinaire domestique

Le tableau suivant présente les flux estimés des substances émises sur différentes installations non réglementées par les différents arrêtés.

Installation	Paramètre	Flux annuel (kg/an)
Chaufferie Centrale	CO ₂	1,3.10 ⁷
Tore Supra	SF ₆	78
SMT/LABM	HCl	2290
	HNO ₃ (NO _x)	554
	HF	77
SPR/LANSE	HCl	48
	HNO ₃ (NO _x)	144
	NH ₃	24

Flux annuels des effluents atmosphériques estimés pour les différentes installations considérées

2.4.5 Calcul d'impact des rejets d'effluents atmosphériques sur l'environnement – composante chimique

Les substances pour lesquelles les concentrations dans l'atmosphère sont les plus élevées sont le dioxyde de soufre et le dioxyde d'azote, principalement émis par la chaufferie centrale lorsqu'elle fonctionne au fuel ordinaire domestique (fonctionnement en mode secours).

Ces concentrations sont au plus de l'ordre de 8.10⁻³ mg/m³ en dioxyde de soufre, au Hameau.

Au point de retombée maximale, les concentrations en SO₂, essentiellement dues à la chaufferie en mode FOD, sont inférieures à 10⁻² mg/m³. Les concentrations en NO_x sont de l'ordre de 6 µg/m³.

Les concentrations ajoutées dans l'air ont été comparées aux valeurs limites pour la protection des végétaux ou écosystèmes indiquées dans l'article R. 221-1 du code de l'environnement relatif à la qualité de l'air :

Substance	Valeurs limites pour la protection des végétaux ou écosystèmes (µg.m ⁻³)	Concentration moyenne annuelle (µg/m ³)		
		Point max	Le Hameau	Saint-Paul-lez-Durance
Dioxyde d'azote (NO ₂)	30	7	6	3
Dioxyde de soufre (SO ₂)	20	10	8	4

Comparaison des concentrations annuelles par rapport aux valeurs limites pour la protection des végétaux ou des écosystèmes

Les concentrations ajoutées en SO₂ sont au plus de l'ordre de 50% des valeurs limites pour la protection des écosystèmes.

De même, les concentrations moyennes annuelles sont comparées aux valeurs cibles indiquées dans l'article R. 221-1 du code de l'environnement pour les métaux (arsenic,

nickel, cadmium, plomb). Les valeurs calculées sont inférieures à 0,1% des valeurs cibles au lieu le plus exposé.

Pour les poussières et le monoxyde de carbone (CO), les valeurs sont également très inférieures aux valeurs cibles (2% pour les poussières et inférieures à 0,1% pour le CO).

L'impact environnemental des rejets atmosphériques des installations du site de Cadarache respecte les limites indiquées dans l'article R. 221-1 du code de l'environnement relatif à la qualité de l'air pour l'ensemble des substances émises.

De plus, les concentrations ajoutées dans l'air ont été comparées aux valeurs relatives à la qualité de l'air, définies dans l'article R. 221-1 du code de l'environnement. Quelle que soit la substance considérée, les concentrations ajoutées sont toujours inférieures à ces limites en moyenne annuelle.

2.4.6 Incidence des rejets d'effluents atmosphériques sur la qualité de l'air et des sols

L'association Air PACA (<http://www.airpaca.com/>) assure la surveillance de la qualité de l'air de la Région Provence Alpes Côte d'Azur, répondant ainsi aux exigences réglementaires et aux attentes des acteurs locaux (collectivités, associations, industriels, ...). AIRPACA a notamment mis en place un système de mesure de la qualité de l'air basé sur des indices.

L'indice de la qualité de l'air est destiné à qualifier globalement, chaque jour, la qualité de l'air d'une ville ou d'une agglomération. Il est dénommé Indice Atmo lorsqu'il concerne les agglomérations de plus de 100 000 habitants et qu'il répond à tous les critères de calcul définis par arrêté ministériel du 22/07/2004 relatif aux indices de la qualité de l'air.

Cet indice est calculé à partir des concentrations en polluants relevées par les stations urbaines et périurbaines représentatives de zones de pollution homogène. En fonction de la configuration de la zone, quatre polluants peuvent être pris en compte dans son calcul : les particules fines de diamètre inférieur à 10 μm (PM10), le dioxyde d'azote (NO₂), l'ozone (O₃) et le dioxyde de soufre (SO₂).

Le tableau ci-dessous présente les concentrations en ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de chacune des classes notées de 1 à 10 :

sous-indice de la qualité de l'air		Concentrations en $\mu\text{g}/\text{m}^3$			
		O ₃	PM 10	NO ₂	SO ₂
très bon	1	0 à 29	0 à 6	0 à 29	0 à 39
	2	30 à 54	7 à 13	30 à 54	40 à 79
bon	3	55 à 79	14 à 20	55 à 84	80 à 119
	4	80 à 104	21 à 27	85 à 109	120 à 159
moyen	5	105 à 129	28 à 34	110 à 134	160 à 199
médiocre	6	130 à 149	35 à 41	135 à 164	200 à 249
	7	150 à 179	42 à 49	165 à 199	250 à 299
mauvais	8	180 à 209	50 à 64	200 à 274	300 à 399
	9	210 à 239	65 à 79	275 à 399	400 à 499
très mauvais	10	>240	>80	>400	>500

Le site de Cadarache n'est concerné que par des rejets de dioxyde d'azote et de dioxyde de soufre, les concentrations calculées ajoutées et l'indice associé sont rappelés dans le tableau suivant :

Substance	Concentration moyenne annuelle ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			Indice
	Point max	Le Hameau	Saint-Paul-lez-Durance	
Dioxyde d'azote (NO_2)	7	6	3	1
Dioxyde de soufre (SO_2)	10	8	4	1

En 2012 en PACA les concentrations mesurées en dioxyde d'azote ont varié de 20 à 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour respectivement des zones de type urbain ou de type trafic.

La même année en PACA les concentrations en dioxyde de soufre ont été de l'ordre de 1 à 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour des zones de type urbain. Ces concentrations sont très faibles, parfois en-dessous des limites de détection des appareils, étant donné que les carburants automobiles ne contiennent quasiment plus de soufre.

La composante chimique des rejets gazeux du site de Cadarache est très faible et son impact sur la qualité de l'air l'est également. D'autre part, l'incidence de ces rejets sur la qualité des sols est indécélable et n'a jamais été mise en évidence à l'occasion des analyses d'échantillons de sols dans le cadre du plan de surveillance de l'environnement du Centre de Cadarache.

2.4.7 Analyse de la compatibilité avec les plans de protection de l'atmosphère

L'article R. 222-13 du code de l'environnement prévoit des Plans de Protection de l'Atmosphère (PPA) dans les agglomérations de plus de 250 000 habitants et pour les zones où les valeurs limites (art. R. 221-1) sont dépassées ou risquent de l'être. En région Provence Alpes Côte d'azur, et compte tenu des spécificités locales (agglomération AIX/MARSEILLE, zone de FOS/BERRE, continuité territoriale côtière), il a été décidé de faire des PPA départementaux pour les Alpes Maritimes, le Var et les Bouches-du-Rhône et un PPA d'agglomération pour l'agglomération d'Avignon. Cadarache est donc concerné par le PPA des Bouches-du-Rhône qui a été approuvé par le Préfet le 17/05/2013. Il est prévu que ce plan soit évalué tous les 5 ans et éventuellement révisé.

Dans ce plan, le site de Cadarache est concerné par l'orientation 3.1 du Plan Régional de Qualité de l'Air (PRQA) « Réduire les émissions des installations de combustion d'une puissance de plus de 20 MW ».

Les flux de rejets gazeux des chaudières de la chaufferie sont inférieurs aux valeurs limites prescrites par l'arrêté préfectoral n°113-2006 A.

De plus les valeurs limites pour la protection de la santé humaine dans l'air ambiant sont respectées.

Substance	Concentration moyenne annuelle ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			Valeurs limites annuelles ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	Point max	Le Hameau	Saint-Paul-lez-Durance	
Dioxyde d'azote (NO_2)	7	6	3	40
Dioxyde de soufre (SO_2)	10	8	4	50
Monoxyde de carbone (CO)	1	0,7	0,4	¹¹ 10 000

Le centre de Cadarache respecte le PPA élaboré pour le département des Bouches du Rhône.

2.5 Impacts des rejets d'effluents par voie liquide

2.5.1 Origine des effluents

2.5.1.1 Les différents types d'effluents liquides

On peut rencontrer jusqu'à 4 types d'effluents liquides sur les installations du site de Cadarache :

- les eaux de refroidissement ;
- les effluents sanitaires ;
- les effluents industriels ;
- les effluents radioactifs.

Ainsi que :

- les eaux pluviales ;
- les eaux de drainage.

Les eaux pluviales

Les eaux pluviales sont collectées par des descentes pluviales, rigoles, fossés et avaloirs, puis se déversent dans le ruisseau du Ravin de la Bête, qui se jette dans la Durance.

Une étude a conclu que les infrastructures hydrauliques du Centre étaient bien dimensionnées pour la crue centennale. En cas de pollution, il est possible de dériver le ruisseau du Ravin de la Bête vers un bassin.

Les eaux provenant du ruissellement des eaux pluviales sur les surfaces imperméables de l'installation ITER seront collectées dans un réseau dédié et rejetées dans la Durance via un bassin d'orage. Le bassin d'orage peut être isolé en cas de pollution. Les eaux pluviales des zones non urbanisées d'ITER se jettent dans le Verdon, juste en amont du confluent avec la Durance.

Les eaux de drainage

Les eaux souterraines issues du système de drainage de la nappe au droit du LEFCA sont collectées, de manière non permanente (débit lié au niveau de la nappe) depuis fin 2015 par le Ravin de la Bête, 100 m en amont de la fin de l'ovoïde de Carcy.

¹¹ sur 8 heures

Les eaux de refroidissement

Issues du Canal de Provence, ces eaux serviront à refroidir ITER et le RJH. L'eau utilisée par le RJH sera restituée en totalité dans le canal EDF. L'eau utilisée par ITER sera en partie évaporée et en partie restituée en Durance. Cette eau ne sera utilisée qu'à la mise en service d'ITER et sort donc du cadre temporel de la présente étude.

Les eaux provenant de l'aéroréfrigérant du RES rejoignent deux bassins, avant d'être transférées dans les bassins de contrôle avant rejet.

Les effluents sanitaires

Les effluents sanitaires sont les eaux issues des lavabos et sanitaires de toutes les zones des bâtiments à l'exception des douches et lavabos des zones contrôlées. Ces effluents sont directement rejetés dans le réseau des effluents sanitaires du Centre qui aboutit à la Station de Traitement et d'Épuration (STEP) du Centre pour traitement biologique avant rejet dans la Durance. Ce réseau séparatif enterré a une longueur totale d'environ 35 km. En complément, quatre bacs à graisse et 15 fosses septiques sont en fonctionnement sur le Centre.

Les effluents sanitaires d'ITER sont envoyés dans une station de traitement et d'épuration spécifique. Les eaux traitées sont renvoyées dans les bassins de contrôle avant rejet du Centre.

Les effluents industriels

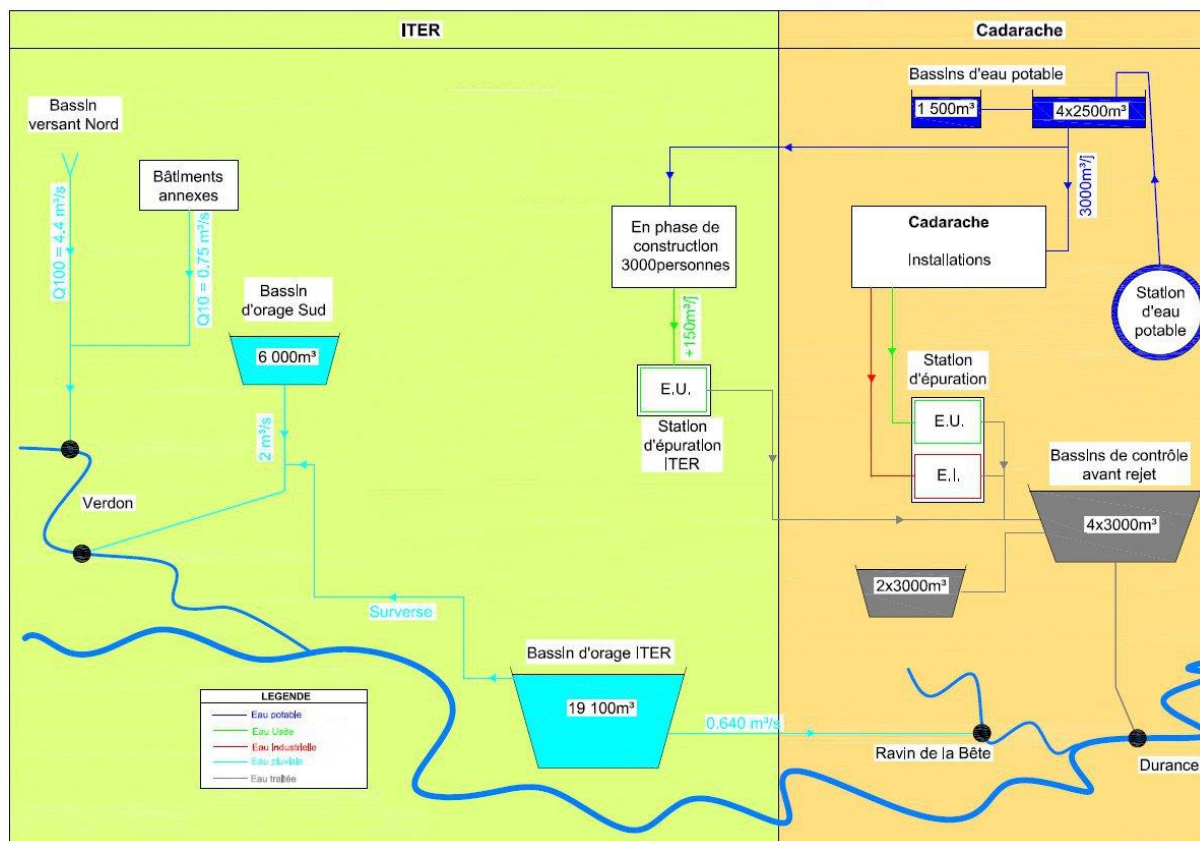
Les effluents industriels sont le plus souvent issus de procédés (par exemple les condensats et purges des systèmes de chauffage ou de climatisation), des lavabos, des douches des zones contrôlées et des eaux nettoyage des sols des zones contrôlées.

Ce type d'effluent est contrôlé avant la sortie de l'installation dans laquelle il est produit. Selon les résultats de l'analyse radiologique et chimique, ces effluents sont traités comme des effluents radioactifs ou sont transférés dans un réseau spécialisé (le réseau des effluents industriels) qui aboutit à la Station de Traitement et d'Épuration (STEP) du Centre pour traitement avant rejet dans la Durance.

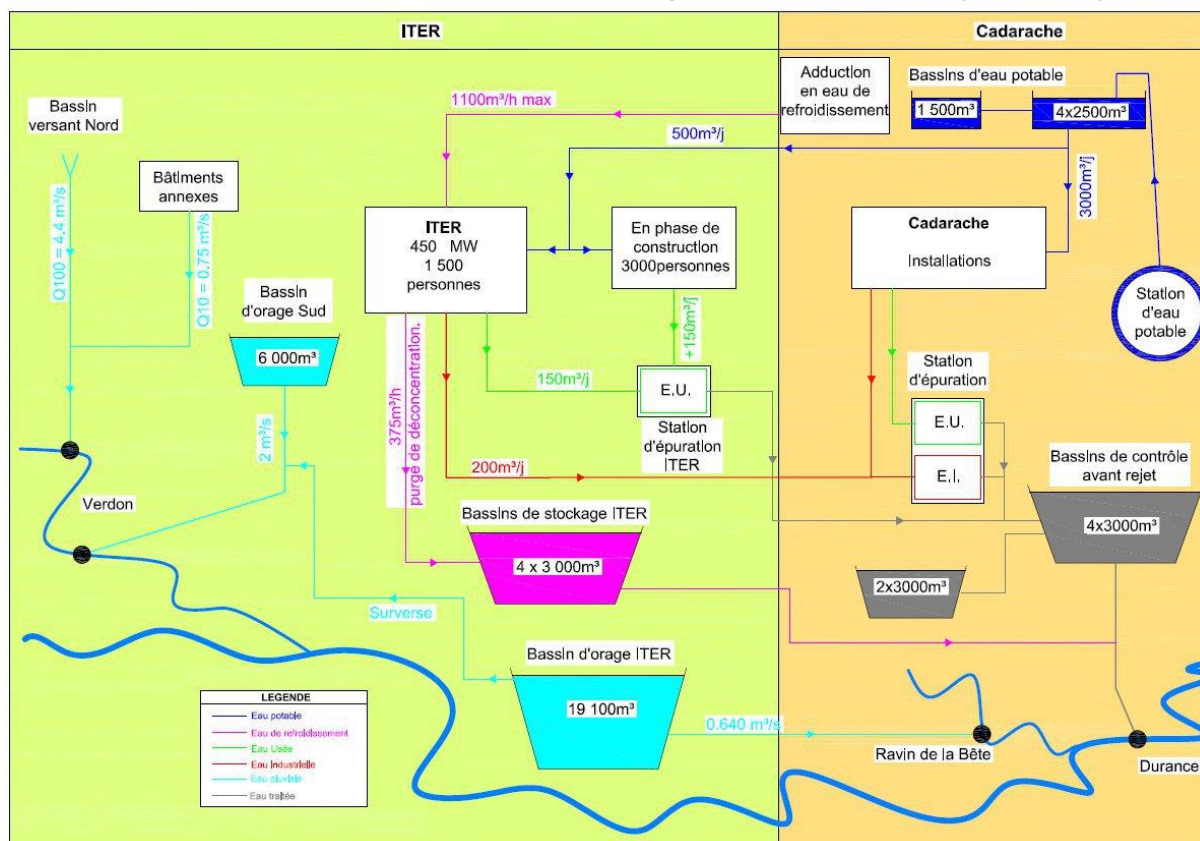
Le réseau enterré des effluents industriels a une longueur totale d'environ 26 km.

Les effluents industriels d'ITER seront renvoyés dans le réseau des effluents industriels du Centre.

Le schéma suivant résume l'architecture des différents réseaux. Le premier schéma présente l'état actuel des réseaux et le suivant, l'état à la mise en service d'ITER.



Architecture des réseaux d'eaux sanitaires, pluviaux et industriels (état actuel)



Architecture des réseaux d'eaux sanitaires, pluviaux et industriels (état à la mise en service d'ITER)

Les effluents radioactifs

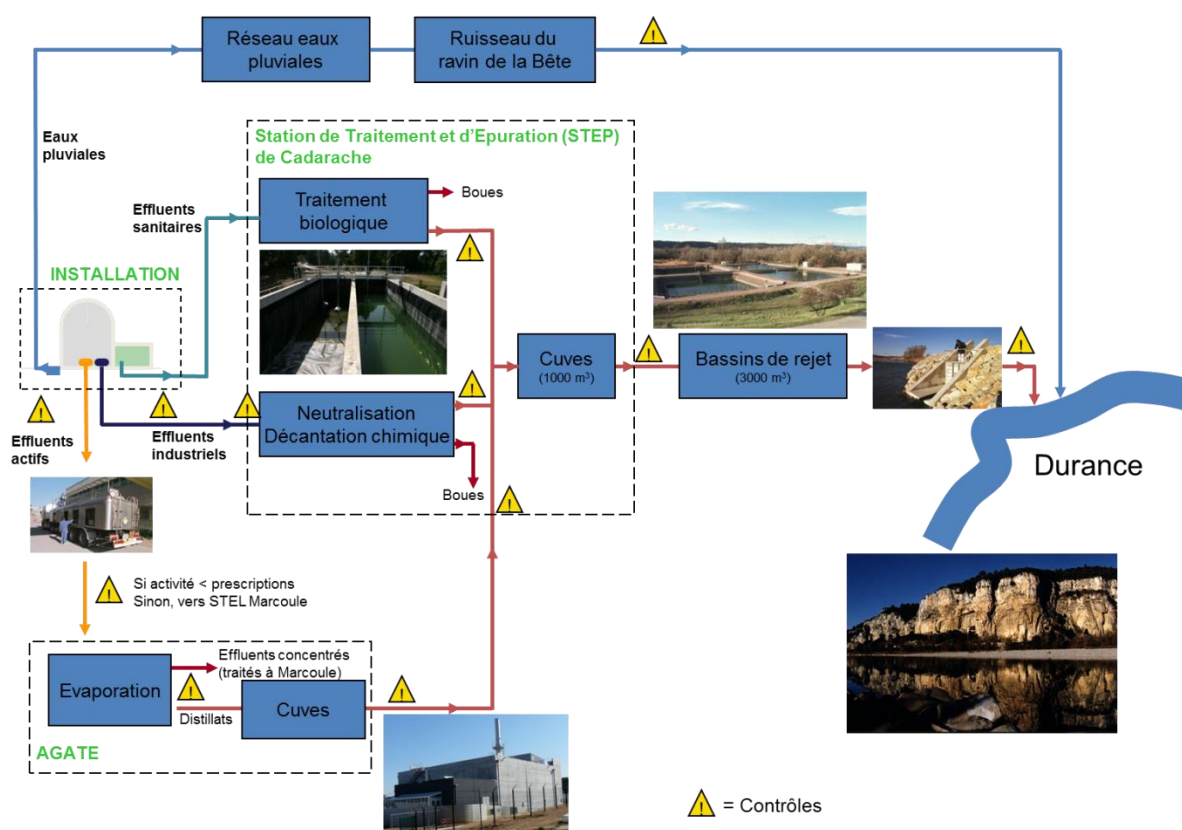
Ce type d'effluent excède une ou plusieurs des limites définies pour les effluents industriels.

Ils sont collectés dans les installations par un réseau spécialisé et dirigés vers des cuves d'entreposage sur l'installation. Lorsqu'une cuve est pleine, celle-ci est isolée et un prélèvement pour analyse est effectué après homogénéisation. Après réception des résultats d'analyses et contrôle de leur conformité avec les spécifications d'acceptation de l'installation de traitement, les effluents sont transférés par citerne ou bonbonne spécialisée à la Station de Traitement des effluents radioactifs « AGATE » (INB 171).

Les effluents radioactifs sont traités globalement, les effluents provenant de chaque installation ne sont pas individualisés. Les lots de traitement respectent les caractéristiques d'AGATE.

2.5.2 Description du principe et des modalités des rejets d'effluents

Le schéma suivant présente le principe de gestion des effluents liquides.



Principe de traitement des effluents liquides sur le site de Cadarache

2.5.2.1 Le traitement des effluents actifs

Les effluents actifs sont chimiquement composés en très grande majorité d'eau. Ils sont traités dans la nouvelle station AGATE par évaporation. La plus grande partie de la radioactivité se concentre dans l'évaporateur et l'eau chargée de quelques particules radioactives (dont l'eau tritiée qui ne peut être séparée de l'eau ordinaire) s'évapore. Elle est ensuite condensée. Si les contrôles sont satisfaisants, l'eau condensée est transférée par une conduite dédiée à la Station de Traitement et d'Épuration (STEP). Si les contrôles

montrent un excès de radioactivité ou une chimie non-conforme, l'eau est renvoyée en tête de traitement pour une nouvelle campagne d'évaporation.

Le volume résiduel, qui contient l'essentiel de la radioactivité initiale, est récupéré à la fin du processus d'évaporation. Il est ensuite conditionné sous forme de colis de déchets solides qui seront stockés dans le Centre de l'Agence Nationale pour la gestion des Déchets RADioactifs (ANDRA), situé à Soulaines (Aube).

L'installation AGATE est décrite en détail dans l'annexe 1 (INB 171).

2.5.2.2 Le traitement des effluents sanitaires

La Station de Traitement et d'Épuration est une installation classique similaire à celle du traitement des eaux usées d'une commune ou d'une usine. Sous ce vocable sont regroupées la station de traitement des effluents sanitaires et la station de traitement des effluents industriels. Les deux traitements sont complètement indépendants. ITER bénéficie d'une station d'épuration des effluents sanitaires indépendante, mais dont le principe est le même.

Les effluents sanitaires se déversent dans la fosse de relevage au travers d'un panier métallique de dégrillage grossier. Par la suite, les effluents sanitaires traversent un tamiseur à escalier puis un bloc de prétraitements équipé d'un aéroflottateur assurant la flottation des graisses et d'un classificateur à sables.

A la sortie du bloc des prétraitements, une canalisation alimente les deux bassins d'aération (traitement biologique). Les effluents transitent ensuite par deux clarificateurs favorisant la décantation des boues activées issues des bassins d'aération. Une lame déversante piège les flottants en surface. Les effluents épurés s'évacuent par la goulotte de sortie.

Enfin, chaque filière de traitement est équipée de pompes qui permettent une recirculation des boues du clarificateur jusqu'en tête des bassins de boues activées. Quelques pompes de recirculation servent aussi à l'extraction des boues en excès par l'ouverture d'une vanne installée sur la conduite d'alimentation des digesteurs.

L'extraction des boues digérées du digesteur se fait par ouverture manuelle des vannes et permet ainsi le remplissage de la fosse à boue. Une pompe refoule le contenu de la fosse vers les lits de séchage. Par un jeu de vannes, il est possible de sélectionner le(s) lit(s) à remplir.

Les effluents épurés sont envoyés vers les bassins de rejet pour un ultime contrôle avant rejet en Durance.

2.5.2.3 Le traitement des effluents industriels

Les effluents entrants transitent dans l'un des deux « neutralisateurs / décanteurs ». Par la suite, les effluents industriels sont dirigés vers l'une des quatre cuves de stockage.

En cas de dépassement des limites de pH, quatre cuves de 1 000 m³ permettent de stocker l'effluent en vue d'une neutralisation (ajustement du pH) et d'un contrôle du transfert vers les bassins de 3 000 m³.

2.5.2.4 La station de rejet

Après traitement, tous les effluents sont dirigés vers six bassins de 3000 m³ affectés successivement :

- au remplissage ;
- au contrôle (durée 6 heures) ;
- à la vidange ;
- à une réserve.

Après les bassins de 3000 m³, les eaux sont acheminées vers une tête de rejet située en Durance.

Le rejet se fait en Durance par une canalisation équipée d'un débitmètre, d'une sonde pour contrôle radiologique et d'un préleveur asservi au débit puis par un émissaire en béton.

Le rejet des eaux traitées par la STEP s'effectue dans la Durance si la qualité de l'eau (chimique et radiologique) des bassins est satisfaisante.

Les valeurs limites de rejet et le mode opératoire sont fixés par l'arrêté préfectoral n°113-2006A du 25/09/2006.

Le Ravin de la Bête, dans lequel se déversent les eaux pluviales du Centre, est un affluent de la Durance. Des contrôles réguliers de la qualité des eaux y sont effectués. En cas de pollution, il est possible de barrer le ruisseau et d'envoyer son contenu dans un des bassins de 3 000 m³.



Les bassins de rejet

2.5.3 Caractérisation des rejets d'effluents liquides – composante radiologique

Les effluents liquides rejetés par le Centre de Cadarache sont générés par les installations du Centre et proviennent des effluents industriels de toutes les installations (INB, ICPE et INB-S) ainsi que des distillats des Stations de traitement des effluents (STE-INB 37, AGATE-INB 171).

La composition radiologique des effluents, établie à partir des autorisations de rejet annuelles de chacune des installations, est la suivante :

Isotope	Bq/an	Isotope	Bq/an	Isotope	Bq/an
HTO (eau tritiée)	1,00E+12	⁷⁵ Se	1,20E+4	¹³⁷ Cs+	2,32E+8
¹⁴ C (CO ₂ aqueux)	5,00E+8	⁸⁵ Sr	1,00E+6	¹³³ Ba	2,30E+4
²² Na	3,59E+6	⁹⁰ Sr	5,03E+7	¹⁴⁴ Ce+	1,19E+7
³² P	2,40E+6	⁹⁵ Zr	7,70E+6	¹⁵¹ Sm	1,00E+9
³³ P	2,40E+6	⁹⁵ Nb	3,78E+6	¹⁵⁴ Eu	4,27E+7
³⁶ Cl	1,00E+9	⁹⁴ Nb	1,00E+9	²²⁶ Ra+	7,17E+4
⁵⁴ Mn	4,09E+7	⁹⁹ Tc	1,00E+9	²³¹ Pa	5,92E+5
⁵⁵ Fe	1,25E+9	¹⁰³ Ru+	2,88E+6	²³⁴ U	1,39E+8
⁵⁷ Co	3,75E+5	¹⁰⁶ Ru+	4,36E+7	²³⁷ Np+	9,00E+4
⁵⁸ Co	2,13E+7	^{110m} Ag+	3,18E+7	²³⁹ Pu+	8,42E+7
⁶⁰ Co	2,94E+8	¹⁰⁹ Cd+	3,81E+7	²⁴¹ Pu+	6,77E+8
⁵⁹ Ni	1,00E+9	¹²⁴ Sb	3,17E+7	²⁴¹ Am	3,66E+6
⁶³ Ni	2,78E+8	¹³⁴ Cs	5,05E+7	²⁴³ Cm	1,55E+7

Composition des effluents radioactifs liquides rejetés en Durance par le Centre de Cadarache

2.5.4 Calcul d'impact des rejets d'effluents liquides sur l'environnement – composante radioactive

A ce jour, il n'existe pas de méthodes validées pour déterminer l'impact des rejets radioactifs sur l'environnement (cf. §5.2.3). On peut cependant l'appréhender partiellement car on dispose des activités ajoutées dans les différents compartiments de l'environnement.

Les activités ajoutées dans l'eau varient de 7 Bq/l pour le tritium à quelques millièmes de Bq/l pour les plus faibles concentrations des autres radionucléides. Dans les sols (par l'intermédiaire de l'eau d'irrigation), les concentrations varient de 0,22 Bq/kg après 50 ans de fonctionnement pour le ⁹⁴Nb et le ⁵⁹Ni, à quelques fractions de millièmes de Bq/l pour les plus faibles activités des autres radionucléides.

Dans les aliments, les activités varient de 18 Bq/kg de ¹⁴C dans la chair de poisson à quelques millièmes de Bq par kilo pour les plus faibles activités des autres radionucléides.

2.5.5 Cas particulier de l'INB 56

Le site des tranchées de l'INB 56 est suivi radiologiquement par l'intermédiaire de puisards, mis en place dans les tranchées, et de piézomètres de contrôle. Ces piézomètres ont été réalisés essentiellement en aval de l'installation. Ceux-ci ont permis de mettre en évidence un marquage, en tritium notamment, dans les trois aquifères sous-jacents aux tranchées.

Les prélèvements d'eau des puisards montrent que les eaux présentes dans les tranchées se marquent au contact des déchets, à des niveaux très variables selon les tranchées. Les concentrations les plus importantes en radionucléides ont été relevées dans les tranchées 4 et 5. Le tritium est l'élément radioactif dont la quantité est la plus importante. Entre 1976 et 1994, les concentrations en tritium étaient de l'ordre de 100 à 2 000 Bq/L dans les tranchées 1, 2 et 3 ; et de 5 000 à 30 000 Bq/L dans les tranchées 4 et 5.

Au vu des différentes analyses faites sur **les fosses de l'entreposage**, des concentrations en radionucléides, notamment en tritium, ont été mesurées en aval de la fosse n°3. Les concentrations les plus élevées ont en effet été relevées dans le piézomètre SD5, le plus proche de la fosse n°3 ; les valeurs moyennes mesurées sont de l'ordre de 200-400 Bq/l avec deux valeurs hautes aux alentours de 1000 Bq/l. Cependant, même si SD5 se situe à proximité de la fosse n°3, à ce jour, aucune corrélation directe n'a pu être établie entre la fosse n°3 et ce marquage.

Suivi environnemental

Le site des tranchées et des fosses de l'INB 56 fait l'objet d'un suivi annuel aussi bien au niveau des sols que des nappes sous-jacentes. Ce suivi montre une contamination des nappes et sols à proximité immédiate des installations (fosses et tranchées), mais à quelques centaines de mètres de celles-ci, ces contaminations deviennent très faibles, en limite de détection des appareils de mesure.

2.5.6 Caractérisation des rejets d'effluents liquides – composante chimique

Les effluents liquides produits par les diverses installations du Centre de Cadarache (effluents sanitaires et industriels incluant les distillats générés par l'INB 37 et l'INB 171) sont transférés vers les installations d'épuration du Centre (station d'épuration des effluents industriels et station d'épuration des effluents sanitaires). Après épuration, ces effluents sont rejetés en Durance.

De plus, la station de production d'eau potable génère des eaux issues du procédé (purgés d'ouvrages et eaux de décolmatage des filtres à sable) qui rejoignent le Ravin de la Bête.

L'ensemble de ces rejets est réglementé par l'arrêté préfectoral n°113-2006A du 25/09/2006.

Les valeurs limites fixées par l'arrêté préfectoral ont été retenues pour déterminer les caractéristiques physico-chimiques des effluents liquides rejetés. Elles sont exprimées en flux annuel sur la base d'un rejet supposé continu. L'exutoire du Ravin de la Bête étant la Durance, les études ont été réalisées dans le milieu récepteur de la Durance.

En complément de ces différentes valeurs ont été ajoutés les effluents faisant l'objet d'une mesure réelle en sortie des installations sur des petits volumes mais indétectables en sortie de site (rejet en Durance). Pour ces effluents, les flux annuels retenus sont pris égaux aux flux annuels maximum mesurés multipliés par un facteur 3.

Les caractéristiques physico-chimiques des effluents liquides rejetés figurent dans le tableau ci-après.

Rejets du :	Centre	Station de potabilisation
Débit rejet (m ³ /an)	8,21.10 ⁵	8,32.10 ⁴
Paramètre	kg.an⁻¹	kg.an⁻¹
Eléments figurant dans l'Arrêté Préfectoral n°113-2006A		
DBO ₅	25 550	-
DCO	8 2125	-
MES	29 200	53000
Azote global	25 550	-
Aluminium	1 825	-
Bore	365	-
Chlorures	164 250	-
Fer	1 825	4000
Fluorures	821	-
Hydrocarbures totaux	3 650	-
Phosphore total	8 212,5	-
Sulfates	57 4875	-
Zinc	1 642,5	-
Eléments Complémentaires		
Arsenic	0,0315	-
Cadmium	0,0086	-
Chrome	0,1062	-
Cuivre	0,9240	-
Etain	0,3120	-
Manganèse	0,1296	-
Mercure	0,0042	-
Nickel	0,1224	-
Plomb	0,9120	-

Caractéristiques physico-chimiques des effluents liquides (flux annuel, kg/an)

Les débits de rejet indiqués sont les débits minimum¹², conduisant aux concentrations maximales en aval du Centre.

La DBO₅, la DCO et les MES, paramètres communément analysés et réglementés, n'ont pas d'impact sanitaire évaluable. Ils ne sont donc pas pris en compte dans l'étude d'impact sanitaire.

L'azote est réparti de la façon suivante¹³ : 29 127 kg.an⁻¹ en nitrates (NO₃⁻), 2 555 kg.an⁻¹ en nitrites (NO₂⁻) et 17 885 kg.an⁻¹ d'azote kjeldhal, où 1 kg d'azote kjeldhal est assimilé à 1,29 kg d'ammonium (NH₄), soit 23 072 kg.an⁻¹.

Tout le flux de bore a été assimilé à de l'acide borique.

Dans un souci d'exhaustivité, le phosphore total est supposé présent en majeure partie sous forme de phosphates pour l'évaluation de l'impact sanitaire. Pour l'évaluation de l'impact environnemental, le flux de phosphore total a été assimilé à de l'orthophosphate, P₂O₅.

Les formes sous lesquelles se trouvent les hydrocarbures ne sont pas connues.

¹² Ces débits minimum ont été calculés sur la base des flux journaliers fixés par les arrêtés pour lesquels il a été considéré que la concentration maximale était rencontrée. Ceci est une approche conservative.

¹³ 1 kg d'azote total équivaut à 1,14 kg de nitrates, 0,1 kg de nitrites et 0,7 kg d'azote kjeldhal

2.5.7 Calcul d'impact des rejets d'effluents liquides sur l'environnement – composante chimique

Quelle que soit la substance étudiée, à l'exception du zinc, les concentrations ajoutées dans la Durance sont inférieures aux seuils de référence, notamment les normes de qualité environnementales (NQE) indiquées dans l'arrêté du 25 janvier 2010 modifié ainsi que les concentrations prévues sans effet (PNEC).

Les concentrations ajoutées par les rejets du site de Cadarache sont faibles, voire très faibles par rapport aux valeurs mesurées en amont du centre ; les concentrations calculées en aval du centre sont très proches des concentrations mesurées en amont.

Sachant que les taux de rejet de cette substance supposés dans cette étude sont bien supérieurs aux mesures réelles en sortie de site, l'apport du site peut être considéré comme négligeable par rapport aux concentrations relevées en amont.

Le régime torrentiel de la Durance ne permet pas l'établissement dans la durée de sédiments aquatiques, cette voie n'a donc pas été étudiée.

2.5.8 Incidence des rejets sur le milieu aquatique

Les calculs d'impact des rejets d'effluents chimiques sur l'environnement présentés dans le paragraphe précédent sont effectués avec les hypothèses les plus pénalisantes, à savoir un rejet permanent au maximum autorisé, avec systématiquement les conditions les plus défavorables de débit de la Durance.

Les résultats montrent que les concentrations ajoutées dans l'eau sont très faibles et en-dessous des normes de qualité environnementale pour la composante chimique.

Les résultats de la surveillance de l'environnement présentés dans le chapitre 1.9.2 et montrent que l'incidence des rejets du site de Cadarache est quasiment indécélable ; les différents paramètres mesurés sont quasiment identiques à l'amont et à l'aval du point de rejet en Durance et la plupart du temps inférieurs aux limite de quantification ou de détection.

Ces deux constatations permettent de conclure que les rejets liquides du site de Cadarache n'ont pas d'incidence significative sur le milieu aquatique.

2.5.9 Incidence des rejets des eaux de drainage

Aucun traitement n'est appliqué aux eaux pompées dans la nappe située sous le LEFCA et le fonctionnement des équipements n'est pas à l'origine d'eaux de nature différente des eaux pompées.

Le transfert des eaux de drainage n'a pas d'impact significatif sur les écoulements du Ravin de la Bête (augmentation de la hauteur d'eau d'une vingtaine de centimètres au maximum).

De plus, les eaux pompées dans la nappe mio-quaternaire sont de bonne qualité. Les matériaux en contact avec l'eau du forage sont inertes. L'eau pompée n'est pas chargée de cailloux mais uniquement de limons et dans des quantités très faibles.

La qualité physico-chimique des eaux pompées est bonne et ces eaux n'altèrent pas la qualité des eaux du Ravin de la Bête.

Ces eaux n'augmentent pas la turbidité des eaux du Ravin (voire la diminuent lors des épisodes de pluie).

Enfin, les eaux qui sont transférée dans le Ravin de la Bête, puis dans la Durance, n'entraînent pas de modification de la température de ces deux masses d'eau compte tenu du fait :

- qu'il s'agit d'eaux provenant de la nappe mio-quaternaire et donc potentiellement plus fraîches ;

- que les écoulements dans le Ravin sont (hors période de pluie) minimes (quand ils existent), entraînant une faible lame d'eau, ce qui favorise son réchauffement. Les eaux de rejet permettent plutôt de légèrement augmenter la lame d'eau et donc de diminuer son réchauffement ;
- que le volume d'eau qui arrive à la Durance est négligeable par rapport à son débit actuel. Par conséquent, l'eau provenant du Ravin est rapidement « mélangée » à celle de la Durance et ne modifie pas la température du cours d'eau.

Le débit maximum d'exhaure des puits de 380 m³/h pouvant être collecté par le Ravin de la Bête n'a pas d'impact significatif sur les écoulements en situation hydrologique « normale » ni même lors des crues importantes (compte tenu du ratio entre les eaux de pompage et les débits arrivant lors de ces événements hydrologiques). Les volumes d'eau du Ravin de la Bête déversés dans la Durance suite à la collecte des eaux de pompage des drains n'ont aucune incidence sur le régime des eaux de la rivière. Aucune mesure particulière n'est à mettre en place.

2.5.10 Incidence des rejets thermiques

Le RJH prélèvera de l'eau dans le canal de Provence qui passe en souterrain au-dessous du site de Cadarache. Cette eau ne servira qu'à refroidir le réacteur et ne fera l'objet d'aucune modification chimique ou radiologique.

Cette eau légèrement réchauffée sera rejetée dans le canal EDF qui passe en contrebas du site.

Des modélisations ont été effectuées afin d'étudier l'impact du mélange des eaux. Les résultats montrent que :

- la température moyenne du canal en régime permanent varie peu (+ 0,3°C en été et +1,4°C en hiver) ;
- dans tous les cas, l'homogénéisation de l'eau est très rapide, puisque l'écart de température entre la surface et le fond passe de +9°C au niveau du point de rejet à +0,4°C 100 m plus loin en été et de +18°C au niveau du pont de rejet à +2°C 100 m plus loin en hiver.



Ouvrage de rejet du RJH dans le canal EDF (à sec)

Par ailleurs, le mélange est complètement réalisé à la sortie de l'usine de Jouques (quelques kilomètres en aval du site de Cadarache) après passage dans les turbines.

Ces très faibles valeurs sont du même ordre que la variation quotidienne de la température du canal EDF au niveau de Cadarache (de l'ordre de 2°C en été) et l'échauffement naturel du canal en été (de l'ordre de 2°C en température moyenne entre Jouques et St Estève, soit 27 km).

Le transfert d'eau entre le canal de Provence et le canal EDF ne se traduira que par une légère différence de débits dans ces deux canaux artificiels. L'augmentation de débit dans le canal EDF ne se répercutera en aucune façon sur les volumes d'eau arrivant dans l'étang de Berre, ceux-ci étant réglementairement limités, les quantités excédentaires sont transférées dans la Durance.

L'échauffement de l'eau n'aura qu'une faible incidence (+1,4°C au maximum) et les eaux du canal EDF ne sont envoyées en Durance en fonctionnement normal qu'au niveau de Mallemort, soit 42 km en aval de Cadarache. Les échanges thermiques entre l'atmosphère et le canal sur cette distance tendent à annuler l'effet de l'augmentation de température due aux rejets du RJH.

2.5.11 Analyse de la compatibilité avec le SDAGE

La gestion des eaux du site de Cadarache s'inscrit dans un cadre réglementaire dont les principes sont définis par la loi sur l'eau du 3 janvier 1992 complétée par la Directive Cadre 2000/60/CE du Parlement Européen et du Conseil du 23/10/00, modifiée par la décision du Parlement Européen et du Conseil 2455/2001/CE du 20 novembre 2001.

Cette loi pose le principe que l'eau fait partie du patrimoine commun de la nation et que sa protection est d'intérêt général.

L'une des grandes innovations instituées par cette loi est l'utilisation de moyens en vue de la planification et de la gestion de la ressource en eau, dont le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE). Le SDAGE qui s'applique à la région de Cadarache est celui élaboré par le groupe de travail « Bassin Rhône-Méditerranée-Corse ».

2.6 Impact sur la commodité du voisinage

2.6.1 Bruits

Les résultats des mesures de bruit présentés au paragraphe 1.10.2 sont conformes à la réglementation et très faibles, du même ordre que le bruit de fond. La source de bruit principale à proximité du site de Cadarache est due à la circulation routière : les mesures de bruit à l'entrée du Centre de Cadarache ou au bord de la route départementale sont 15 à 20 dB plus élevées que celles réalisées à la limite du site de Cadarache, côté forêt.

L'incidence du bruit des installations du site de Cadarache peut donc être considéré comme non significative, d'autant plus que les premières habitations sont à plusieurs kilomètres.

Pour ce qui concerne les chantiers en cours susceptibles de produire des émissions sonores importantes (RJH et ITER), les nuisances sonores ont pour origine :

- la circulation de camions de transport de matériaux ;
- les engins comme les pelles hydrauliques, les grues ;
- les compresseurs et matériels pneumatiques ;
- l'émission de signaux sonores d'avertissement indispensables à la sécurité du chantier.

Ces nuisances sonores n'affecteront pas les riverains du fait de l'éloignement des premières habitations (Vinson-sur-Verdon à environ 3 km pour ITER et Saint-Paul-lez-Durance pour le RJH).

Par ailleurs, les dispositions du code de l'environnement (article R. 571-1 et suivants) concernant la lutte contre le bruit et de l'arrêté du 18 mars 2002 modifié, relatif aux émissions sonores dans l'environnement des matériels destinés à être utilisés à l'extérieur des bâtiments, sont et seront dûment respectées pour les matériels et engins de chantier.

2.6.2 Vibrations

Les installations du Centre de Cadarache ne sont pas source de vibrations. Il n'y a donc pas d'incidence.

Pour ce qui concerne les chantiers ITER et RJH, la démolition de blocs rocheux ou en béton (utilisation d'explosifs) et le compactage dynamique entraînent des vibrations localisées à proximité du chantier. Au vu de l'avancement des chantiers, celles-ci ne seront plus qu'épisodiques. Ces vibrations se rencontrent sur tous les chantiers de génie civil, l'impact sur les populations sera faible du fait de l'éloignement du chantier par rapport aux plus proches habitations.

2.6.3 Odeurs

De manière générale, les activités du site de Cadarache n'occasionnent pas de rejets de substances odoriférantes.

La station de traitement et d'épuration des eaux sanitaires est susceptible de générer quelques odeurs. Celle-ci se trouve à proximité de la clôture du Centre.

Aucune mauvaise odeur n'a été signalée par les riverains qui se trouvent à plusieurs kilomètres. On peut donc conclure à l'absence d'incidence.

2.6.4 Emissions lumineuses

Les activités du site de Cadarache rendent nécessaire un réseau d'éclairage sur une partie du site, fréquenté de jour comme de nuit.

En effet, les secteurs comme les entrées sécurisées, les parkings, les abords extérieurs des différents bâtiments sont éclairés dès le crépuscule pour des raisons de sécurité. Toutefois, à l'exception de l'entrée du Centre et d'ITER, ces éclairages sont peu visibles de l'extérieur du site, en raison de l'éloignement des bâtiments du domaine public et de la végétation.

Enfin l'éclairage ne perturbe pas les riverains, les premières habitations étant à plusieurs centaines de mètres des points d'éclairage.

2.6.5 Transports

Le chapitre 1.10.3.1 donne un aperçu de la circulation routière dans de région de Cadarache.

L'incidence du site de Cadarache est sensible sur les axes routiers à proximité, notamment la RD 952. Aux heures d'embauche et de débauche, le trafic est parfois ralenti au rond-point qui se trouve à l'entrée du Centre. De même le péage de l'autoroute de la sortie Saint-Paul-lez-Durance peut être saturé.

Cette situation est cependant fortement atténuée par :

- l'ouverture de plusieurs accès secondaires au Centre pendant les heures de pointe pour décongestionner l'entrée principale et l'augmentation du personnel en charge du contrôle des accès à l'entrée du Centre ;
- les transports en bus du personnel. Ceux-ci sont organisés par le CEA, mais ouverts à toutes les personnes disposant d'un badge d'accès au Centre de Cadarache ;
- les incitations au covoiturage, que ce soit par le Centre, le Pays d'Aix, les associations spécialisées ou encore les municipalités, telle Manosque, qui aménagent des parkings.

Ces mesures permettent de réguler le trafic et les bouchons sont rares. Mais la moindre perturbation, une distribution de tracts à l'entrée du Centre par exemple, suffit pour rompre ce délicat équilibre et le voisinage peut alors en subir les conséquences.

Le développement du chantier d'ITER augmente encore le trafic sur le RD 952 et sur l'autoroute. Néanmoins, les aménagements routiers réalisés, notamment le rond-point à l'entrée du chantier, permettent à la circulation de rester fluide et aucun ralentissement, hors circonstances exceptionnelles, n'est à déplorer. D'autre part, les personnes travaillant à ITER peuvent bénéficier des bus du Centre de Cadarache. Une desserte entre le Centre et ITER a été mise en place à cet effet.

Les risques de saturation sont une préoccupation partagée par les pouvoirs publics et toutes les entités présentes sur le site de Cadarache. Une très bonne concertation entre les parties prenantes permet de trouver des solutions pour limiter les désagréments. Le prochain défi à relever sera celui des transports des gros composants d'ITER. De nombreux aménagements ont été réalisés depuis Fos-sur-mer pour permettre leur passage.

2.7 Impact sur le climat

Le bilan carbone total de Cadarache représentait environ 34 915 tonnes équivalent CO₂ en 2013, réparties selon les grands postes suivants :

	Cadarache (t éq CO ₂)
Emissions directes de sources fixes de combustion	12 902
Emissions directes des sources mobiles à moteur thermique	565
Emissions directes fugitives	541
Emission directes des déchets verts compostés	0
Emissions indirectes liées à la production d'électricité	9 526
Emissions indirectes liées aux réseaux de chaleur	0
Emission indirectes liées à la gestion des déchets conventionnels	588
Emission indirectes liées à la gestion des déchets radioactifs	548
Emission indirectes liées aux déplacements professionnels	4 452
Emission indirectes liées aux déplacements domicile/travail	5 793
TOTAL DES POSTES D'EMISSIONS	34 915

A titre de comparaison, en PACA, les émissions de gaz à effet de serre sont d'environ 30 millions de tonnes équivalent CO₂.

2.8 Impact sur la faune et la flore

Cette évaluation, réalisée par la société If-Ecologie Conseil, consiste à identifier les effets directs et indirects, temporaires et permanents générés par le Centre de Cadarache sur les milieux naturels, la flore et la faune. Elle se fonde sur la confrontation entre les caractéristiques des activités du CEA et les spécificités écologiques de l'éco-complexe, ainsi que des zones sous influence du Centre comme la Durance (présence d'habitats naturels et d'espèces d'intérêt patrimonial, fonctionnalités des écosystèmes, ...).

En fonction des exigences écologiques des habitats naturels et des espèces, et de leur capacité de résilience (faculté de s'adapter aux perturbations de leur environnement), il s'agit de prévoir à court et moyen termes la réaction des différents éléments naturalistes en présence face aux changements apportés par les activités du CEA.

Les impacts sont classés selon une échelle à six niveaux de négligeable à très fort, par croisement entre le niveau d'enjeu écologique de l'élément considéré, déterminé lors de l'analyse naturaliste (cf. chapitre § 1.8), et l'intensité attendue de l'altération potentielle. Celle-ci est identifiée de la manière suivante, en tenant compte de la sensibilité aux perturbations et de la capacité de résilience de l'espèce, habitat naturel ou fonctionnalité écologique étudiés, selon une échelle à quatre niveaux :

- intensité forte : destruction ou altération importante conduisant à la disparition à court ou moyen terme de l'élément considéré ;
- intensité moyenne : perturbation ne conduisant pas à la disparition de l'élément considéré mais altérant sa répartition, sa densité et son état de conservation local ;
- intensité faible : altération ne remettant pas en cause le maintien local de l'élément considéré dans un bon état de conservation ;
- intensité négligeable : absence d'effet négatif constatable ou altération sans conséquence de l'élément du patrimoine naturel considéré.

Le niveau d'impact s'évalue ainsi grâce à la matrice ci-dessous :

Niveau d'impact		Enjeu écologique				
		Très fort	Fort	Assez fort	Moyen	Faible
Intensité de l'altération	Forte	Très fort	Fort	Assez fort	Moyen	Faible
	Moyenne	Fort	Assez fort	Moyen	Faible	Faible
	Faible	Assez fort	Moyen	Faible	Faible	Négligeable
	Négligeable	Négligeable	Négligeable	Négligeable	Négligeable	Négligeable

Par exemple, les principaux effets qui peuvent être attendus sont :

- la destruction par les travaux d'habitats naturels et de stations d'espèces végétales et animales ;
- la dégradation des milieux naturels et de leur attractivité pour la faune induite par les modifications environnementales engendrées par les projets ;
- le dérangement de la faune pendant les chantiers (bruit, présence humaine...) ;
- le risque de pollution de la terre et des eaux ;
- le développement d'espèces envahissantes ou opportunistes concurrençant la flore et la faune originelles ;
- le risque de destruction d'espèces animales et végétales par les activités liées aux opérations (écrasement ou collision avec les véhicules par exemple) ;
- la création et l'entretien de nouveaux habitats (milieux ouverts...) disponibles pour les cortèges floristiques et faunistiques qui leur sont liés...

Comme d'autres projets sont en cours aux abords du Centre de Cadarache, leurs impacts éventuels peuvent s'additionner à ceux des activités de Centre CEA et on évoque alors la notion d'impacts cumulés dont l'analyse est également conduite dans le présent chapitre.

En fonction du type et de l'intensité des impacts, des recommandations adaptées peuvent être proposées en vue d'atténuer les éventuelles conséquences négatives identifiées ; ces mesures peuvent être de natures diverses et suivent la démarche « Eviter, Réduire, Compenser » (ERC) :

- des **mesures d'évitement**, qui consistent à supprimer totalement la perturbation par une modification du projet : par exemple, l'adaptation des emprises d'un chantier protégeant une station d'espèce remarquable. La recherche de telles mesures est prioritaire puisque la conservation de l'existant est privilégiée par les services de l'Etat qui instruisent les dossiers d'étude d'impact, pour respecter les engagements nationaux de mettre un terme à l'érosion de la biodiversité ;
- des **mesures de réduction**, dont l'objet est de diminuer l'intensité de l'altération lorsque l'évitement n'est pas possible : par exemple, la mise en défens au sein d'une zone de chantier d'une partie de la population d'une espèce remarquable en vue de son maintien ;
- le cas échéant, si des impacts résiduels subsistent malgré les préconisations précédentes, des **mesures de compensation** doivent être instaurées. Il s'agit alors de rétablir un enjeu écologique au moins équivalent à proximité de la zone concernée et d'en assurer la préservation pendant plusieurs années. Par exemple, il peut s'agir de la recréation d'une mare devant être détruite.

Analyse de l'impact des projets d'aménagement et de démantèlement du Centre sur les milieux naturels, la flore et la faune

Depuis 2011, une vingtaine de projets d'aménagement ont fait l'objet d'une étude écologique ; ils génèrent une consommation d'espaces naturels ou semi-naturels d'une trentaine d'hectares, dont environ le tiers est ensuite restitué aux milieux naturels après les travaux.

Parmi les projets concernés :

- 11 correspondent à des créations d'installations : Installations Nucléaires de Base – INB (2), Installations Classées pour la Protection de l'Environnement – ICPE (3), bâtiments de bureaux (2), canalisations (2), plateforme solaire (1) et parking (1) ;
- 6 sont relatifs à des démantèlements d'INB ;
- 5 portent sur la modification d'installations existantes.

Les emprises les plus importantes sur les milieux naturels sont liées aux projets de création d'installations (environ 25 ha) ; celles induites par les démantèlements et les modifications d'installations sont en règle générale très réduites (moins de 2 ha pour chaque type de projet).

L'un des projets analysés, relatif au pompage d'une nappe souterraine et au rejet de l'eau dans le Ravin de la Bête, y implique une légère élévation du niveau d'eau. Néanmoins, la petite rivière qui s'y trouve accueille déjà les eaux pluviales du Centre de Cadarache et présente de grandes variations de niveau d'eau notamment lors des épisodes orageux.

Impact sur les habitats naturels

Plusieurs habitats naturels et semi-naturels se retrouvent sur les zones d'emprises de ces projets et peuvent être détruits ou altérés de manière permanente ou temporaire par les travaux. Il s'agit principalement de milieux perturbés (friches, zones rudérales...) autour des installations (bâtiments, voies de circulation...) existantes dont une partie se reconstitue généralement après les opérations.

Tous les habitats considérés sont bien représentés localement (ils couvrent plusieurs dizaines à plusieurs centaines d'hectares au sein de l'éco-complexe) ; parmi ceux-ci, trois sont néanmoins d'intérêt communautaire, bien que situés en dehors des zones Natura 2000 répertoriées :

- les « Parcours substeppiques de graminées et annuelles du *Thero-Brachypodietea* » (code Natura 2000 : 6220).
- les « Forêts à *Quercus ilex* et *Quercus rotundifolia* » (code Natura 2000 : 9340) ; Sur les espaces sous influence des projets, ces habitats se présentent sous forme dégradée (rudéralisation...) et seules de petites surfaces (moins de 1 ha au total) sont concernées grâce aux mesures d'atténuation mises en œuvre par le CEA (évitement les endroits écologiquement les plus riches et restriction des emprises portant sur ces habitats).
- les « Forêts-galeries à *Salix alba* et *Populus alba* » (code Natura 2000 : 92A0), installées notamment sur les berges du cours d'eau du Ravin de la Bête. L'élévation du niveau d'eau consécutive au rejet de l'eau pompée dans la nappe reste sans conséquence sur cet habitat.

En fonction des paramètres analysés, l'impact des projets d'aménagement et de démantèlement du Centre de Cadarache réunis sur la période 2011-2016 apparaît faible sur les habitats naturels et semi-naturels.

Impact sur les espèces végétales

Seules sont prises en compte les plantes présentant une contrainte réglementaire (protégées au niveau national ou régional et/ou inscrites à l'annexe IV de la directive « Habitats ») ou un intérêt patrimonial particulier (inscrites sur les listes rouges de la flore menacée, sur la liste des espèces déterminantes de ZNIEFF, à l'annexe II de la directive « Habitats », ou au moins assez rare en PACA) ; les espèces communes non protégées représentant de fait un faible enjeu écologique, il est considéré que, quelle que soit l'intensité de l'altération, l'impact sur elles est négligeable.

Les plantes d'intérêt patrimonial recensées dans le cadre des études écologiques relatives aux projets d'aménagement (Nigelle de France – *Nigella gallica*, Nonnée brune – *Nonea erecta*, Ophrys de Provence – *Ophrys provincialis*, Luzerne agglomérée – *Medicago sativa*

subsp. glomerata, Cynoglosse de Dioscoride – *Cynoglossum dioscoridis*, Téléphium d'Impérato – *Telephium imperati...*) sont toutes en dehors des emprises des chantiers considérés grâce aux mesures d'évitement de leurs stations instaurées par le CEA.

Par ailleurs, l'élévation du niveau d'eau dans le Ravin de la Bête résultant du rejet d'eau de pompage de nappe n'est pas suffisante pour altérer les stations d'Ophioglosse commun (*Ophioglossum vulgatum*) et de Laïche faux-souchet (*Carex pseudocyperus*) se développant sur les berges du cours d'eau.

Selon les éléments considérés, l'impact des projets d'aménagement et de démantèlement du Centre de Cadarache sur la période 2011-2016 est jugé négligeable sur les espèces végétales remarquables.

Impact sur les espèces animales

Seuls sont pris en compte les animaux présentant un intérêt patrimonial particulier (inscrits sur les listes rouges de la faune menacée, sur la liste des espèces déterminantes de ZNIEFF, à l'annexe II de la directive « Habitats » ou l'annexe I de la directive « Oiseaux », ou au moins assez communs en PACA) qu'ils soient protégés ou non ; les espèces communes représentant de fait un faible enjeu écologique, il est considéré que, quelle que soit l'intensité de la perturbation, l'impact sur elles est faible à négligeable.

Impacts sur les Oiseaux

La plupart des oiseaux d'intérêt patrimonial (Engoulevent d'Europe, Pic épeichette, Pipit rousseline, Rougequeue à front blanc...) ne sont pas perturbés par la réalisation des projets puisque le CEA adopte, le cas échéant, les mesures appropriées d'évitement ou de réduction des impacts (restriction des emprises portant sur les habitats naturels, respect de la période de reproduction pour les défrichements ...). Seuls quelques couples d'Alouette lulu, inscrite à l'annexe I de la directive « Oiseaux » mais commune en PACA, peuvent être dérangés mais se réinstallent dans la majorité des cas sur les zones après les travaux.

Au regard des paramètres pris en compte dans notre analyse, l'impact des projets d'aménagement et de démantèlement du Centre de Cadarache sur la période 2011-2016 se révèle faible sur les oiseaux.

Impacts sur les Mammifères

L'essentiel des perturbations sur les mammifères remarquables correspond à des altérations de petites surfaces de terrains de chasse globalement peu fréquentés par les chauves-souris : Minioptère de Schreibers, Murin de Capaccini, Molosse de Cestoni, Noctule de Leisler et Vespère de Savi. Ces chiroptères pourront continuer à utiliser les zones concernées après la réalisation des opérations.

L'élévation du niveau d'eau dans le Ravin de la Bête résultant du rejet d'eau de pompage de nappe n'est pas suffisante pour nuire au Castor d'Europe présent sur la partie aval du cours d'eau.

En fonction des caractéristiques examinées, l'impact des projets d'aménagement et de démantèlement du Centre de Cadarache sur la période 2011-2016 est considéré comme faible sur les mammifères en présence.

Impacts sur les Reptiles et les Amphibiens

Comme pour les autres groupes d'espèces, la mise en oeuvre de mesures d'atténuation (restriction des emprises portant sur les milieux naturels, pas de décapage des sols pendant les périodes sensibles...) des altérations potentielles sur les reptiles (Lézard ocellé, Psammodrome d'Edwards et Seps strié) et les amphibiens (Pélodyte ponctué) permet de réduire significativement les effets négatifs attendus pour les divers projets.

Cependant, pour certaines opérations, l'évitement n'est pas possible (du fait notamment de

contraintes géologiques d'implantation, de la présence d'autres installations...) et les perturbations demeurent élevées par endroits ; néanmoins, les surfaces et les populations concernées sont réduites et après instauration des mesures de compensation des impacts résiduels (création de gîtes, restauration et conservation d'habitats favorables...), l'impact est évalué comme faible à l'échelle de l'éco-complexe cadarachien.

En conséquence, comme :

- les espèces considérées sont bien représentées localement ;
- une partie des espaces est restituée aux milieux naturels après les travaux ;
- l'entretien des pourtours des installations favorise le développement et le maintien de friches et de pelouses sèches, habitats très appréciés par les reptiles ;

l'impact des projets d'aménagement et de démantèlement du Centre de Cadarache sur la période 2011-2016 est jugé faible sur les reptiles et les amphibiens selon les critères d'analyse exposés.

Impacts sur les Invertébrés

Les effets négatifs sur les invertébrés (Proserpine – *Zerynthia rumina*, Diane – *Zerynthia polyxena*, Zygène cendrée – *Zygaena rhadamanthus*, Arcyptère provençale – *Arcyptera kheili*, Grand Capricorne – *Cerambyx cerdo*...) se limitent à des altérations ponctuelles sur les habitats ou les individus grâce à la mise en œuvre de mesures d'évitement et de réduction (restriction des emprises portant sur leurs habitats, mise en défens des stations...) par le CEA lors des opérations.

Par ailleurs, l'élévation du niveau d'eau dans le Ravin de la Bête résultant du rejet d'eau de pompage de nappe n'est pas suffisante pour nuire à l'Agrion de Mercure (*Coenagrion mercuriale*), libellule présente sur la partie aval du cours d'eau.

Tout comme pour les reptiles, les espèces d'invertébrés considérées sont bien représentées dans le secteur, les surfaces perturbées sont réduites et une partie d'entre elles est ensuite restituée aux milieux naturels avec un entretien extensif qui leur est favorable ; l'impact des projets d'aménagement et de démantèlement du Centre de Cadarache examinés sur la période 2011-2016 en fonction des paramètres étudiés semble faible pour les invertébrés.

Impacts sur les fonctionnalités écologiques

Le maintien de fonctionnalités écologiques en bon état, notamment par la conservation des trames verte et bleue locales, est nécessaire au bon déroulement du cycle biologique des espèces (reproduction, alimentation, hibernation...) ; en permettant les déplacements des espèces animales par la préservation de corridors écologiques, il favorise également les échanges génétiques entre les différentes populations du secteur.

La trame bleue (cours d'eau) est très peu affectée par les projets du CEA ; en effet, hors rejets chimiques et/ou radiologiques dont l'analyse est assurée par le Maître d'ouvrage, seule l'élévation du niveau d'eau dans le Ravin de la Bête résultant du rejet d'eau de pompage de nappe peut avoir une influence sur les cours d'eau locaux, elle ne remet cependant pas en cause leur fonctionnalité et pourrait même l'améliorer en alimentant davantage en eau certains secteurs tout au long de l'année ce qui permet le développement d'espèces aquatiques.

Quelques hectares de boisements clairs déjà pour partie débroussaillés sont ou doivent être prochainement défrichés, mais les secteurs les plus âgés, accueillant des arbres remarquables ont été préservés. Par endroits, des ruptures liées à des infrastructures existantes peuvent se voir accentuées, mais comme cela concerne de petites surfaces et les principaux corridors étant conservés, la connectivité globale de la sous-trame boisée est maintenue puisque la zone est majoritairement forestière.

La sous-trame ouverte, composée principalement de friches et pelouses sèches, est bien

représentée dans le secteur, en particulier autour des installations et au bord des voies de circulation, là où les espaces sont entretenus pour la lutte contre les incendies. Ces milieux sont bien connectés entre eux et la réalisation des projets s'accompagne souvent de leur extension in situ.

L'impact des projets d'aménagement et de démantèlement du Centre de Cadarache sur la période 2011-2016 apparaît faible sur les fonctionnalités écologiques en présence, et en conséquence sur les éléments identifiés au Schéma Régional de Cohérence Ecologique, au regard des critères d'analyse.

Analyse des impacts cumulés

D'autres opérations sont en cours de développement à proximité, et leurs effets sur les milieux naturels, la flore et la faune pourraient s'additionner à ceux générés par la réalisation des projets d'aménagement et de démantèlement du Centre.

L'art. R122-5 du Code de l'Environnement impose l'analyse des effets cumulés des projets ayant fait l'objet d'une étude d'impact et pour lesquels l'avis de l'autorité environnementale a été rendu (avis disponibles sur le site internet de la DREAL PACA). Dans le cas présent, il s'agit des opérations relatives à :

- la centrale photovoltaïque au lieu-dit « Mal Hivert » à Saint-Paul-lez-Durance (2016) ;
- la centrale photovoltaïque au lieu-dit « Sainte Cartier » à Saint-Paul-lez-Durance (2016) ;
- la création d'un barreau d'accès à la zone du Pas de Menc à Vinon-sur-Verdon (2013).

Les projets examinés se situent dans un rayon d'environ 5 km autour du Centre de Cadarache et occupent des surfaces modérées : les deux centrales photovoltaïques totalisent 12 ha de garrigues, chênaies claires et pelouses sèches, alors que le barreau d'accès au Pas de Menc s'inscrit sur 12 ha de milieux agricoles dans la vallée alluviale du Verdon.

Les impacts identifiés pour ces projets portent sur la destruction ou l'altération d'habitats d'espèces remarquables : Lézard ocellé, Pie-grièche méridionale, Criquet hérisson...

Les conséquences des projets d'aménagement du Centre de Cadarache sur la période 2011-2016 sur les milieux naturels, la flore et la faune sont globalement faibles selon les paramètres analysés.

Une partie des formations végétales et des espèces concernées se retrouvent sur les sites des autres projets considérés, et comme elles sont bien représentées localement, les effets cumulés de ces opérations ne semblent pas de nature à altérer leur répartition dans le secteur..

En fonction des caractéristiques examinées, les effets ajoutés des projets d'aménagement et de démantèlement du Centre de Cadarache aux impacts cumulés des différentes opérations connues selon l'art. R122-5 du Code de l'Environnement sont estimés faibles sur les milieux naturels, la flore et la faune du secteur.

Par ailleurs, le chapitre 1.9.2 présente les résultats de la surveillance de l'environnement sur le milieu aquatique et le chapitre 1.9.3 sur le milieu terrestre. Ceux-ci permettent de conclure que les concentrations ajoutées par les rejets d'effluents liés aux activités du site de Cadarache sur la faune aquatique et la flore terrestre et aquatique ne sont quasiment pas décelables et ce depuis le début des activités du CEA.

D'autre part, les rejets des installations actuelles et futures vont peu évoluer par rapport à la situation actuelle. Enfin, les calculs d'impact des rejets au niveau des limites autorisées (très supérieures en moyenne annuelle aux rejets réels) donnent des résultats très faibles (§ 2.5.4, 2.5.5, 2.5.8 et 2.5.10).

Le bilan écologique présenté au chapitre 1.8 va dans le même sens. Les activités des prochaines années ne changeront pas significativement par rapport à celles qui sont menées aujourd'hui.

Tout ceci permet de conclure que l'incidence sur la faune et la flore des activités du site de Cadarache n'est pas significative.

2.9 Impact sur les productions agricoles

La non-interaction des activités du site de Cadarache avec le milieu agricole et leur incidence non significative sur la faune et la flore permettent de conclure à l'absence d'impact sur les productions agricoles.

2.10 Impact sur les paysages

Sur le Centre de Cadarache, il n'est pas prévu de nouvelles constructions importantes dans les années à venir, l'impact sur le paysage sera donc inchangé.

D'un point de vue architectural, les installations ne nuisent pas à la préservation du caractère du site. En effet, il a été recherché à la construction des installations la meilleure intégration possible dans le site tout en tenant compte des contraintes techniques propres aux installations : dimensions et proportions des bâtiments, préservation du relief existant, déboisement minimum à la construction, voire reboisement ultérieur.

Pour ce qui concerne ITER, on notera la présence sur la zone d'implantation :

- de matériels et d'engins de construction ;
- de déchets de chantier ;
- d'excavations.

Le site d'ITER fait partie de la forêt domaniale de Cadarache. Cette forêt, gérée par l'ONF, appartient à un espace boisé beaucoup plus vaste, qui s'étend sur une partie du territoire des communes de Saint-Paul-Lez-Durance, Vinon-sur-Verdon et Ginasservis.

Les installations d'ITER occupent une superficie d'environ 110 hectares, dont :

- environ 40 hectares pour l'implantation de la machine ;
- environ 50 hectares pour les bâtiments annexes, le poste électrique, les bassins d'épuration et de contrôle des effluents ;
- environ 20 hectares pour la gestion des matériaux issus des opérations de terrassement (stockage ou élimination suivant l'opération choisie).

Les bâtiments d'ITER seront conçus pour s'intégrer le mieux possible dans le paysage. Seuls les espaces strictement nécessaires à la construction des bâtiments, à la manutention des équipements et à la protection contre l'incendie seront déboisés.

Haut de 70 mètres, dont environ 15 mètres enterrés et 55 mètres environ au-dessus du niveau du sol, le bâtiment qui abritera le Tokamak sera partiellement visible depuis certains quartiers de la commune de Vinon-sur-Verdon. Pour limiter son impact visuel, un soin particulier sera apporté au traitement de ses façades, tant par le choix des matériaux que par celui des textures et des couleurs.

En 2003, le CEA a lancé un concours d'architectes pour les bâtiments annexes, à savoir principalement le bâtiment de bureaux, le restaurant d'entreprise et le bâtiment médical et de secours. Après un appel public, quatre architectes ou groupements d'architectes ont été retenus et ont pu concourir. Le jury du concours, composé d'un architecte indépendant, d'un représentant du CEA et d'un représentant de la Commission européenne, s'est réuni début 2003 mais n'avait pas définitivement statué.

En 2007, un nouveau concours d'architectes a été lancé. Le cahier des charges établi pour ce concours sur esquisses incluait des spécifications environnementales conformes à la démarche haute qualité environnementale (HQE). Les cibles privilégiées sont : l'intégration paysagère, un chantier à faibles nuisances, la gestion de l'énergie, l'entretien et la maintenance et le confort hygrothermique des locaux. Le jury, constitué de représentants des collectivités territoriales, d'un représentant du CEA, de la Commission européenne et d'ITER, et d'architectes indépendants, s'est réuni le 25 octobre 2007 et a retenu le projet présenté par le groupement Ricciotti-Bonhomme et Trouvin-CAP Ingelec. Le projet est caractérisé par la densité des bâtiments, ce qui limite la consommation de foncier (donc le défrichement) et par le recours aux solutions d'économie d'énergie (capteurs photovoltaïques, patios, etc.).

2.11 Impact sur le patrimoine

Du fait de l'éloignement du site de Cadarache des premiers monuments, bâtiments et sites remarquables (cf. § 1.10.5), on peut affirmer l'absence d'impact des activités du site de Cadarache sur le patrimoine extérieur.

Les monuments historiques classés les plus proches sont à 6 km, il s'agit de la Chapelle de la Madeleine (cf. § 1.10.5.4) et du Pont Suspendu de Mirabeau (cf. 1.10.5.3). Le site de Cadarache est situé en dehors des rayons de protection de 500 mètres affectés à chacun de ces bâtiments.

Pour ce qui concerne le patrimoine intérieur du site, le CEA apporte un soin particulier à sa préservation. Le bon entretien des bâtiments remarquables, notamment le château de Cadarache qui a été restauré par CEA, l'atteste (cf. § 1.10.5.1).

2.12 Impact sur la protection des biens matériels et la sécurité publique

Le fonctionnement normal des installations du site de Cadarache n'a aucun impact sur la sécurité publique, ni sur la protection des biens matériels.

Cette absence d'impact est une des préoccupations majeures du personnel du Centre de Cadarache. Les études de maîtrise des risques de chacune des installations démontrent que les risques sont acceptables, qu'ils soient nucléaires ou classiques. Pour chacun d'eux, les mesures de limitation des conséquences sont étudiées.

L'étude de maîtrise des risques d'une installation figure dans le dossier d'enquête publique pour la création de l'installation ou en cas de modification importante ou de démantèlement.

D'autre part un plan d'urgence interne et un plan particulier d'intervention ont été définis en concertation avec les pouvoirs publics. Ces plans ont pour objectif de limiter les conséquences d'un accident qui pourrait subvenir malgré tout sur une des installations du Centre.

2.13 Impact socio-économique

2.13.1 Impact du Centre de Cadarache

Le Centre de Cadarache assure en moyenne un emploi statutaire à plus de 3 000 personnes et irrigue les entreprises régionales d'un montant moyen annuel d'environ 200 millions d'euros¹⁴.

Sur le Centre travaillent tous les jours plus de 5 000 personnes. Cadarache représente un pôle d'emploi très important pour la région. En 2013, il a été évalué que l'activité de la plateforme Cadarache (hors ITER) permettait la création (ou le maintien) de près de 1 500 emplois dits « induits » en région PACA, et que ses achats généraient la création (ou le maintien) de plus de 3 000 emplois dits « indirects », dont la près de la moitié en région PACA. Soit si l'on prend en compte les emplois dits « directs » valorisés à près de 3 500, plus de 8 000 emplois sont ainsi créés et/ou maintenus par la présence du Centre, dont environ 6 500 en PACA.

2.13.2 Zoom sur l'impact du CEA-Cadarache

Des études précises ont été réalisées par le CEA pour mieux connaître la typologie des emplois, la localisation géographique de ses salariés, ainsi que pour les emplois induits et indirects. Bien que cette étude soit limitée au CEA, elle présente cependant de l'intérêt, car le CEA à lui seul représente environ les deux tiers de l'activité économique du Centre.

Le CEA sur le Centre de Cadarache représente de l'ordre de 2 100 salariés statutaires et un flux financier annuel de 315 millions d'euros (88 millions d'euros de salaires et 227 millions d'euros de commandes payées), dont 217 millions d'euros en Région PACA (soit 70 % du total, déclinés avec 97 % pour les salaires nets, soit 85 millions d'euros et 58 % pour les commandes, soit 132 millions d'euros €).

Si l'on doit résumer les flux qui résultent de l'activité du CEA/CADARACHE, nous avons :

- 1 000 emplois indirects et stabilisés par an via les salaires nets versés, dont la quasi-totalité (97%) est en PACA ;
- 2 000 emplois induits et stabilisés par an via les commandes payées aux fournisseurs ; dont plus de 30 % sont dans l'innovation et plus de 17 % concernent les PME ; plus d'un emploi sur deux (56 %) est en PACA ;
- 100 millions d'euros de richesse induite par an au sein des Entreprises, dont près de 50 % dans les secteurs innovants ; 20 % dans les PME et 58 % impactent l'économie régionale en PACA ;
- dont 12 millions d'euros de recherche et développement (R&D) induite par an, 70 % dans les secteurs les plus innovants (énergies, matériels scientifiques, informatiques, etc.) ; 25 % au sein des PME et 49 % en PACA.

Les emplois indirects générés par les salaires nets du CEA sont détaillés dans le tableau suivant.

¹⁴ Les chiffres donnés dans ce chapitre sont des moyennes effectuées sur la période 2004-2010.

Total (1 016 Emplois)		PACA (998 Emplois)	
Répartition par région	%	Répartition par département	%
PACA	97 %	Bouches du Rhône	38 %
Ile de France	1 %	Alpes de Haute Provence	30 %
Rhône-Alpes	1 %	Vaucluse	23 %
Languedoc Roussillon	1 %	Var	9 %

Répartition géographique des emplois indirects

Les emplois induits par l'activité du CEA-Cadarache sont détaillés dans le tableau suivant

Total (2 000 Emplois)		PACA (1 120 Emplois)	
Répartition par région	%	Répartition par département	%
PACA	56 %	Bouches du Rhône	83 %
Ile de France	23 %	Vaucluse	8 %
Rhône-Alpes	11 %	Alpes de Haute Provence	6 %
Languedoc Roussillon	6 %	Var	2 %
Basse Normandie	1 %	Hautes Alpes & Alpes Maritimes	1 %
Centre	1 %	-	
Hors France	2 %		

Répartition géographique des emplois induits

La typologie des emplois induits se répartit à peu près à égalité entre l'innovation (35%), le support logistique (34%) et les bâtiments et travaux (31%).

La richesse induite par les commandes du CEA est déclinée géographiquement dans le tableau suivant.

Total (100 M€)		PACA (58 M€)	
Répartition par région	%	Répartition par département	%
PACA	58 %	Bouches du Rhône	82 %
Ile de France	21 %	Vaucluse	8 %
Rhône-Alpes	11 %	Alpes de Haute Provence	5 %
Languedoc Roussillon	7 %	Var	2 %
Basse Normandie	1 %	Alpes Maritimes	2 %
Hors France	2 %	Hautes Alpes	1 %

2.13.3 Impact d'ITER

Plus de 5 milliards d'euros vont être investis pour la construction d'ITER (équipements et bâtiments, recherche et développement, personnel). La contribution directe de la France à la construction d'ITER s'établit à 735 millions d'euros parmi lesquels 467 millions d'euros seront assurés par les différentes collectivités territoriales de la région Provence-Alpes-Côte-D'azur et le reste par l'État.

Les retombées économiques pour la région PACA sont multiples et diverses :

- marchés directs d'ITER par le biais d'appels d'offres européens auxquels les entreprises locales pourront accéder ;
- marchés passés par les partenaires et fournisseurs nationaux et étrangers d'ITER, nécessitant une sous-traitance auprès d'entreprises locales, par exemple pour les travaux d'installation, les essais et les mises en service pour des équipements fournis en nature ;
- impacts induits sur l'économie locale liés à la dépense des salaires des personnels affectés au site, des personnels relevant directement d'ITER, des fournisseurs et des sous-traitants.

Deux études des impacts socio-économiques de l'installation ITER, notamment pendant sa construction, ont été réalisées par la mission d'expertise économique et financière du département des Bouches-du-Rhône et par l'Institut d'économie publique de Marseille et conduisent aux estimations suivantes :

- pendant la phase de construction, 500 emplois directs et 1 400 emplois indirects devraient être créés dans la région Provence Alpes Côte d'Azur ;
- ITER et son personnel devraient dépenser dans la région 100 millions d'euros par an pendant les 10 ans de construction.

En phase d'exploitation, il est prévu que l'installation ITER emploie environ 1 000 personnes, dont 600 ingénieurs, cadres, techniciens et employés pour le fonctionnement et la maintenance et 400 scientifiques.

Dans la perspective de l'implantation de l'installation ITER en Provence, les acteurs régionaux se sont mobilisés pour bâtir une offre régionale en termes d'accueil, de logement, d'éducation, de développement des zones d'activité économique et d'aménagement.

En termes de logement, les mesures envisagées en concertation avec les communes environnantes et qui prennent en compte les besoins existants sont les suivantes :

- création de zones d'aménagement différé avec contrôle de la dérive des prix des terrains ;
- réhabilitation de logements vacants ;
- programmation de projets immobiliers à vocation locative dans les communes proches de Cadarache ;
- accès aux infrastructures touristiques sous-utilisées hors de la période estivale.

En termes d'éducation, une école publique internationale a été créée à Manosque. À terme, elle rassemblera environ 1 400 élèves depuis la maternelle jusqu'au bac. Ouverte aux enfants des résidents locaux et étrangers, qu'ils soient employés par ITER ou non, elle offre six sections linguistiques (Allemand, Anglais, Espagnol, Italien, Chinois et Japonais).

2.13.4 Le pôle Capenergies

Créé à l'origine en régions Provence-Alpes-Côte d'Azur et Corse, le pôle de compétitivité Capenergies « énergies non génératrices de gaz à effet de serre » rassemble aujourd'hui 400 acteurs de l'industrie, de la recherche et de la formation des régions Provence-Alpes-Côte d'Azur, Corse, Guadeloupe, Réunion et de la Principauté de Monaco.

Il intervient dans les domaines énergétiques suivants : la maîtrise de la demande en énergie, le solaire, l'éolien, l'hydraulique et les énergies marines, la géothermie, la biomasse et les bioénergies, l'hydrogène et le stockage de l'énergie, le couplage et l'intégration des systèmes énergétiques, la fission et la fusion de l'atome.

Capenergies s'est positionné dès son origine sur le développement et le déploiement de systèmes énergétiques permettant de fournir des solutions concrètes au remplacement des énergies fossiles.

Le CEA est un des membres porteurs de Capenergies, les deux autres étant EDF et l'Agence de développement économique de la Corse.

ITER est aussi l'un des projets du pôle de compétitivité de la région PACA.

Le pôle de compétitivité, qui regroupe les acteurs régionaux de la formation, de la recherche et de l'industrie est potentiellement porteur d'un développement économique évalué à 20 000 emplois. Cette reconnaissance nationale et internationale de la région PACA dans le

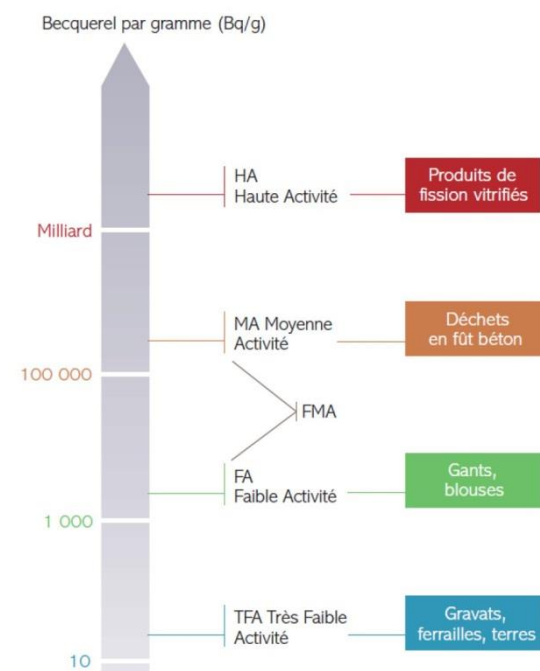
domaine de l'énergie constitue un levier de développement important dont les conséquences pourraient concerner d'autres domaines d'activité (tourisme, bâtiment, ...) et être génératrices de nouvelles synergies.

2.14 Les déchets radioactifs

2.14.1 Classification des déchets

Les déchets et effluents radioactifs produits ou traités dans le Centre de Cadarache sont classés, en fonction de leur activité et des caractéristiques (période en particulier) des radioéléments prépondérants contenus, de façon à entrer dans des filières de traitement en vue d'une destination finale : entreposage sur site ou stockage définitif par l'ANDRA des déchets solides ultimes résultants des traitements.

La figure suivante présente les ordres de grandeur de la radioactivité des différents types de déchets.



Classification des déchets radioactifs en fonction de leur radioactivité

Les déchets radioactifs sont également classés selon leur durée de vie. Les déchets « à vie courte » ont une période radioactive de 30 ans au maximum. Ceci signifie que la moitié de la radioactivité aura disparu en moins de 30 ans et qu'il n'en subsistera plus qu'un millième au bout de 300 ans.

2.14.1.1 Les déchets solides :

Pour les déchets solides on distingue :

- les déchets dits de très faible activité (TFA) ; ce sont les déchets nucléaires dont l'activité est suffisamment faible pour constituer des lots répondant aux spécifications d'acceptation du Centre de stockage dédié (ANDRA/CIRES¹⁵) ; ils sont triés selon les catégories ANDRA (matériaux inertes, déchets métalliques ou non métalliques, déchets dangereux) et conditionnés, selon leur nature et leurs dimensions, dans différents contenants agréés (« big bags », fûts, casiers ou conteneurs métalliques...) ;

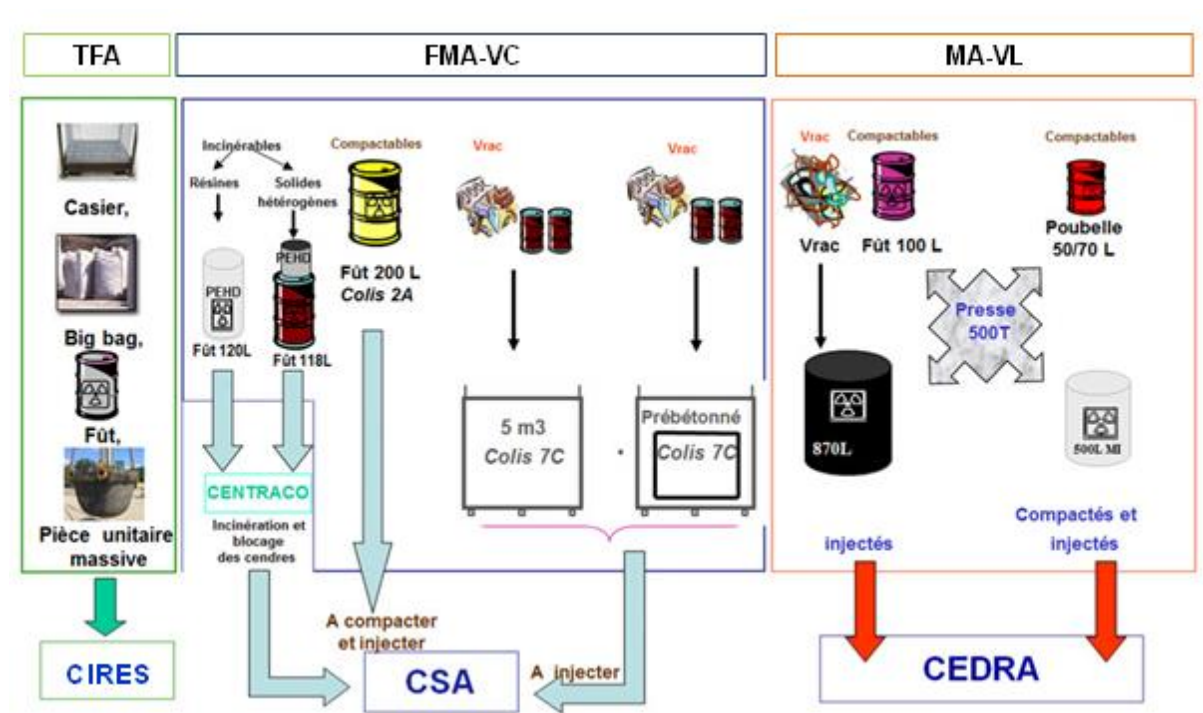
- les déchets de faible et moyenne activité à vie courte (FMA ou FA/MA) : dans cette catégorie on trouve les déchets incinérables acceptables à l'usine CENTRACO et ceux acceptables par le Centre de stockage de l'Aube (ANDRA/CSA¹⁶) ; leur radioactivité est due principalement à des radioéléments à vie courte (émetteurs bêta gamma) mais ils peuvent contenir, en faible proportion, des éléments à vie longue (émetteurs alpha) ; ils sont classés en fonction de leur nature physico-chimique et de leurs dimensions en plusieurs catégories selon la filière de traitement dans les catégories suivantes :
 - déchets incinérables à CENTRACO ; ce sont des déchets solides hétérogènes et des résines échangeuses d'ions ;
 - déchets compactables (compactage/conditionnement au CSA ANDRA) ;

¹⁵ CIRCS : Centre Industriel de Regroupement, d'Entreposage et de Stockage. Nouveau nom du CSTFA.

¹⁶ CSA : Centre de Stockage de l'Aube. Nouveau nom du CSFMA.

- déchets en vrac (conditionnement par injection au CSA ANDRA) ; il s'agit essentiellement de déchets volumineux ou dont certaines caractéristiques ne permettent pas de les conditionner en colis compactables.
- les déchets de moyenne activité à vie longue (MAVL), répartis en :
 - déchets FI, faiblement irradiants, compactables (compactés puis conditionnés en fûts, eux-mêmes conditionnés en conteneurs) ou en vrac (découpés puis conditionnés en conteneurs sous enveloppe vinyle) ;
 - les déchets MI, moyennement irradiants (conditionnés en fûts eux-mêmes conditionnés en conteneurs métalliques).

Ces colis sont entreposés dans l'INB 164 CEDRA dans l'attente de l'ouverture du Centre de stockage définitif.



Filières de traitement des déchets solides radioactifs à Cadarache

2.14.1.2 Les déchets liquides

Les déchets liquides aqueux radioactifs (composés très majoritairement d'eau) produits par les installations sont classés en deux catégories selon le type de radioactivité qu'ils contiennent :

- Effluents β - γ : ils sont transférés en camion-citerne depuis les cuves actives des producteurs ou en bonbonnes pour être traités par évaporation à AGATE ; les résidus (incorporés à du ciment pour en faire des déchets solides) générés par le traitement sont des déchets de catégorie FMA. Depuis le 30 juin 2009, ces résidus ne peuvent plus être traités à Cadarache et font l'objet de demandes de prise en charge à la STEL¹⁷ du Centre de Marcoule.

¹⁷ STEL : Station de traitement des effluents liquides.

- Effluents α : ils sont soit envoyés en camions-citernes directement des installations pour traitement par précipitation-filtration à la STEL de Marcoule, soit transférés en bonbonnes vers une cuve active de l'ICPE 312 pour regroupement avant envoi à la STEL de Marcoule.
- Les effluents dont l'activité serait supérieure aux limites d'admissibilité à AGATE et à la STEL de Marcoule sont classés en HA (haute activité) ; ils doivent être transférés dans une installation extérieure au CEA/Cadarache pour leur traitement.

Les déchets liquides radioactifs non aqueux sont en quantité faible et conditionnés en bonbonnes ou en fûts ; la catégorie principale est celle des liquides organiques radioactifs pour laquelle il existe une filière spécifique d'incinération à CENTRACO pour les liquides de faible activité.

Un traitement dans l'installation DELOS de MARCOULE est prévu pour les liquides organiques n'entrant pas dans les spécifications de CENTRACO.

2.14.2 Origine des déchets

2.14.2.1 Déchets TFA

La nature des déchets constituant les colis TFA est la suivante :

- résines échangeuses d'ions ;
- poussières métalliques ;
- matières cellulosiques (cotons et tissus, ...) ;
- matières plastiques et caoutchouc ;
- matériaux d'isolation : laine de verre, laine de roche ;
- béryllium ;
- bois ;
- déchets métalliques ferreux ;
- déchets métalliques non ferreux (plomb, cuivre, aluminium ...) ;
- filtres de ventilation ;
- graphite ;
- gravats ;
- verrerie, récipients divers de laboratoires ;
- terres ;
- boues de décantation.

Ils sont conditionnés en :

- caisses et conteneurs de 1 m³ (122) ou 2 m³ (118) ;
- big bags (369) ;
- fûts de 200 l (74) ;
- citernes de boues (21) ;
- pièces massives non conditionnées ou sous vinyle (2).

Les chiffres entre parenthèses donnent les quantités expédiées par les producteurs en 2008. La totalité de ces déchets représente un volume de 1 165 m³, soit un peu plus de 700 tonnes.

2.14.2.2 Déchets FMA-VC

Les principales natures des déchets constituant les colis FMA sont les suivantes :

- résines échangeuses d'ions ;
- matières cellulosiques (cotons et tissus, ...) ;
- matières plastiques et caoutchouc ;
- alumine, silice, laine de verre ;
- bois ;
- déchets ferreux entiers ou en morceaux ;
- déchets métalliques non ferreux entiers ou en morceaux ;
- filtres de ventilation ;
- graphite ;
- gravats ;
- plomb ;
- boues déshydratées ;
- filtres aspirateurs mobiles de chantier ;
- filtres de circuit d'eau ;
- pièces massives non compactables ;
- pièges à iode ;
- béryllium ;
- terres ;
- verrerie, récipients divers de laboratoire...

Les déchets FMA sont conditionnés en :

- fûts de 118 litres métalliques (19) pour les incinérables, destinés à CENTRACO,
- fûts de 200 litres jaunes (1712), destinés à être compactés au CSFMA,
- colis de 870 l (27)
- vrac sous vinyle (378),
- paniers (95),
- caissons de 5 m³ (60) pour le conditionnement des déchets vrac destinés au CSFMA.

La production de déchets FMA-VC de l'année 2008 sur le Centre de Cadarache représente un volume total de 624 m³ pour un poids de 215 tonnes.

2.14.2.3 Déchets MAVL

La nature des déchets constituant les colis MAVL est la suivante :

- alumine, silice, laine de verre ;
- déchets ferreux entiers ou en morceaux ;
- déchets métalliques non ferreux entiers ou en morceaux ;
- filtres aspirateurs mobiles de chantier ;
- filtres de ventilation ;
- filtres de circuit d'eau ;
- graphite ;
- gravats ;
- boues de décantation, filtration, centrifugation ;
- bois ;
- cendres d'incinération ;
- matières plastiques et caoutchouc ;
- matières cellulosiques (coton et tissus, ...) ;
- pièces massives non compactables ;
- pièges à iode ;
- terres ;
- verrerie, récipients, déchets divers de laboratoire ;
- plomb ;
- matières filtrantes (diatomées,...).

Les déchets MAVL sont conditionnés en emballages primaires :

- fûts de 100 litres violets,
- vrac sous vinyle,
- fûts de 50 à 70 litres.

Les colis résultant des traitements dans les installations dédiées de Cadarache (ITD : INB 37 et ICPE 312) sont :

- colis de 870 l, à partir des déchets vrac ou après compactage des fûts de 100 l violets,
- colis 500 l injectés, après compactage des fûts de 50 à 70 l.

La production de déchets MAVL de l'année 2008 sur le Centre de Cadarache représente un volume total de 102 m³ pour un poids de 44 tonnes.

2.14.3 Déchets entreposés

Sur les différentes installations du Centre sont entreposés des déchets en attente d'exutoire, principalement le stockage profond qui relève de la loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs.

Ces déchets se trouvent dans des lieux adaptés à l'entreposage, dont la sûreté et l'intégrité sont vérifiés par l'Autorité de sûreté nucléaire, à qui un bilan est régulièrement adressé.

Un inventaire de ces déchets entreposés est réalisé périodiquement et communiqué à l'ANDRA au titre de sa mission de recensement de l'ensemble des matières et des déchets radioactifs présents sur le territoire national.

Le dernier état publié par l'ANDRA (<http://www.andra.fr/inventaire2012/#/accueil/>) date de 2012. L'édition 2012 de l'inventaire national présente les déchets existants au 31 décembre 2010, sur la base des déclarations de chaque détenteur, ainsi que des prévisions sur les quantités de déchets attendues d'ici 2020 et 2030. L'extrait qui concerne les déchets de Cadarache est reproduit en annexe 7.

2.14.4 Gestion des déchets

La gestion des déchets solides est basée sur la notion de zones dans une installation nucléaire. Ces zones sont définies comme « conventionnelles », si elles n'ont pas été en contact avec la radioactivité (zones de bureaux par exemple) ou comme « nucléaires » si elles sont susceptibles d'avoir été en contact avec la radioactivité. Dans le premier cas, les déchets relèvent d'une gestion de déchets classiques (DIB, DID, etc.), et dans le second de la gestion spécifique des déchets radioactifs. Des déchets issus des zones nucléaires ne peuvent être stockés que dans des centres de stockage de déchets radioactifs, même si aucune radioactivité ajoutée n'a pu être mesurée.

La gestion des déchets radioactifs repose sur la connaissance de leur nature physico-chimique et des activités contenues.

Elle commence chez le producteur par des actions de tri et de conditionnement primaire.

Les principales dispositions à respecter par le producteur sont les suivantes :

- connaissance la meilleure possible de la nature et de l'activité du déchet et de son conditionnement primaire selon les spécifications. La méthode recommandée est d'effectuer un tri poussé à la production ;
- description détaillée des caractéristiques des déchets produits au moyen d'une fiche suiveuse, carte d'identité du colis qui engage la responsabilité du producteur. La traçabilité repose en particulier sur cette fiche suiveuse ;
- garantie du respect par le producteur des différentes règles techniques et administratives décrites dans les spécifications de prise en charge des déchets.

Les informations principales figurant sur la fiche suiveuse du colis sont les caractéristiques physico-chimiques et radiologiques du déchet, le producteur, le conditionnement primaire avec indication du volume et de la masse, le débit de dose, etc.

La gestion des déchets s'effectue à l'aide d'un système informatique, qui assure la traçabilité des déchets radioactifs depuis leur production dans les différents laboratoires, en passant par leur traitement, jusqu'à leur entreposage ou leur stockage.

2.14.5 Destination des déchets

La figure ci-après présente la classification des déchets radioactifs en fonction de leur mode de gestion.

		Déchets dits à vie très courte contenant des radioéléments de période < 100 jours	Déchets dits à vie courte dont la radioactivité provient principalement des radioéléments de période ≤ 31 ans	Déchets dits à vie longue contenant majoritairement des radioéléments de période > 31 ans
Centaines Bq/g	Très faible activité (TFA)	Gestion par décroissance radioactive sur le site de production	Recyclage ou stockage dédié en surface (installation de stockage du centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage de l'Aube)	
Millions Bq/g	Faible activité (FA)	puis élimination dans les filières de stockage dédiées aux déchets conventionnels	Stockage de surface (centre de stockage des déchets de l'Aube)	Stockage à faible profondeur (à l'étude dans le cadre de la loi du 28 juin 2006)
Milliards Bq/g	Moyenne activité (MA)			
	Haute activité (HA)	Non applicable ¹	Stockage en couche géologique profonde (en projet dans le cadre de la loi du 28 juin 2006)	

Principes de classification et filières de gestion des déchets radioactifs (Source : PNGMDR 2013-2015)

Les déchets à vie très courte sont principalement des déchets hospitaliers (le site de Cadarache n'est pas concerné par ce type de déchets) contenant des radionucléides à vie très courte (dont la période radioactive est inférieure à 100 jours) utilisés à des fins diagnostique ou thérapeutique. En raison de leur durée de vie très courte, ces déchets sont entreposés sur place, de quelques jours à quelques mois, temps suffisant pour leur décroissance radioactive. Ils sont ensuite éliminés dans des filières de déchets classiques.

A ce jour, deux centres de stockage sont opérationnels :

- le Centre de stockage FMA (CSA) en surface de l'Aube pour les déchets FMA-VC ;
- le Centre de stockage TFA (CIRES) en surface de l'Aube pour les déchets TFA.

Il existe également l'usine CENTRACO qui traite certains déchets de très faible, faible et moyenne activités (TFA, FMA) qui peuvent être :

- des objets métalliques, issus de la maintenance en zone contrôlée et du démantèlement nucléaire ;
- des déchets combustibles, principalement des gants et combinaisons de travail ;
- des effluents liquides tels que les solutions de lavage, les huiles, les solvants ; ainsi que des résines et des boues.

CENTRACO est composée de deux unités principales qui traitent les déchets selon leur nature :

- l'unité de fusion pour les métaux ;
- l'unité d'incinération pour les combustibles et les effluents.

Les résidus issus de chaque unité sont mêlés à une matrice puis conditionnés. Le volume final des déchets est ainsi réduit d'un facteur de 10 à 17.

Les déchets produits sur le Centre de Cadarache sont expédiés dans les Centres de stockage ou à CENTRACO après conditionnement et contrôle, accompagnés des informations de traçabilité pour chaque colis.

2.14.6 Analyse de la compatibilité avec le PNGMDR

Les matières et les déchets radioactifs doivent être gérés de façon durable, dans le respect de la protection de la santé des personnes, de la sécurité et de l'environnement.

Le cadre de gestion des matières et des déchets radioactifs est défini par la loi de programme n° 2006-739 du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs.

Cette loi stipule que la gestion de ces matières et déchets radioactifs doit respecter quatre principes fondamentaux :

- ✖ protection de la santé des personnes, de la sécurité et de l'environnement ;
- ✖ réduction de la quantité et de la nocivité des déchets radioactifs ;
- ✖ prévention ou limitation des charges qui seront supportées par les générations futures ;
- ✖ principe producteur-payeur similaire au principe pollueur-payeur qui prévaut en droit de l'environnement.

Le Plan National de Gestion des Matières et Déchets Radioactifs (PNGMDR) est un des outils pour mettre en œuvre ces principes. L'article 6 de la loi du 28 juin 2006 en définit les objectifs : dresser un bilan régulier de la politique de gestion des substances radioactives, évaluer les besoins nouveaux et déterminer les objectifs à atteindre à l'avenir, notamment en termes d'études et de recherches.

L'édition 2013-2015 du plan constitue la troisième édition du PNGMDR, adoptée par l'Autorité de Sûreté Nucléaire et la Direction Générale de l'Energie et du Climat (DGECE) du Ministère de l'environnement. Elle poursuit et étend les actions engagées dans la précédente version, en s'appuyant notamment sur l'Inventaire national des matières et des déchets radioactifs publié en juin 2012 par l'ANDRA, qui évalue les perspectives de production de déchets dans les prochaines décennies ainsi que les besoins en capacités d'entreposage. Cette édition insiste sur la nécessité de développer des schémas industriels globaux de gestion, et de développer des modes de gestion pour les déchets de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MA-VL). Ainsi, elle demande la poursuite d'études et recherches :

- ✖ sur les déchets de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MA-VL) et notamment celles concernant le stockage en couche géologique profonde en projet, Cigéo, qui entrera dans une nouvelle phase pendant la période 2013-2015 avec le dépôt de la demande d'autorisation de création en 2015 ;
- ✖ sur le conditionnement des déchets de moyenne activité à vie longue (MA-VL) afin notamment de respecter l'objectif de 2030 pour le conditionnement des déchets produits avant 2015.

Le CEA a mis en place un mode de gestion spécifique pour chaque catégorie de déchets (TFA, FA, MA et HA) conformément aux filières de gestion des déchets rappelées dans le schéma du paragraphe précédent.

Ainsi, le type de traitement, le conditionnement et le mode de stockage (après un éventuel entreposage temporaire) sont adaptés à la dangerosité des déchets et à leur évolution dans le temps en accord avec le PNGMDR.

Par ailleurs, le CEA participe à l'effort d'amélioration de la gestion des déchets TFA demandés dans le cadre du PNGMDR, visant en particulier à augmenter la densité des colis livrés au Centre de stockage des déchets TFA. Un exemple d'optimisation de la gestion des déchets TFA et FA est l'installation LA ROTONDE (ICPE 801) à Cadarache.

Ainsi, la gestion des déchets mise en place sur le Centre de Cadarache est en conformité avec ce plan.

2.15 Les déchets conventionnels

2.15.1 Classification des déchets

Les déchets conventionnels industriels sont classés selon 3 grandes catégories :

- les déchets inertes ou DI par définition, sont des déchets qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique importante. (exemple: béton, tuiles, briques, terres, etc.) ;
- les déchets industriels banals ou DIB sont tous les déchets qui ne sont pas générés par des ménages, et qui ne sont ni dangereux ni inertes (exemple : papiers-cartons, verres alimentaires, déchets alimentaires, déchets métalliques, etc.) ;
- par opposition à ces déchets, les déchets industriels dangereux ou DID qui contiennent des éléments polluants spécifiques de l'activité génératrice (exemple : amiante, huiles usagées, produits chimiques et solutions de laboratoire, etc.).

La classification des déchets est définie dans les articles R-541-7 à R-541-11 du code de l'environnement. Sont considérés comme dangereux les déchets qui présentent une ou plusieurs des propriétés énumérées à l'annexe 1 de l'article R-541-8 du code de l'environnement. Ils sont repérés par un astérisque à l'annexe 2 de cet article. Certains déchets associés à un code sans astérisque suivent par principe de précaution des filières d'élimination DID et sont donc intégrés à l'inventaire des DID.

2.15.2 Origine des déchets

Les déchets conventionnels produits sur le Centre de Cadarache proviennent :

- des installations banalisées et des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) non nucléaires ;
- des zones sans radioactivité ajoutée (ZSRA), des zones non contaminantes (ZNC) et/ou des Zones Contaminantes (ZC) uniquement pour une liste précise de consommables protégés autorisés par le Centre de Cadarache.

2.15.3 Quantité de déchets produits

D'une façon générale, les quantités de déchets produits sont très variables et rarement reconduites d'une année sur l'autre. Cela tient bien sûr aux activités très diversifiées mises en œuvre sur le site. En particulier, les quantités de déchets générés dépendent fortement de la nature des programmes de recherche et expérimentations associées, des programmes de maintenance décidés, des opérations d'entretien, de rénovation / mise à niveau ou de remplacement d'équipements ou d'installations complètes, des opérations de déconstruction, etc. La quantité produite annuellement d'une catégorie de déchet peut ainsi varier de zéro à plusieurs dizaines de tonnes.

Il est par conséquent très difficile de fournir un inventaire quantitatif avec des flux moyens annuels significatifs.

Les tableaux ci-après présentent, à titre indicatif, les quantités de déchets qui ont été évacuées du Centre pour l'année 2011, considérée comme une année standard.

Déchets industriels banals Désignation du déchet	Quantité évacuée (tonnes)	Part relative (%)
Pneus	0,12	0,01
Boues de potabilisation	232	15,35
Cartons emballages	19,84	1,31
Déchets urbains recyclables	160,28	10,61
Papier à diffusion restreinte	25,14	1,66
Verre alimentaire	12,68	0,84
Déchets alimentaires	165,92	10,98
Huile de friture	1,74	0,12
Matériel diffusion restreinte	0,90	0,06
Palette bois	107,23	7,09
Déchets métalliques	246,92	16,34
Déchets urbains non recyclables	224,98	14,89
DIB à impacts émotionnels	2,16	0,14
DIB en mélange	234,77	15,53
Branches et végétaux	76,67	5,07
Total	1511,35	

Production 2011 de déchets industriels banals

Déchets inertes Désignation du déchet	Quantité évacuée (tonnes)	Part relative (%)
Enrobés	161,64	13,90
Déchets de démolition	1001,6	86,10
Total	1163,24	

Production 2011 de déchets industriels

Déchets industriels Désignation du déchet	Quantité évacuée (tonnes)	Part relative (%)
Acide fluonitrique	80,84	5,75
Mercure	0,01	0,00
Cartouches de toner	4,11	0,29
Copeaux de Zircaloy	15,94	1,13
Huiles usées	10,22	0,73
Antigel	5,98	0,43
Emballages souillés	7,13	0,51
Transformateurs + PCB	0,05	0,00
Déchets d'équipements électriques et électroniques	43,96	3,13
Ecrans	2,35	0,17
Bombes aérosols	0,29	0,02
Bouteilles de gaz	7,67	0,55
Produits chimiques de laboratoire (10 à 200l)	9,38	0,67
Produits chimiques de laboratoire (<10 l)	3,79	0,27
Batteries au plomb	9,81	0,70
Batteries Ni-Cd	0,08	0,01
Eaux résiduaires	1197,16	85,19
Amiante libre	0,72	0,05
Amiante fibrociment	0,48	0,03
Déchets d'activité de soins	0,50	0,04
Déchets de dégrillage	1,98	0,14
Tubes fluorescents	0,84	0,06
Piles	1,85	0,13
Total	1405,14	

Production 2011 de déchets dangereux

La quantité totale collectée de déchets conventionnels (hors déchets entreposés dans l'attente d'une filière d'élimination) est ainsi de 4079 tonnes pour l'année 2011, répartie en :

- 34 % de déchets inertes,
- 29 % de déchets industriels banals,
- 37 % de déchets industriels dangereux.

2.15.4 Gestion des déchets

Ces déchets sont collectés et évacués conformément aux lois et règlements en vigueur relatifs aux déchets industriels, notamment l'arrêté préfectoral n°113-2006A du 25 septembre 2006 (titre 5).

Les installations sont responsables des déchets qu'elles produisent et doivent les conditionner selon les moyens mis à disposition par le Centre.

Préalablement à tout enlèvement de déchets, à l'exception des déchets urbains relevés quotidiennement par la Benne à Ordures Ménagères, les installations productrices doivent obligatoirement renseigner une fiche de production de déchets. Cette fiche, émise sous la responsabilité du Chef d'Installation, est obligatoirement requise avant l'acceptation du déchet. Elle doit être dûment complétée et notamment les parties concernant la caractérisation des déchets et leur caractère non radioactif.

Les déchets sont ensuite envoyés dans les installations dédiées selon leur classification (DIB, DI ou DID).

Les DIB sont envoyés à la « déposante déchets conventionnels ». Cette installation comprend : des quais de déchargement aménagés pour l'entreposage des déchets dans des caissons de 30 m³, des zones de transit et de manœuvre, des appentis pour l'entreposage des écrans et des déchets d'équipements électriques et électroniques, ainsi qu'un pont-bascule.

A proximité, une aire accueille les déchets inertes destinés à des filières de valorisation agréées. Les terres, pierres et roches non polluées peuvent être déposés dans une zone du Centre (zone Harmonie) en vue d'une éventuelle réutilisation sur le site.

Les installations qui reçoivent les DID sont constituées d'un hangar, d'un appentis, de cuves de regroupement, d'une benne capotée pour les emballages souillés et d'un bungalow. Le hangar est utilisé pour recevoir en transit les DID (amiante en petite quantité ou les fûts et bidons d'antigel et d'huiles usagées) en vue de regroupement en cuves avant leur évacuation vers les filières d'élimination ou de valorisation agréées. D'une superficie de 40 m², il est équipé d'une rétention globale et d'équipements de levage. Les cuves d'entreposage sont utilisées pour recevoir en transit des déchets de type antigel, huiles usagées ou eaux résiduelles (eau chargée en huile, par exemple.) en vue de regroupement avant évacuation vers les différentes filières agréées.

2.15.5 Destination des déchets

Lorsque les quantités par type de déchets sont suffisantes, l'évacuation vers les filières agréées est programmée. Ces déchets peuvent également être évacués directement vers les filières de valorisation ou d'élimination agréées sans passer par les installations d'entreposage.

La majeure partie des DID est évacuée directement vers les filières sans passer par l'installation de transit de DID.

Aucun déchet n'est stocké définitivement sur le site, à l'exception des pierres, terres et roches envoyées dans la zone Harmonie. Les déchets sans filière immédiate font l'objet

d'une recherche de filière qui est ensuite intégrée au plan d'élimination des déchets conventionnels du Centre.

Les types de déchets conventionnels entreposés dans l'attente d'une solution d'élimination sont les suivants :

- les boues sèches ou déshydratées de la STEP issues du traitement des effluents sanitaires (ou boues sanitaires) ;
- les boues liquides de la STEP issues du traitement des effluents industriels (ou boues industrielles), ces boues ont été en partie évacuées ;
- des boues sèches issues du traitement biologique en 2004 de 3 bassins de 3 000 m³ d'effluents, ces boues ont été mises en bennes en 2005.

Les quantités entreposées à fin 2011, les lieux et les capacités d'entreposage de ces déchets sont donnés dans le tableau ci-dessous :

Type déchet	Stock (fin 2011)	Flux annuel
Boues sanitaires	160 m ³	0
Boues industrielles	400 m ³	0
Boues sèches	30 m ³	0
Amiante fibrociment	478 kg	3,64 tonnes

Le plan d'élimination des déchets formalise les filières de traitement et les différents éliminateurs et transporteurs retenus par le Centre.

Il s'applique à l'ensemble des déchets industriels conventionnels, banals, inertes et dangereux, liquides et solides produits sur le site de Cadarache.

Ce plan fait l'objet de mises à jour chaque fois que nécessaire dans un souci d'optimisation tant économique que technique. Il traduit en particulier la recherche constante de voies d'amélioration pour le traitement des déchets primaires et l'élimination des déchets ultimes, en privilégiant les filières de recyclage ou de valorisation.

2.15.6 Analyse de la compatibilité avec les plans de gestion

Pour les déchets conventionnels il n'existe pas de plan national de gestion, uniquement un guide régional de la gestion des déchets en PACA.

Ce guide a été conçu pour développer l'information et faciliter le ciblage des prises de contacts par les maîtres d'ouvrages. Il rappelle également les textes réglementaires sur lesquels s'appuie le CEA pour la gestion des déchets conventionnels.

Les actions du CEA pour l'optimisation du cycle production/gestion/élimination ou valorisation des déchets conventionnels sont suivies par le biais d'un planning précisant pour chaque type de déchet considéré, les améliorations escomptées et un échéancier de réalisation.

Conformément aux prescriptions du guide régional, le CEA privilégie la valorisation de ses déchets et des filières d'élimination situées en PACA.

3 Incidence du site de Cadarache sur les zones Natura 2000

L'évaluation des incidences NATURA 2000 a été mise à jour par la société IF-Ecologie Conseil et fait l'objet du rapport « Mise à jour de la synthèse des études écologiques et du volet naturel de l'étude d'impact du centre de Cadarache - Phase 3 : Mise à jours de l'Evaluation Appropriée des Incidences NATURA 2000 du Centre CEA de Cadarache » Version finale – Mai 2017.

Ce rapport est présenté en annexe 9.

4 Mesures mises en œuvre pour minimiser les conséquences sur l'environnement

4.1 Introduction

Les mesures de réduction des effets des installations sur la santé et l'environnement sont résumées dans le tableau ci-après.

Source des impacts	Mesures prises	Impact résiduel
Rejets radioactifs gazeux	<ul style="list-style-type: none"> • Limitation réglementaire des rejets • Vérification par le calcul que l'impact des rejets aux limites est non significatif • Dispositifs de filtration • Confinement des produits radioactifs • Surveillance continue • Comptabilisation des rejets 	Non significatif
Rejets radioactifs liquides	<ul style="list-style-type: none"> • Limitation réglementaire des rejets • Vérification par le calcul que l'impact des rejets aux limites est non significatif • Confinement des produits radioactifs • Surveillance continue • Traitement des effluents avant rejet pour en extraire le maximum de radioactivité • Surveillance et comptabilisation des rejets 	Non significatif
Rejets chimiques gazeux	<ul style="list-style-type: none"> • Limitation réglementaire des rejets • Vérification par le calcul que l'impact des rejets aux limites est non significatif • Très peu de rejets (chaudière du Centre principalement) • Utilisation préférentielle du gaz (au lieu du fioul) pour la chaufferie • Surveillance et comptabilisation des rejets 	Non significatif
Rejets chimiques liquides	<ul style="list-style-type: none"> • Limitation réglementaire des rejets • Vérification par le calcul que l'impact des rejets aux limites est non significatif • Traitements dans la station d'épuration avant rejet • Surveillance continue • Surveillance et comptabilisation des rejets 	Non significatif
Rejets d'eau réchauffée (RJH)	<ul style="list-style-type: none"> • Limitation réglementaire des rejets • Vérification par le calcul que l'impact des rejets aux limites est non significatif • Rejet dans le canal EDF (milieu non naturel) 	Non significatif
Eaux pluviales	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction du risque d'inondation par conception des circuits • Vérification par le calcul que le réseau est capable d'absorber les pluies exceptionnelles • Capacités de rétention en cas de présence de substances toxiques 	Non significatif

Source des impacts	Mesures prises	Impact résiduel
Production de déchets radioactifs	<ul style="list-style-type: none"> • Zonage • Limitation et optimisation permanente • Entreposage, conditionnement et transports sûrs • Réglementation très détaillée • Centres de stockage agréés et dédiés 	Présence d'entrepôts de déchets ne disposant pas encore de filières de stockage
Production de déchets conventionnels	<ul style="list-style-type: none"> • Tri et optimisation de la production • Sélection des filières d'élimination • Optimisation de la valorisation et du recyclage 	Néant, tous les déchets disposent d'une filière d'élimination/recyclage
Bruits, vibrations	<ul style="list-style-type: none"> • Néant 	Non significatif
Paysages	<ul style="list-style-type: none"> • Intégration du bâti au paysage • Déboisement minimum, voire reboisement 	Pas d'atteinte aux paysages de la région
Prélèvements d'eau	<ul style="list-style-type: none"> • Limitation réglementaire des prélèvements • Surveillance des consommations et de la nappe • Optimisation des besoins en eau • 	Non significatif (ressource très abondante)

4.2 Mesures générales prises pour minimiser les incidences

4.2.1 Mesures relatives à la sûreté

Une organisation très structurée est mise en place afin de garantir à chaque instant la sûreté des installations et la sécurité des personnes, qu'elles soient à l'intérieur ou à l'extérieur des installations.

Conjointement à cette organisation qui intervient à tous les niveaux (conception des installations, construction, exploitation et démantèlement), des moyens de surveillance et d'intervention sont mis en place.

Les objectifs fondamentaux de la sûreté nucléaire consistent à protéger les travailleurs, la population et l'environnement en limitant en toutes circonstances l'exposition à des substances radioactives.

En fonctionnement normal, les doses efficaces reçues par les travailleurs et les personnes du public sont les plus faibles possibles et en tous cas inférieures aux limites associées aux objectifs généraux de sûreté de l'installation définies dans le rapport préliminaire de sûreté de chaque installation nucléaire.

En situation accidentelle, l'objectif premier est de limiter les doses reçues. La radioprotection et le confinement sont définis pour permettre :

- la gestion des situations post accidentelles dans le respect des limites de dose maximales définies pour le public et l'environnement ;
- de ne pas induire de conséquences radiologiques susceptibles d'entraîner la mise en œuvre de mesures immédiates ou différées de protection pour les populations avoisinantes (ni confinement, ni évacuation).

Pour atteindre ces objectifs, le concept de défense en profondeur est mis en œuvre, il consiste à :

- se prémunir des situations incidentelles, accidentelles et des défaillances : la conception et la réalisation des équipements reposent sur la prise en compte de marges et la mise en place de dispositions préventives pour éviter les défaillances ;
- envisager toutes les défaillances possibles pour prévenir les accidents, ce qui conduit à mettre en place des systèmes de détection et à prévoir des dispositions telles que les écarts éventuels par rapport aux états normaux de l'installation, en phase d'exploitation et d'expérimentation, ne conduisent pas à la perte de l'intégrité d'une des barrières et ne dégénèrent pas en accidents ;
- contrôler les accidents « de dimensionnement » et mettre en place les dispositions de sûreté et les procédures nécessaires pour maintenir une efficacité suffisante des barrières et des systèmes de confinement, afin de ramener et maintenir l'installation et les expériences dans un état sûr ;
- envisager toutes les situations y compris des accidents très improbables (correspondant aux situations dites « situations hors du dimensionnement ») et définir, si nécessaire, des moyens et/ou des procédures complémentaires permettant la maîtrise de telles situations ;
- malgré toutes les dispositions prises pour prévenir et limiter les conséquences des accidents, prévoir, à l'extérieur du site, les dispositions à adopter vis-à-vis de la population en cas d'accident au niveau de l'installation dont les conséquences déborderaient du périmètre du site.

Le dimensionnement de l'installation et des équipements associés est réalisé lors des études de conception sur la base de référentiels techniques et normatifs (textes législatifs et réglementaires, règles fondamentales de sûreté, normes, guides, ...) et selon la démarche de sûreté appliquée à l'installation et présentée dans le Rapport Préliminaire de Sûreté de l'installation concernée.

Une installation n'est jamais figée, des réévaluations de sûreté ont lieu tous les dix ans ; elles conduisent le plus souvent à mettre en œuvre des améliorations (techniques et/ou d'organisation) pour augmenter encore la sûreté. En dehors de ces réévaluations, chaque installation est à l'écoute des améliorations apportées aux installations de même type, que ce soit en France ou à l'étranger pour s'en inspirer et ainsi encore améliorer le niveau de sûreté. De nombreuses améliorations de sûreté sont également proposées par les personnes qui travaillent dans les installations.

4.2.2 Démarche environnementale

En 2010, le Centre de Cadarache a mis en place une organisation spécifique relative à l'environnement. Un Responsable Environnement anime ainsi un réseau constitué de Correspondants Environnement nommés dans chacune des installations du Centre.

La tâche de ce réseau est de gérer les aspects environnementaux significatifs qui sont issus de l'analyse environnementale, à savoir : la gestion des effluents et des rejets, la maîtrise des déchets, la prise en compte de la biodiversité, la réduction des consommations de ressources, notamment l'eau, l'électricité et les carburants, la maîtrise des produits chimiques et l'évacuation des produits périmés ou sans emploi. Les événements significatifs qui concernent l'environnement sont recensés et analysés en commun au titre du retour d'expérience et de l'amélioration continue.

D'autre part le CEA Cadarache a la triple certification qualité (9001), environnementale (14001) et sécurité (OHSAS).

4.2.3 Protection du patrimoine naturel

Le patrimoine forestier, conséquent, est composé à plus de 75% de feuillus, avec un fort enjeu de renouvellement :

- peuplements ponctuellement sénescents, dont il faut entamer progressivement le renouvellement dans une logique de gestion durable ;
- mosaïque forestière à préserver dans la durée pour sa qualité tant écologique que paysagère ;
- suivi fin des peuplements en coupes et en travaux ;
- équilibre forêt/gibier à retrouver en zone clôturée (mise en péril du renouvellement et donc la pérennité des boisements à moyen terme).

Le patrimoine cynégétique du domaine (sangliers, cerfs Sika, mouflons de Corse, chevreuils) est lui aussi l'objet d'une attention particulière en raison de sa richesse mais aussi des risques sanitaires encourus par les populations cantonnées en zone clôturée. Un équilibre sylvo-cynégétique est à établir dans une logique de gestion durable tant des populations que de leur environnement.

Initialement les plans de gestion des espaces naturels étaient principalement établis sur la base de la problématique incendie. Désormais, le «Schéma directeur de gestion de la forêt et des milieux naturels de Cadarache 2010-2019», est un outil de gestion durable de l'espace naturel qui dresse un état des lieux du patrimoine forestier et propose un plan d'actions pour les dix prochaines années.

Cette démarche s'appuie sur deux conventions passées avec l'Office national des Forêts, respectivement d'assistance technique pour le domaine enclos, et de gestion forestière en zone externe pour l'élaboration et le suivi des actions, ainsi que sur la convention passée avec l'Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage (ONCFS) pour la gestion des grands gibiers.

Enfin, le recours à un service partagé avec deux bergers sur plus de 500 ha (environ 1 000 ovins au total) pour l'entretien du domaine externe à la clôture constitue une originalité à pérenniser.

4.3 Dispositions pour limiter les rejets

4.3.1 Rejets gazeux radioactifs

Les rejets gazeux sont constitués dans leur très grande majorité par l'air des circuits de ventilation. La radioactivité est due à certains gaz mélangés à l'air (gaz rares, tritium et carbone 14) et à des particules solides radioactives, appelées aérosols, qui sont en suspension dans l'air. Les meilleures technologies disponibles (MTD) sont utilisées en vue de réduire autant que possible les rejets d'effluents gazeux.

Les particules solides sont retenues par des filtres spéciaux à Très Haute Efficacité (THE). Ceux-ci retiennent au moins 99,9% des particules. Selon les cas on peut mettre deux de ces filtres en série, multipliant ainsi leur efficacité (cf. schéma du paragraphe 2.4.1).

L'iode est retenu par des dispositifs spéciaux appelés « pièges à iode » qui agissent comme des filtres.

Pour ce qui concerne le tritium et le carbone 14, il n'existe pas de filtre ou de moyen chimique simple qui permettent de les piéger. En effet, les propriétés chimiques des isotopes radioactifs sont exactement les mêmes que celles de leur isotope stable et il est extrêmement difficile de les séparer. Pour les iodes qui ne sont pas naturellement présents dans l'atmosphère, il est facile de résoudre le problème : toutes les molécules d'iode, radioactives ou non, sont piégées. On ne peut procéder ainsi pour le tritium et le carbone 14, car l'hydrogène (sous forme gazeuse H_2 et sous forme de vapeur d'eau H_2O) et le carbone (sous forme de gaz carbonique CO_2) sont présents naturellement en grandes quantités dans l'atmosphère. De plus les très faibles concentrations rencontrées dans les effluents gazeux

des installations existantes de Cadarache compliquent encore l'opération la rendant impossible dans l'état actuel de la technologie¹⁸.

4.3.2 Rejets liquides chimiques et radioactifs

Le paragraphe 2.5.2 décrit le système de traitement des effluents liquides radioactifs et chimiques. Pour réduire les rejets, le principe est à peu près le même pour ces deux types d'effluents : il s'agit de piéger le produit radioactif ou chimique pour le transformer en déchet solide. La gestion des déchets permet ainsi de confiner la toxicité des substances et de minimiser l'impact sur l'environnement.

Ces dispositifs, éprouvés et constamment améliorés depuis des dizaines d'années permettent de réduire très fortement les rejets de produits indésirables. Par exemple la station de traitement des effluents radioactifs (AGATE) permet de réduire la radioactivité d'un facteur 1 500 à 3 000. Comme pour les effluents gazeux, ce piégeage ne concerne pas le carbone 14 et le tritium.

Pour les effluents chimiques et sanitaires, la station de traitement et d'épuration de Cadarache, tout à fait comparable à celle d'une ville moyenne, utilise les mêmes techniques disponibles sur le marché pour réduire les rejets en Durance.

4.4 Dispositions pour limiter les prélèvements d'eau

Au cours des dernières années, des efforts importants d'équipements de comptage et de rénovation de ce réseau ont permis de ramener l'Indice Linéaire de Pertes (ILP) de plus de 13 m³/km/jour fin 2007, aux environs de 4 m³/km/jour en 2010 (inférieur à la valeur de référence pour un réseau de collectivité évaluée à 5 m³/km/jour). En parallèle, entre 2007 et 2010 le taux d'équipement des bâtiments en moyens de comptage est passé de 58 % à près de 100%, permettant ainsi de mieux identifier les points de consommation afin d'en améliorer l'analyse.

On peut également citer des actions de sensibilisation du personnel aux économies d'eau, le remplacement de chasses d'eau par des modèles plus économes, des investigations pour remplacer des refroidissements de circuits à eau perdue par des systèmes fonctionnant en boucle fermée.

4.5 Dispositions pour limiter la consommation d'énergie

4.5.1 Electricité

On observe une relative stabilité de la consommation électrique du Centre de Cadarache au cours des dix dernières années (entre 100 et 110 GWh/an). Les fluctuations dépendent surtout de l'activité de certaines installations comme TORE-SUPRA, l'INBS, et des chantiers de construction. En 2010 un site intranet a été mis en service pour permettre aux chefs d'installations de suivre facilement la consommation de leurs bâtiments. En 2011 les travaux d'équipement des bâtiments en moyens de comptage individualisé ont été poursuivis de manière à mieux identifier les points de consommation principaux et en améliorer l'analyse.

¹⁸ Les concentrations et les quantités de tritium présentes dans ITER permettront d'installer des dispositifs de détritiation. Les procédés envisagés à l'heure actuelle conduisent, pour la plupart, à la formation d'eau tritiée par oxydation du tritium. Cette eau est récupérée soit sur des tamis moléculaires soit sur des pièges froids, refroidis par exemple à l'azote liquide. L'eau tritiée ainsi obtenue est ensuite stockée.

4.5.2 Eclairage

Un réseau assure, en début et fin de journée des mois d'hiver, l'éclairage des voies de circulation piétonne et routière en périphérie des bâtiments. Il est constitué, pour le Centre, de 2 800 points lumineux. Un plan de jouvence pluriannuel a été lancé en 2008 ; il consiste à remplacer tous les 3 ans un tiers des lampes à incandescence de ce réseau par des lampes Sodium haute pression beaucoup plus performantes (consommation réduite de 50% et durée de vie plus longue).

4.5.3 Bâtiments

Historiquement le vaste espace disponible a favorisé une implantation immobilière très dispersée (nombreux bâtiments, généralement de taille limitée et d'un seul niveau), source de dépenses élevées en matière d'énergie et d'entretien.

La stratégie aujourd'hui envisagée consiste à éliminer progressivement une trentaine de bâtiments présentant les plus mauvaises performances énergétiques, et à les remplacer par quelques bâtiments performants, de deux à trois niveaux, positionnés à proximité des principales voies de circulation du site.

Cadarache vise la mise en place de « contrats de performance énergétique » destinés d'ici 2020, à réduire de 40% la consommation d'énergie des bâtiments tertiaires, et de 50% les rejets de CO₂ correspondants. Dans l'immédiat les travaux de rénovation sont complétés à chaque fois que possible par des opérations permettant des économies d'énergie ou d'eau :

- éclairage automatique, ou centralisé, sur les deux restaurants ;
- mise en place d'un double vitrage au restaurant 2 ;
- régulation électrique profonde sur 10 bâtiments (procédé Voltalis) ;
- récupération de calories sur la ventilation nucléaire de l'INB LEFCA ;
- remplacement de groupes froids à eau perdue.

Afin de mieux maîtriser les techniques nouvelles de rénovation, le Centre de Cadarache ambitionne l'obtention du label «BBC rénovation» pour un bâtiment pilote.

Enfin, en octobre 2007, à titre de démonstration, la façade sud du bâtiment accueil de la porte d'entrée principale du Centre a été équipée de 126 modules photovoltaïques.

Cofinancée par le CEA, l'état, la région PACA et l'ADEME, cette installation, qui se développe sur une surface de 60m², complète l'alimentation électrique du bâtiment. En fin d'année 2010, l'objectif fixé en 2007 de 20 000kWh en 3 ans a été atteint.

4.5.4 Chauffage

Le chauffage des bâtiments de Cadarache est assuré de manière électrique pour certains, au gaz pour les autres. Depuis une douzaine d'années, Cadarache poursuit un effort d'amélioration de sa performance énergétique qui a pour effet de réduire simultanément sa consommation énergétique, ses dépenses afférentes et ses rejets de gaz à effet de serre.

Gérées dans le cadre de contrats à clause d'intéressement, l'exploitation et la maintenance des équipements thermiques du Centre ont eu pour effet au cours de la période 1998-2006 de faire évoluer les rendements de chauffage de 70 à plus de 80%, et de diminuer la consommation énergétique de 20%, permettant ainsi sur la seule période 2005-2006 une économie de 15GWh.

4.6 Dispositions pour limiter les transports

4.6.1 Transports collectifs

En moyenne, les 5 500 personnes qui relient chaque jour leur domicile à l'un des 480 bâtiments du site, effectuent un trajet aller-retour d'environ 50 kilomètres. Les lignes de transports collectifs mises à disposition par le CEA depuis la création du site constituent de ce fait la base de son Plan de déplacement d'entreprise (PDE). En 50 ans, cela représente 13 millions de personnes transportées et une économie de plus de 40 millions de litres de carburant, soit 150 000 tonnes de CO₂.

En 2009, lors du renouvellement des contrats concernés, des véhicules conformes à la norme euro 4 ont été exigés par Cadarache pour cette prestation. En outre, depuis décembre 2007, le covoiturage est favorisé. L'ensemble des salariés, étudiants, stagiaires, intérimaires, intervenant sur le site de Cadarache, quelle que soit leur entreprise, bénéficie d'un accès privilégié au site dédié de l'Automobile Club Aixoise avec lequel Cadarache a signé une convention à cet effet.

Les dernières statistiques à ce sujet font état d'un taux de véhicules « co-voiturants » de l'ordre de 15%.

4.6.2 Véhicules de service

L'optimisation du parc CEA-DEN s'est traduite par la suppression de tous les véhicules de norme antipollution antérieure à la norme euro4 et la réduction de :

- 11 % du nombre de véhicules ;
- 30 % des consommations de carburant ;
- 15 % du coût de gestion.

Parallèlement, le CEA a décidé de se doter de véhicules électriques pour l'usage des taxis internes.

Enfin, lors des derniers renouvellements de contrats logistiques, Cadarache a fortement incité ses prestataires à s'équiper de véhicules propres pour les déplacements sur le site. Ainsi, des véhicules électriques légers sont désormais utilisés pour le transport du courrier et pour le matériel des équipes de nettoyage.

4.6.3 Visioconférences

Le personnel du site est invité à recourir au maximum aux visioconférences pour limiter les déplacements liés aux réunions avec leurs correspondants éloignés. Une cinquantaine de salles sur le Centre est équipée à cet effet.

L'utilisation est croissante. A court terme, de nouvelles fonctionnalités devraient favoriser encore plus cette pratique : réservation de salles couplée à la messagerie, visioconférence sur le poste de travail ou sur tablette.

4.7 Dispositions pour limiter les déchets

4.7.1 Déchets conventionnels

La réduction de la production de déchets et l'augmentation de la valorisation des déchets produits sont des objectifs prioritaires assignés aux installations.

Les axes d'amélioration sont présentés ci-après.

Valorisation/recyclage

- Amélioration de la collecte sélective pour augmenter la part recyclée.
- Recherche permanente des meilleures filières d'élimination/recyclage.
- Recherche de réemploi des terres.
- Suppression de la production pour certains déchets particulièrement dangereux (amiante, PCB, etc.).

Limitation de la production

- Implication en amont avec l'intégration de la problématique déchets dès la conception des installations.
- Information et sensibilisation des différents producteurs à la notion de déchets et à leur gestion.

Depuis 2008, le service en charge de la logistique réalise des visites techniques des producteurs primaires, afin de les conseiller. D'autre part, le changement de combustible en 1997 de la chaufferie centrale (passage du charbon au gaz naturel), a permis de supprimer la production de mâchefers, de poussières et de cendres.

La rénovation de la station d'épuration engagée en 1998 a permis de mettre en œuvre un procédé de traitement des effluents sanitaires plus performant et par conséquent d'améliorer la qualité des effluents rejetés, la contrepartie de cette amélioration est cependant la production d'un volume de boues plus important.

Enfin, un dispositif de traitement des graisses sanitaires a été mis en exploitation sur le site de Cadarache fin 2005. Il n'y a donc plus d'évacuation de graisses depuis 2006.

Des efforts ont également été consentis pour améliorer l'organisation et la traçabilité des déchets.

4.7.2 Déchets radioactifs

Les principes de la gestion des déchets radioactifs au CEA et donc à Cadarache sont les suivants :

- le tri à la source, c'est-à-dire au niveau des producteurs primaires (réacteur expérimental, laboratoire chaud,...) permet d'orienter, dès leur création, les déchets vers la filière adéquate de traitement, conditionnement, entreposage et stockage, si elle existe ;
- l'inventaire précis, permettant de définir les stocks et les flux des différentes catégories de déchets, ce qui est fondamental pour la mise en place ou le fonctionnement des filières. ;
- la rénovation ou mise en place des filières dès que possible, c'est-à-dire dès que les techniques de traitement et de conditionnement sont opérationnelles,
- la minimisation des volumes pour optimiser les coûts et l'encombrement des entreposages et des stockages ;
- la spécialisation des Centres du CEA pour favoriser leurs synergies ;
- la création d'entreposages permettant d'attendre dans de bonnes conditions de sûreté l'aboutissement des projets de stockage de l'ANDRA ;
- la rénovation du parc d'emballage de transport de manière à favoriser l'écoulement des flux ;

- la qualité de fabrication des colis.

Les actions de réduction de la production de déchets sont permanentes. Cette réduction se fait tout d'abord à la source en évitant autant que faire se peut de générer le déchet. Mais elle se fait également tout au long du processus de gestion et de conditionnement final. Les grands principes sont de trouver au cas par cas la filière la mieux adaptée au déchet en évitant le « surclassement » (par exemple mettre en œuvre toutes les dispositions pour qu'un déchet susceptible d'aller au Centre de stockage des déchets TFA ne soit pas mélangé avec des déchets qui iront au Centre de stockage des déchets de faible et moyenne activité) et de réduire autant que faire se peut le volume final du colis devant être stocké (compactage, emballage adéquat, optimisation du remplissage, etc.).

4.8 Le contrôle et la surveillance de l'environnement

Le contrôle représente l'ensemble des mesures en continu portant sur des grandeurs physiques caractéristiques de l'environnement (dosimétrie, activité radiologique atmosphérique et aquatique, paramètres météorologiques, etc.), et recueillies grâce à un réseau de capteurs spécifiques (radiamètres, contaminamètres, capteurs météo, etc.). Il se distingue de la surveillance qui représente l'ensemble des activités de prélèvement, de traitement de l'échantillon, et d'analyse en différé effectuées en laboratoire afin d'évaluer l'impact du centre sur son environnement.

Le contrôle des effluents radioactifs à la sortie de chacune des installations est de la responsabilité du chef de l'installation concernée. Le contrôle des effluents à la sortie du Centre est de la responsabilité du Service de Protection contre les Rayonnements (SPR).

Dans le cadre de la surveillance des rejets et de l'environnement, les analyses radiologiques sont réalisées par le Laboratoire d'Analyses Nucléaires et de Surveillance de l'Environnement (LANSE) du SPR.



le LANSE

4.8.1 Le contrôle des rejets d'effluents gazeux radioactifs des installations

4.8.1.1 Généralités

Les installations susceptibles d'émettre des rejets de gaz ou d'aérosols radioactifs sont équipées de circuits de ventilation comprenant généralement :

- une prise d'air extérieure placée aussi loin que possible de l'émissaire d'évacuation afin d'éviter les recyclages des effluents rejetés dans l'atmosphère ;
- un filtre d'entrée destiné à éliminer les particules solides présentes dans l'atmosphère ;
- un dispositif de soufflage ;
- des conduits de ventilation amenant l'air frais dans les locaux ;
- des prises d'aspiration avec filtration placées au plus près des lieux de production d'effluents radioactifs ;
- des conduits de ventilation d'extraction ;
- des dispositifs d'épuration spécifiques (aérosols, iode, etc.) ;

- des dispositifs de contrôle des activités rejetées et de protection des systèmes d'épuration (volets, clapets, détecteurs d'incendie, etc.) ;
- un dispositif d'extraction refoulant l'air dans l'ensemble ci-après ;
- un dispositif conduisant l'air de ventilation à une hauteur suffisante pour assurer la dispersion dans l'atmosphère (cheminées).

Les dispositifs d'épuration sont généralement constitués par des filtres montés en batterie, soit dans des caissons en tôle d'acier, soit dans des enceintes maçonnées. Leur nombre et leur matière dépendent du débit d'air qui les traverse, de ses caractéristiques physiques et chimiques et en général des radioéléments susceptibles de se dégager en fonctionnement normal ou accidentel (en particulier de la présence possible d'halogènes). Ils sont soumis à des tests périodiques in situ suivant des méthodes normalisées.

4.8.1.2 Dispositifs de contrôle

Le contrôle continu permet de disposer en temps réel de la mesure, mais il est moins précis que la surveillance en différé qui intègre sur la semaine ou le mois l'activité rejetée. Le contrôle en temps réel permet notamment de déclencher les alarmes en cas de dépassement de seuils. La comptabilisation des rejets et le contrôle de non dépassement des limites annuelles sont réalisés à l'aide de la surveillance en différé (sauf pour les gaz rares qui n'ont qu'un contrôle en temps réel).

L'activité α et β des aérosols, les gaz, l'iode sont contrôlés en continu aux émissaires susceptibles de les rejeter. L'activité α et β des aérosols est surveillée en différé sur des filtres ou des pièges avec, selon le cas, des mesures spécifiques des halogènes (iodes) du carbone 14 et du tritium.

Surveillance des rejets d'aérosols en différé :

Les émissaires véhiculant potentiellement des rejets d'aérosols radioactifs sont équipés d'un Dispositif de Prélèvement des Rejets Cheminées (DPRC). Ce dispositif effectue, en aval des derniers équipements d'épuration de l'installation concernée et avant rejet à l'atmosphère, un prélèvement continu des aérosols par filtration. Les filtres sont remplacés toutes les semaines ou tous les mois pour faire l'objet d'une mesure afin de déterminer la radioactivité α et β .

Les émissaires de rejets d'effluents gazeux susceptibles de rejeter des halogènes (iodes notamment) sont équipés en aval des derniers équipements d'épuration de l'installation concernée et avant rejet à l'atmosphère, d'un DPRC muni de deux cartouches en série contenant du charbon actif. Ces cartouches sont changées selon une fréquence hebdomadaire. Leur analyse en différé par spectrométrie γ permet d'évaluer les activités en halogènes éventuellement rejetées par l'installation.

Contrôle des rejets gazeux

Les émissaires susceptibles de rejeter des gaz radioactifs sont équipés d'un ensemble de mesure des gaz de type « chambre d'ionisation » étalonnée avec un gaz de référence figurant dans les rejets potentiels de l'installation.

Ces ensembles de mesure associés à des unités de traitement permettent de déterminer les activités rejetées par l'installation pendant une période donnée.

Contrôle des rejets de tritium

Les émissaires susceptibles de rejeter du tritium sous forme de vapeur d'eau tritiée ou de gaz tritié sont équipés, en aval des derniers équipements d'épuration de l'installation concernée et avant rejet à l'atmosphère, d'un dispositif de barboteurs avec ou sans four d'oxydation du tritium gaz en eau tritiée. Ce dispositif permet de déterminer, sur une base hebdomadaire, les activités en tritium éventuellement rejetées par l'installation.



Cheminées de l'INB 25

4.8.2 Le contrôle des rejets liquides potentiellement radioactifs

4.8.2.1 Le contrôle au niveau des installations

Les effluents liquides issus des INB et susceptibles d'être contaminés sont recueillis dans des cuves de contrôle dites suspectes. Lorsqu'elles sont pleines, le contenu de ces cuves fait l'objet, après homogénéisation, des mesures de contrôle suivantes :

- activité volumique α global ;
- activité volumique β global ;
- activité volumique γ ;
- activité volumique tritium.

Le contenu de ces cuves ne peut être transféré dans le réseau des effluents industriels que si les résultats d'analyse radiologique respectent les limites suivantes :

- $1 \cdot 10^4$ Bq/m³ en activité α ;
- $7,4 \cdot 10^4$ Bq/m³ en activité β γ (autres que le tritium) ;
- $7,4 \cdot 10^7$ Bq/m³ pour le tritium.

Les effluents font également l'objet d'une analyse chimique.

Le contenu de ces cuves ne peut être transféré dans le réseau des effluents industriels qu'après réalisation des analyses ci-dessus. Si l'effluent présente une activité volumique inférieure aux limites de transfert précitées vers les effluents industriels, la cuve est vidangée ; dans le cas contraire les effluents sont considérés comme effluents actifs et traités comme tels (cf. ci-après).

Les effluents radioactifs liquides, qui ont une activité volumique supérieure aux limites de transfert, sont stockés dans des cuves « actives ». Avant transfert par camion-citerne vers la STE (AGATE), le laboratoire d'analyses du SPR effectue un certain nombre d'analyses radiologiques.

Les transferts d'effluents liquides relèvent de la responsabilité des chefs d'installation qui s'appuient sur le SPR et le STL pour la réalisation des contrôles radiologiques et chimiques.

4.8.2.2 Le contrôle avant rejet en Durance

Le Centre possède deux stations de contrôle destinées à mesurer en permanence l'activité des effluents liquides avant rejet en Durance, l'une est située à la station d'épuration du Centre, l'autre à la station des rejets.



Vue aérienne de la Station d'épuration du Centre et de la station de rejet

Depuis 2010 les eaux du versant nord collectées par le thalweg des lapins, rejoignent le ravin de la bête au niveau de la vanne papillon (à l'extérieur de la STEP). Les pluviales font l'objet d'un contrôle radiologique et chimique à la station des rejets avant leur rejet en Durance. A noter que les pluviales du thalweg des lapins fait l'objet d'une surveillance en différé en cas de pluie au niveau du versant nord.

A la station d'épuration, un contrôle en continu alpha et beta (RAME) et gamma (SGE) est réalisé sur les effluents industriels en entrée de l'unité de traitement des effluents industriels (dans les neutralisateurs) ; contrôle en continu gamma des effluents sanitaires en sortie de l'unité de traitement des effluents sanitaires.

A la station de rejets, un contrôle gamma en entrée de bassin et en sortie de bassin est réalisé dans la canalisation de rejet en Durance ainsi que dans le ravin de la bête.

Des hydrocollecteurs automatiques prélèvent en permanence une fraction des eaux :

- dans la canalisation des eaux industrielles à la station d'épuration ;
- dans la canalisation de rejet en Durance à la station des rejets.

Les mesures en continu sont associées à des seuils d'alarme et reportées au TCE (tableau de contrôle de l'environnement) au bât. 300 du SPR/LANSE à la FLS. Des prélèvements sont automatiquement effectués pour analyse par le SPR en cas d'alarme sur les effluents industriels à la STEP et en sortie de bassin aux rejets. De plus, un dépassement du seuil d'alarme à la station d'épuration provoque un détournement automatique des eaux vers des cuves de stockage de 1000 m³ et vers le bassin de secours aux rejets si alarme en entrée de bassin ou sur le ravin. L'alarme en sortie de bassin aux rejets entraîne l'arrêt du rejet. Un contrôle en continu de l'activité volumique et un prélèvement en continu est effectué sur les effluents dans la conduite de déversement en Durance.



Le tableau de contrôle de l'environnement
(TCE)

Le dépassement du seuil limite fixé par l'arrêté préfectoral entraîne l'arrêt du rejet d'effluents.

Des hydrocollecteurs automatiques asservis au temps ou au débit prélèvent en continu une fraction des eaux :

- dans la canalisation des eaux industrielles (en entrée) et des ES (en sortie) à la station d'épuration ;
- dans la canalisation de rejet (sortie de bassin) en Durance à la station des rejets ;
- Dans le ravin à la station des rejets pour les pluviales.

A noter qu'avant vidange d'un bassin aux rejets, une analyse tritium est réalisée.

Des échantillons moyens journaliers et mensuels sont constitués par fractionnement de ces prélèvements en vue d'analyses. L'ensemble des résultats des analyses effectuées sur ces échantillons est mentionné sur le registre réglementaire des rejets d'effluents liquides.

PARAMETRE SURVEILLE	TYPE DE PRELEVEMENT	ANALYSES EFFECTUEES
Transfert à partir des installations	Eau de cuve d'effluents industriels	α , β global
		^3H
		Spectrométrie γ
Transfert à partir de la station de traitement des effluents	Echantillon d'un lot de rejets	α , β global
		^3H
		Spectrométrie γ
		Spectrométrie α
Rejets du Centre	Echantillon journalier Station d'Épuration	α , β global
	Echantillon journalier Station des Rejets	Spectrométrie γ
	Echantillon mensuel Station d'Épuration	α , β global
	Echantillon mensuel Station des Rejets	Spectrométrie γ

Programme de surveillance des transferts par voie liquide

Le Tableau de Contrôle dit de l'Environnement (TCE) du LANSE centralise les informations, génère des alarmes et archive les données en provenance des capteurs équipant les différentes stations

4.8.3 La surveillance radiologique de l'environnement

Les modalités de surveillance et de contrôle de l'environnement vis-à-vis des prélèvements d'eau, des rejets d'effluents radioactifs et chimiques du CEA/Cadarache sont respectivement définies par l'arrêté préfectoral 113-2006 A du 25 septembre 2006 et par la décision ASN n°2010-DC-0173.

Les résultats des 5 000 prélèvements annuels, pour la surveillance de l'environnement, sont transmis suivant les fréquences définies par les arrêtés précédemment cités aux autorités compétentes. Les différents éléments (air, poussières atmosphériques, eau de pluie, eaux souterraines et de surface, sols et sédiments) sont mesurés ainsi que les principaux éléments de la chaîne alimentaire.



Prise d'échantillon atmosphérique

4.8.3.1 La surveillance atmosphérique

La surveillance atmosphérique s'effectue à partir des stations fixes équipées de capteurs mesurant en continu la radioactivité de l'air et de capteurs permettant de déterminer à tout moment les conditions de dispersion des rejets d'effluents gazeux dans l'atmosphère et le débit de dose au point de mesure. Ces stations sont implantées à l'intérieur du périmètre du CEA/Cadarache et à l'extérieur.

Conformément aux arrêtés relatifs aux prélèvements et rejets d'effluents du Centre, les mesures suivantes sont effectuées :

Lieu de prélèvement ou de mesure	Type de mesures	Fréquence
11 points autour de la clôture du site	Débit d'exposition gamma	Mesure en permanence avec relevé mensuel
2 points sous le vent à proximité de l'installation CEDRA et de l'installation d'entreposage des déchets (INB56)	Concentration atmosphérique en radon	Mesure intégrée avec exploitation mensuelle
Stations de Ginasservis, Verrerie, Grande Bastide et Saint-Paul-lez-Durance	Activité alpha globale Activité bêta globale Spectrométrie gamma si activité globale > 0,02 Bq/m ³	Prélèvements d'aérosols sur filtres avec mesure journalière
Stations de Ginasservis, Verrerie, Grande Bastide et Saint-Paul-lez-Durance	Iode 131	Prélèvement continu sur cartouche avec mesure hebdomadaire
Stations de la Verrerie, Grande Bastide et Saint-Paul-lez-Durance	Tritium atmosphérique	Prélèvement continu sur barboteur avec mesure hebdomadaire
Stations de Ginasservis, Verrerie et Saint-Paul-lez-Durance	Carbone 14	Prélèvement continu sur barboteur avec mesure mensuelle
Stations de Ginasservis, Verrerie et Saint-Paul-lez-Durance	Eaux de pluie (activité bêta globale et activité tritium)	Prélèvement continu avec mesure hebdomadaire

Lieu, type et fréquence des prélèvements atmosphériques

4.8.3.2 La surveillance en Durance

Des prélèvements spécifiques sont effectués dans le lit de la Durance :

Lieu de prélèvement ou de mesure	Type de mesures	Fréquence
Prélèvement d'eau en amont du point de rejet (Manosque) + Verdon (Vinson)	<u>Sur l'eau filtrée :</u> Activité alpha globale, activité bêta globale, tritium, potassium <u>Sur matières en suspension :</u> Activité bêta globale	Prélèvement aliquote hebdomadaire pour analyse mensuelle
Prélèvement ponctuel d'eau en amont et en aval du point de rejet lors de chaque rejet de distillats (STE ou AGATE)	<u>Sur l'eau filtrée :</u> Activité alpha globale, activité bêta globale, tritium <u>Matières en suspension :</u> Activité bêta globale, spectrométrie gamma <u>Autres mesures :</u> Strontium 90, spectrométrie gamma, spectrométrie alpha	Prélèvement ponctuel
Prélèvements d'eau au Pont de Mirabeau	<u>Sur l'eau filtrée :</u> Activité bêta globale, activité alpha globale, tritium, potassium <u>Sur matières en suspension :</u> Activité bêta globale	Prélèvement en continu avec mesure hebdomadaire
Prélèvements d'eau au Pont de Mirabeau	Strontium 90, spectrométrie alpha, spectrométrie gamma	Analyse mensuelle sur aliquote
Prélèvements de sédiments à Saint Euchère ou autre (proche du point de rejet)	Activité bêta globale, spectrométrie gamma, spectrométrie alpha, strontium	Prélèvement annuel
Prélèvements de végétaux aquatiques à Saint Euchère ou autre (proche du point de rejet)	Activité bêta globale, spectrométrie gamma, spectrométrie alpha, strontium, tritium, carbone 14	Prélèvement annuel
Prélèvements de poissons au plus proche du point de rejet	Activité bêta globale, spectrométrie gamma, spectrométrie alpha, strontium, tritium, carbone 14	Prélèvement annuel

Lieu, type et fréquence des prélèvements en Durance

Les préparations

Les échantillons prélevés sont préparés en laboratoires pour analyse.

Ainsi, les eaux sont filtrées, évaporées sur des coupelles, distillées ou conditionnées dans des flacons à géométrie standardisée.

Appareils d'analyse

Les appareils d'analyse permettent de mesurer de très faibles niveaux de radioactivité.

Les compteurs proportionnels déterminent simultanément les activités alpha global et bêta global contenues dans les échantillons.

Les compteurs à scintillateur liquide sont adaptés à la mesure de tritium, ^{14}C et ^{90}Sr des échantillons aqueux. Les spectromètres gamma ou alpha permettent d'identifier et de mesurer la plupart des produits radioactifs, naturels ou non, contenus dans des échantillons de diverses natures.

Afin d'assurer la justesse des résultats, l'étalonnage du matériel est effectué dans des conditions identiques à celles des contrôles périodiques (nature, masse, volume de l'échantillon, etc.).

4.8.3.3 Surveillance du réseau hydrographique

La surveillance du milieu aquatique porte sur les eaux souterraines, les eaux de surface, les eaux réceptrices, les sédiments et la flore. Les valeurs mesurées sont inférieures ou très proches des limites de détection des appareils de mesure.

Surveillance des eaux de surface

La surveillance de la Durance est détaillée au paragraphe précédent.

Surveillance des eaux souterraines

Un contrôle des eaux souterraines sous-jacentes aux installations est réalisé mensuellement par des prélèvements effectués à partir de 48 piézomètres dits réglementaires.

Sur ces prélèvements, il est réalisé la détermination des activités alpha et bêta globales, du tritium et de la teneur en potassium.

Surveillance des eaux pluviales

Les eaux provenant du ruissellement des eaux pluviales sur les toitures, les voies de circulation, les aires de stationnement et autres surfaces imperméables de l'installation, sont collectées par des fossés et des caniveaux, puis dirigées vers l'impluvium du Centre (Ravin de la Bête).

L'impluvium fait l'objet d'un contrôle d'absence de radioactivité une fois par mois.



Surveillance d'un piézomètre

4.8.3.4 Surveillance du milieu terrestre (sols et flore)

Les prélèvements de terre et de végétaux sont résumés dans le tableau suivant.

Lieu de prélèvement ou de mesure	Type de mesures	Fréquence
Stations de Ginasservis, Verrerie, Grande Bastide et Saint-Paul-lez-Durance	Végétaux bio indicateurs (thym ou herbe) : - Activité bêta (dont potassium 40) - Activité tritium et carbone 14 - Activité alpha (transuraniens)	Mensuelle Mensuelle Annuelle Annuelle
Saint-Paul-lez-Durance	Couche superficielle de terre : Activité alpha et gamma	Annuelle

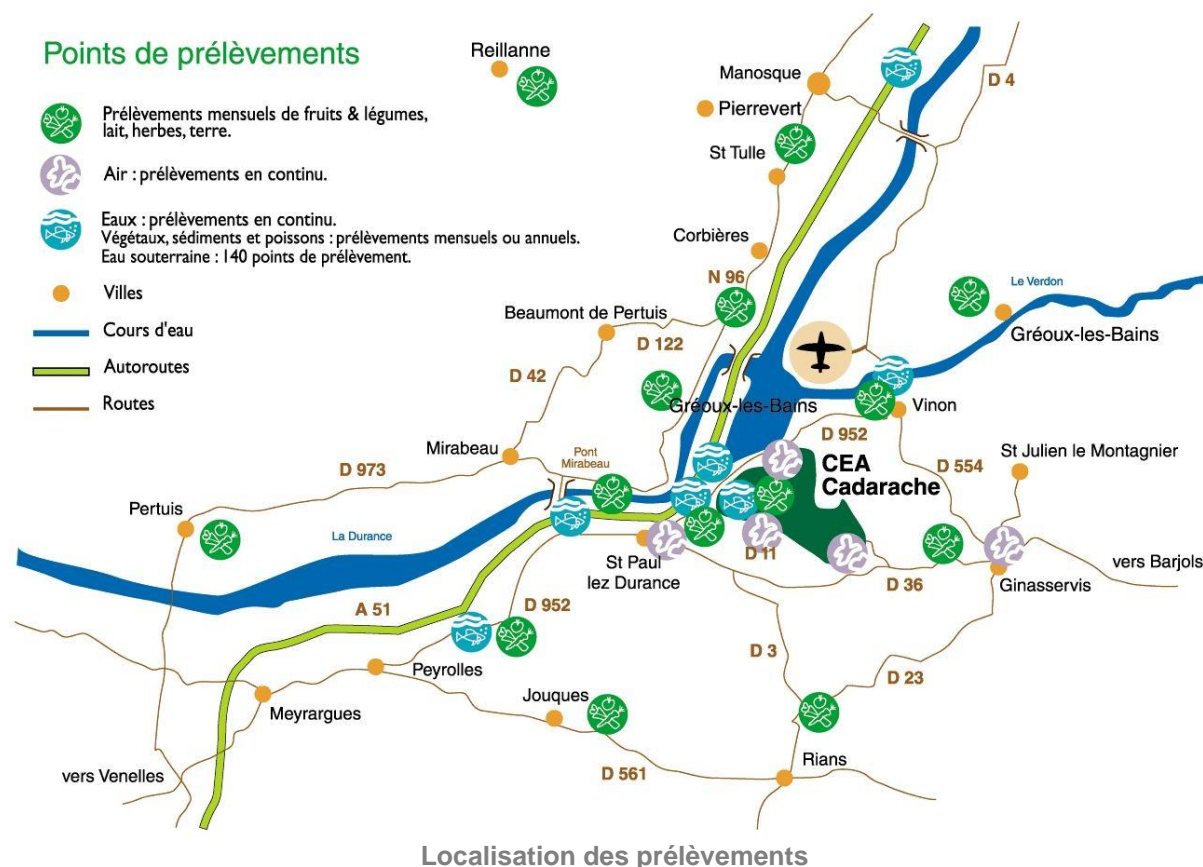
Lieu, type et fréquence des prélèvements de terre et végétaux

Les préparations

Les échantillons prélevés sont préparés au laboratoire avant analyse.

Les végétaux sont pesés, broyés, desséchés, calcinés et leurs cendres conditionnées sous une géométrie pour laquelle l'appareillage est étalonné, voir lyophilisés notamment pour mesure tritium libre et lié.

Les terres et les sédiments subissent une dessiccation, une pesée, un broyage et un tamisage avant d'être mesurés.



Appareils d'analyse

Les appareils d'analyse permettent de mesurer de très faibles niveaux de radioactivité.

Les compteurs proportionnels déterminent simultanément les activités alpha global et bêta global contenues dans les échantillons.

Les spectromètres gamma ou alpha permettent d'identifier et de mesurer la plupart des produits radioactifs, naturels ou non, contenus dans des échantillons de diverses natures.

Afin d'assurer la justesse des résultats, l'étalonnage du matériel est effectué dans des conditions identiques à celles des contrôles périodiques (nature, masse, volume de l'échantillon, etc.).

4.8.3.5 Surveillance de la chaîne alimentaire

L'analyse des produits de la chaîne alimentaire permet de vérifier l'absence de transfert de contamination par les voies atmosphériques et hydrologiques.

La surveillance de la radioactivité de la chaîne alimentaire des populations avoisinantes est pratiquée en mesurant notamment :

- du lait de chèvre en une station (Gréoux-les-Bains) avec mesure par spectrométrie gamma et mesure bêta total, la fréquence de ces mesures étant mensuelle ; à cette mesure, est rajoutée une mesure annuelle du tritium libre et lié et du carbone 14. Le suivi de la radioactivité du lait s'inscrit dans les programmes de surveillance réglementaire de tous les sites nucléaires. Il est un indicateur important pour contrôler le transfert des radionucléides à travers la chaîne alimentaire ;
- trois catégories de légumes dans 4 localités : Ginasservis, Saint-Paul-lez-Durance, Peyrolles et Vinon-sur-Verdon :
 - 1 légume racine (carottes, pommes de terre) ;
 - 1 légume feuille (salades, épinards) ;
 - 1 légume fruit (tomates, courgettes, pommes).

Il est à noter que le type de légumes prélevés est variable selon la saison et donc la disponibilité de ceux-ci.

Lieu de prélèvement ou de mesure	Type de mesures	Fréquence
Gréoux les Bains	<u>Sur le lait :</u> Activité bêta (dont potassium 40) Emetteurs gamma (dont iode 131) Activité tritium (libre et lié) et carbone 14	Mensuelle Mensuelle Annuelle
Ginasservis, Saint-Paul-lez-Durance et Vinon-sur-Verdon et Peyrolles	<u>Sur les légumes (racines, fruits, feuilles) :</u> Activité bêta (dont potassium 40) Emetteurs gamma Activité strontium 90 Emetteurs alpha Activité tritium (libre et lié) et carbone 14	 Annuelle

Lieu, type et fréquence des prélèvements sur la chaîne alimentaire

Par ailleurs, l'absence de radioactivité de l'huile d'olive et du vin de productions agricoles de Gréoux-les-Bains, Mirabeau et Pierrevet est contrôlée (mesures par spectrométrie gamma).

Un prélèvement annuel de poisson de la Durance est également effectué (cf. §4.8.3.2).



Prélèvement de poisson en Durance

4.8.3.6 Les autres moyens de surveillance

Les moyens mobiles de surveillance

Destinés à la surveillance de routine ou à l'intervention en cas d'incident ou d'accident radioactif, ces moyens complètent les installations fixes.

Ils sont composés de véhicules équipés :

- de matériel de détection d'irradiation et de contamination ;
- de matériels de prélèvements ;
- de liaisons hertziennes avec le Central LANSE permettant de transmettre, sur des fréquences réservées, les informations recueillies.

Le VISA

Le SPR dispose également d'un Véhicule d'Intervention et de Surveillance Atmosphérique (VISA) lui permettant d'évaluer les conséquences d'un incident ou d'un accident à caractère nucléaire sur le public :

- mesure des paramètres météorologiques ;
- analyse de la situation radiologique ;
- appareils de mesure (fixes ou portables) ;
- dispositifs autonomes de prélèvements d'échantillons ;
- laboratoire d'analyses (spectrométrie γ) ;
- moyens autonomes de communication (liaison avec le Central de crise SPR).



Le VISA

4.8.4 La surveillance chimique de l'atmosphère

La qualité de l'air est vérifiée en continu par l'association indépendante Air PACA grâce à une station fixe à proximité du site de Cadarache où sont mesurées les concentrations en ozone.

De plus, une station de mesure de polluants de l'air est installée dans une camionnette mobile. Facilement déplaçable, elle permet de multiplier les "campagnes mobiles" en sillonnant le territoire couvert par Air PACA.

Des campagnes ponctuelles peuvent être mises en place selon les besoins.

La chaufferie centrale

Une campagne de mesure est mise en place annuellement sur les quatre chaudières présentes sur l'installation afin de vérifier la teneur moyenne des rejets d'effluents en CO₂, O₂, CO et NO₂.

Ces mesures sont effectuées par un organisme de contrôle extérieur.

4.8.5 Le contrôle et la surveillance chimique des prélèvements, transferts et rejets d'effluents liquides

Dans les installations

Les effluents sanitaires

L'ensemble de ces effluents provenant des bâtiments (lavabos, douches, etc.) situés hors zones contrôlées, sera collecté vers la station d'épuration des effluents sanitaires du Centre pour traitement, puis acheminé vers la station de rejet en Durance.

Les effluents industriels

Pour rejoindre le réseau des effluents industriels du Centre, les effluents transférés doivent respecter les valeurs limites retenues au sein de la fiche de caractérisation établie avec les exploitants et qui précise les natures et quantités des éléments transférés au réseau des effluents industriels du Centre, ainsi que les contrôles chimiques et les fréquences associées.

Le transfert effectif dans le réseau est autorisé après vérification que celui-ci ne conduit pas à des concentrations en entrée de station supérieures à celles retenues dans l'arrêté de rejets d'effluents du Centre de Cadarache.

Les effluents radioactifs

Pour pouvoir être transférés vers la station de traitement (AGATE), les effluents doivent respecter les valeurs limites. Le transfert effectif dans le réseau est autorisé après vérification des caractéristiques chimiques et radiologiques.

A la Station d'épuration

Un contrôle continu est effectué en entrée de la station d'épuration des effluents industriels. Ce contrôle chimique, effectué par des analyseurs, porte sur 8 éléments (métaux lourds et autres toxiques). Le pH est également mesuré en continu.

De plus, les effluents, après traitement, regroupés en cuve de 1 000 m³ font l'objet d'analyses chimiques suivant 10 paramètres (métaux lourds et autres toxiques). Le pH, la température et l'oxygène sont également mesurés.

Dans le cadre du contrôle du fonctionnement de la station d'épuration des effluents sanitaires et de la station d'épuration des effluents industriels, des bilans complets de fonctionnement des stations sont effectués plusieurs fois par mois. Il s'agit d'analyses en amont et en aval des stations permettant ainsi de suivre les pourcentages d'abattement.

Chaque fois qu'un bassin de 3 000 m³ de la station de rejet du Centre est plein, l'effluent du bassin est prélevé et envoyé à la station d'épuration pour alimenter l'aquarium dans lequel est effectué le "test poissons" final avant rejet (survie d'une truite pendant au moins 6 heures), ainsi que le contrôle des 10 paramètres précités, le pH, la température et l'oxygène.



Le test « poissons »

En plus des différents contrôles assurés par le Centre de Cadarache, des contrôles externes sont effectués trimestriellement sur les effluents rejetés en Durance, conformément à l'arrêté préfectoral n°113-2006 A du 25/09/06.

La station de traitement et d'épuration d'ITER met en œuvre toutes les dispositions de manière à ce que les transferts vers les installations du Centre de Cadarache respectent les limites définies dans l'article 4.3.10 de l'arrêté préfectoral d'ITER du 01/12/2009. Pour cela, des mesures sont effectuées en continu à la sortie de la STEP-ITER (débit, pH, température) et d'autres de manière hebdomadaire (DCO, DBO5, MEST, NTK et Ptotal). Des mesures plus complètes sont effectuées chaque année.

Surveillance du réseau hydrographique

Surveillance du milieu récepteur

L'impact des rejets d'effluents du site sur le milieu récepteur est contrôlé par le CEA.

Ce contrôle comporte deux volets :

- un suivi mensuel de la qualité physico-chimique de l'eau de la Durance (amont-aval) ;
- une évaluation ponctuelle annuelle (amont-aval) de la qualité écologique des milieux (bryophytes et sédiments).

Une analyse biocénotique comparative (amont-aval) permet également d'évaluer l'effet des changements de l'environnement qui affectent les communautés floristiques et faunistiques.

Surveillance des eaux souterraines

Les eaux souterraines sont surveillées chimiquement conformément aux prescriptions réglementaires, par l'intermédiaire de neuf piézomètres répartis sur l'ensemble du Centre de Cadarache.

Surveillance des eaux pluviales

Les eaux provenant du ruissellement des eaux pluviales sur les toitures, les aires d'entreposage, les voies de circulation, les aires de stationnement et autres surfaces imperméables de l'installation, sont collectées par des fossés et des caniveaux, puis dirigées vers les impluviums du Centre (Ravin de le Bête et Chemin des Lapins).

En application des arrêtés précités, il est procédé à un prélèvement ponctuel mensuel (prélèvements privilégiés par temps de pluie) au niveau du Ravin de la Bête. Les paramètres analysés sont le pH, la DCO, la DBO5, les matières en suspension et les hydrocarbures totaux.

Afin de pallier une éventuelle pollution des eaux pluviales issues des parkings et voiries par des traces d'hydrocarbures provenant des véhicules, les caniveaux sont équipés de séparateurs d'hydrocarbures.



Prélèvement des eaux pluviales du Ravin de la Bête

Les eaux pluviales d'ITER font l'objet d'une analyse annuelle des matières en suspension et des hydrocarbures totaux.

Surveillance des prélèvements d'eau brute

La quantité d'eau prélevée (canal EDF ou barrage de Cadarache) est mesurée et les paramètres de turbidité, pH, conductivité, oxygène dissous et température sont contrôlés en continu.

D'autres analyses sont effectuées ponctuellement selon la qualité de l'eau brute. Elles permettent l'ajustement des taux de traitement de la station de production d'eau potable du Centre.

En effet, après prélèvement, l'eau est traitée puis des analyses physico-chimiques et bactériologiques sont réalisées périodiquement par l'exploitant à l'usine de production d'eau potable et en différents points du réseau.

Enfin, des analyses sur la ressource (eau brute) et la distribution (eau distribuée) sont effectuées par le Département d'Analyses des Bouches du Rhône (LDA 13) conformément à la réglementation relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine (décret 2001-1220).

4.9 Estimation des dépenses liées à l'environnement

La protection de l'environnement est partie intégrante de la mission de chaque personne travaillant sur le site de Cadarache. De la même façon, la conception des installations, leur exploitation et leur démantèlement comprennent une dimension de protection de l'environnement qu'il est très difficile de dissocier du coût global.

La totalité de l'effectif du laboratoire d'analyses et de surveillance de l'environnement, soit 32 personnes peuvent être considérées comme travaillant exclusivement pour la protection de l'environnement.

Il est également possible de quantifier la mise en place du management environnemental selon la norme ISO 14001 au CEA-Cadarache. Celle-ci s'est étalée sur 5 ans et a mobilisé 1,6 personne équivalent temps plein pendant la période et a occasionné environ un demi-million d'euros de dépenses diverses.

5 Analyse des méthodes d'évaluation de l'impact des activités du site sur l'homme et l'environnement et des difficultés rencontrées

5.1 Méthode d'évaluation des impacts des rejets d'effluents

L'évaluation des impacts résultant des rejets d'effluents chimiques et radiologiques dans l'environnement comprend les étapes suivantes :

- l'identification du danger, qui comprend l'inventaire des substances par type de rejet, la connaissance de leur flux à l'émission ainsi que de leur toxicité ;
- l'évaluation de la toxicité des substances mises en jeu sur l'homme et l'environnement ;
- l'évaluation des concentrations résultant des rejets dans les différents compartiments de l'environnement (eau, air, sol, denrées alimentaires) ;
- l'évaluation des expositions réalisée à l'aide de scénarii pénalisants (exposition par ingestion et/ou inhalation);
- l'estimation du niveau de risque ajouté sur l'environnement ou les populations locales.

L'évaluation de l'impact des rejets d'effluents s'appuie sur l'utilisation de codes informatiques qui permettent de modéliser les transferts dans l'environnement des substances contenues dans les effluents. Ces codes permettent également d'estimer l'impact sur la santé des populations locales et l'environnement proches du Centre. La plateforme de calcul CERES (Code d'Évaluations Rapides Environnementales et Sanitaires), développée par le CEA, a été retenue pour réaliser ces calculs. Cet outil est l'outil de référence pour le CEA et est utilisé pour l'ensemble des évaluations des conséquences des rejets d'effluents des installations du CEA. Tous les paramètres utilisés par l'outil sont accessibles et les modèles physiques mis en œuvre ont déjà été analysés par l'Autorité de sûreté nucléaire.

La plateforme de calcul CERES permet de réaliser l'ensemble des calculs d'impact des rejets gazeux et liquides, en conditions normales (module GASCON pour les rejets gazeux, module ABRICOT pour les rejets liquides), ainsi que pour les conditions de rejets ponctuels ou accidentels (module MITHRA). Elle modélise la dispersion des rejets de substances dans l'air ou l'eau et fournit les concentrations des radionucléides et des substances chimiques dans les différents compartiments de l'environnement. Ces concentrations ajoutées permettent ensuite d'estimer l'exposition induite, en tenant compte des différents modes de transfert de l'environnement à l'homme au travers des pratiques agricoles ainsi que des habitudes de consommation, et d'effectuer une comparaison avec les niveaux de toxicité chimiques et radioactifs (en termes de doses) des substances pour l'environnement et les populations.

5.1.1 Impact dosimétrique (rejet de substances radioactives)

L'objectif de l'évaluation de l'impact du rejet de substances radioactives en fonctionnement normal est de situer l'impact ajouté vis-à-vis de la limite réglementaire d'exposition pour le public (1 mSv par an) et des objectifs de sûreté pour les travailleurs. Cet impact ajouté pour le public est comparé à la dose moyenne annuelle en France (2,4 mSv). Les doses efficaces sont évaluées après 1 an et 50 ans de fonctionnement des installations ou encore pour la durée de vie prévue des installations si celles-ci sont bien définies a priori.

Pour les populations des groupes de référence, les voies d'exposition à considérer sont l'irradiation externe par le panache et les dépôts (rejets radioactifs uniquement), la dose par inhalation et la dose par ingestion, en prenant en compte une ration alimentaire représentative du site et du groupe étudié.

L'impact sanitaire est alors estimé en évaluant, à l'aide de coefficients de dose définis par la réglementation française ou à défaut issus des travaux d'experts, des doses efficaces (organisme entier) en distinguant les adultes des adolescents et des enfants.

Ce chapitre ne traite que de l'impact des rejets. Pour déterminer la dose efficace totale, il faut également tenir compte du rayonnement produit par les installations elles-mêmes. Ce point est traité par ailleurs. De manière générale, celui-ci est extrêmement faible comparativement à la dose potentiellement induite par les rejets.

Il n'existe pas encore de méthodologie validée pour la détermination de l'impact environnemental (cf. §5.2.3). L'évaluation est basée sur la comparaison des concentrations ajoutées dans l'environnement à celles préexistantes dans le milieu ou rencontrées à proximité ou dans des lieux non exposés aux rejets des installations.

Comme le site de Cadarache existe depuis plusieurs dizaines d'années et ses rejets annuels sont relativement constants, on peut avoir une estimation de son impact environnemental réel grâce aux mesures réalisées périodiquement dans l'environnement.

5.1.2 Impact sanitaire et environnemental (rejet de substances chimiques)

La méthodologie retenue pour l'évaluation de l'impact sanitaire des rejets de substances présentant un risque chimique reprend les recommandations de l'Institut National de Veille Sanitaire (InVS) et de l'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS).

Après la définition et la caractérisation des substances chimiques émises à l'environnement par voie atmosphérique ou liquide, on détermine les concentrations ajoutées dans le milieu récepteur, c'est-à-dire l'atmosphère, le sol ou l'eau puis on estime les niveaux d'exposition par inhalation et/ou ingestion, en prenant en compte une ration alimentaire représentative du site et du groupe étudié.

L'impact sanitaire est estimé, en évaluant, à l'aide des valeurs toxicologiques de référence relatives aux substances étudiées, soit des indices de risque (IR) dans le cas des substances avec effet de seuil (substances non cancérogènes), soit des excès de risque individuel (ERI) dans le cas des substances sans effet de seuil (substances cancérogènes). On additionne les indices de risque à un même organe, dus aux différentes substances présentes dans le rejet. De même, par prudence, l'INERIS conseille d'additionner les ERI liés aux différentes substances.

D'après l'INERIS¹⁹, si les indices de risque (IR) sont inférieurs à la valeur repère de 1, la survenue d'un effet toxique apparaît peu probable. Si les indices de risque sont supérieurs à 1, l'apparition d'un effet toxique ne peut être exclue.

D'après la littérature internationale (OMS, US-EPA), l'excès de risque individuel repère à ne pas dépasser se situe entre 10^{-5} (1 sur 100 000) et 10^{-6} (1 sur 1 million). Dans la fourchette de ces valeurs, la probabilité théorique qu'une personne développe un cancer d'un type donné lié à une exposition pendant sa vie entière (70 ans) à la substance considérée est comprise entre 1 sur 100 000 et 1 sur 1 million.

¹⁹ Evaluation des risques sanitaires dans les études d'impact des ICPE, INERIS, 2013.

L'évaluation de l'impact environnemental est basée, pour la voie atmosphérique, sur la comparaison des concentrations ajoutées dans l'environnement à des valeurs limites pour la protection des végétaux et des écosystèmes. Pour la voie liquide, cet impact est évalué par comparaison des concentrations dans l'environnement à des normes de qualité environnementales ou PNEC (Predicted No Effect Concentration).

5.1.3 Utilisation du code CERES pour estimer l'impact en fonctionnement normal

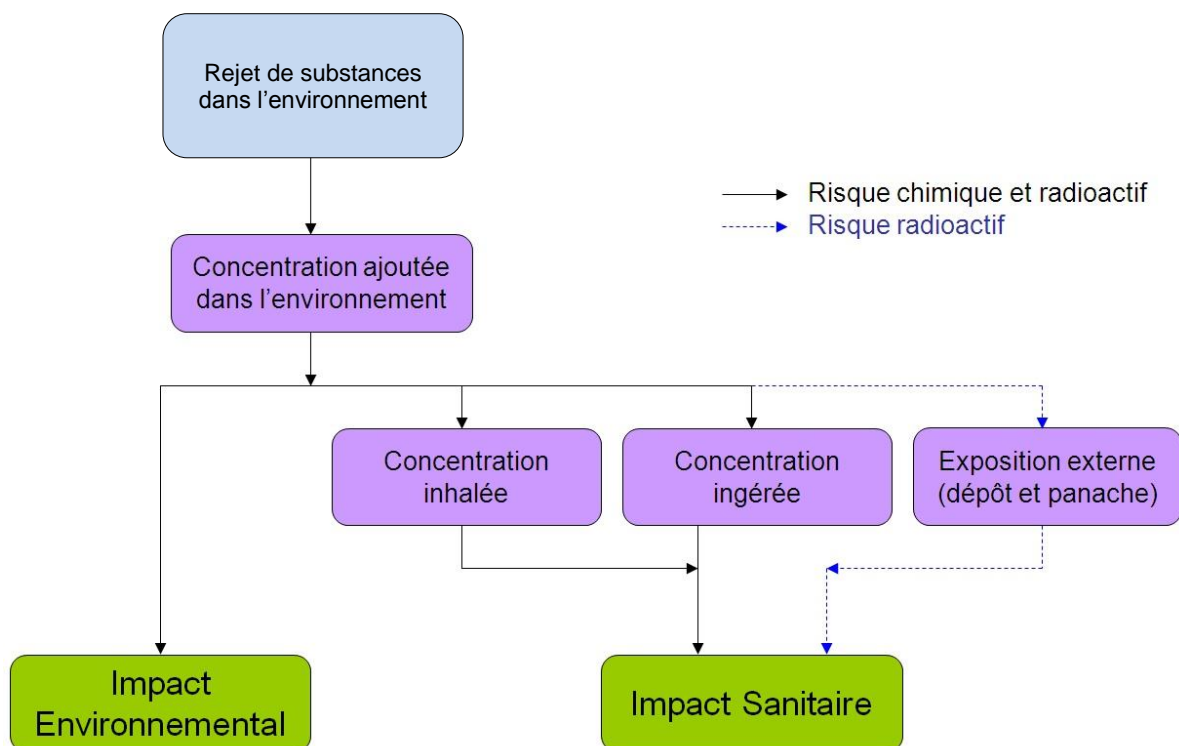
Une fois les données d'entrée du code CERES acquises, le code évalue la concentration (en Bq/m³ ou Bq/kg pour les substances radioactives et g/m³ ou g/kg pour les substances chimiques) transmise aux différents compartiments de l'environnement (air, eau, sol, végétation, animaux, etc.).

Pour les substances radioactives, les effets sur la santé des rejets sont évalués en calculant une « dose efficace » délivrée à l'individu et exprimée en Sievert (Sv). Cette valeur permet d'estimer la dose reçue pour l'ensemble de l'organisme. Pour les substances chimiques, les effets sur la santé sont évalués à partir de l'estimation d'Indices de Risque (IR) ou d'Excès de Risque Individuel (ERI).

CERES simule tout d'abord la dispersion des rejets dans l'environnement. Pour des rejets atmosphériques, la dispersion est basée sur des modèles à bouffées dont les formulations des écarts-types sont issues des travaux de Doury. Le code prend en compte l'effet d'appauvrissement du panache dû aux dépôts secs et humides.

La modélisation CERES prend également en compte, le cas échéant, la décroissance radioactive des radioéléments et leur filiation (un élément radioactif se transforme en un autre élément radioactif appelé son fils).

Ensuite, le code calcule les transferts des substances dans les divers compartiments de l'environnement (sol, plantes, animaux), en utilisant les facteurs de transfert spécifiques à chaque substance.



Le code prend ensuite en compte les habitudes alimentaires habituelles des populations locales pour calculer l'ingestion de substances.

☞ Pour les radionucléides, le code calcule la dose efficace annuelle reçue par les populations par les diverses voies d'exposition :

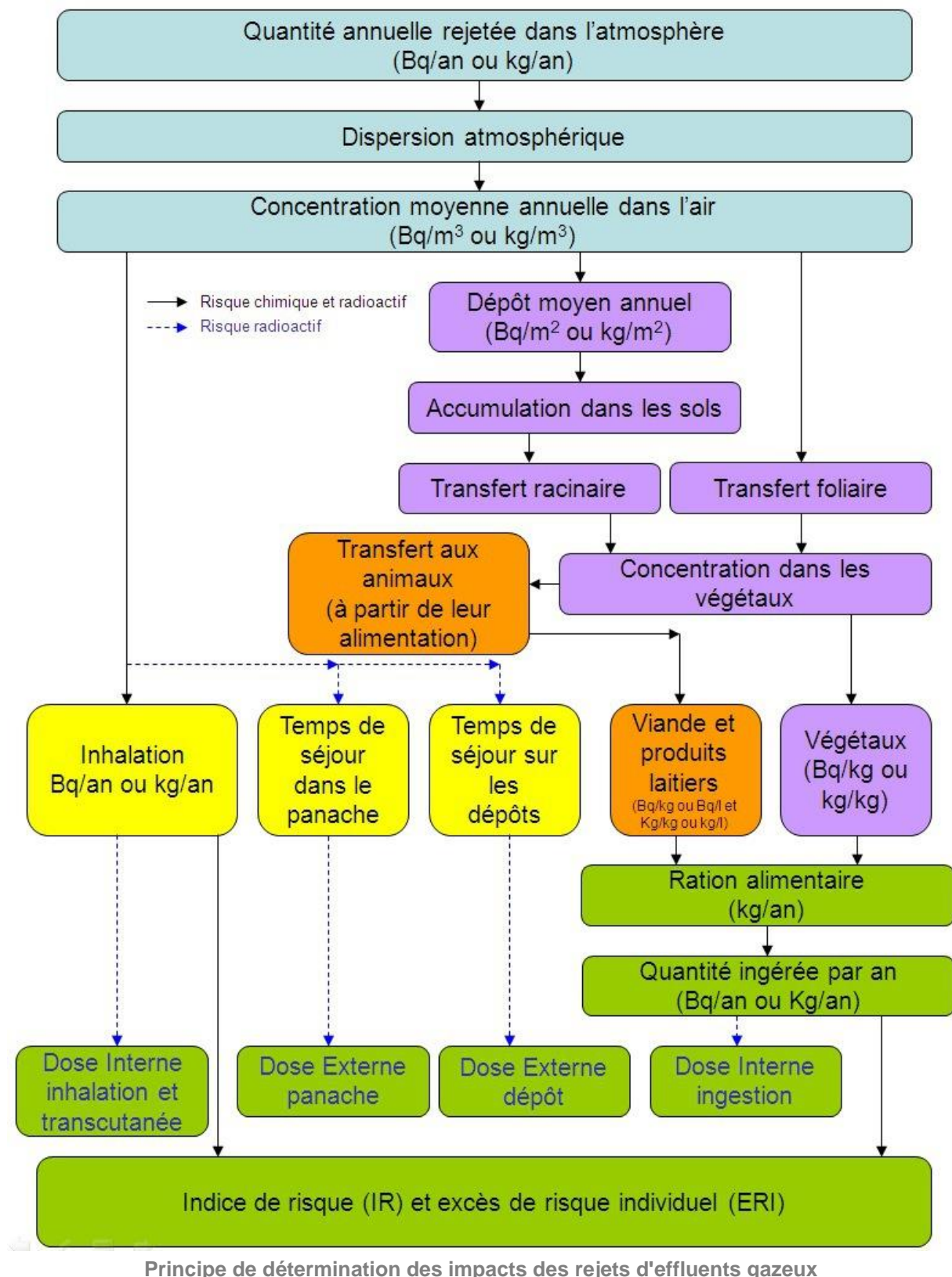
- rayonnements provenant du panache, du dépôt au sol et des sédiments ;
- inhalation et transfert par la peau ;
- ingestion d'eau potable, de poissons et de nourriture contaminés par des rejets atmosphériques ou liquides.

☞ Pour les substances chimiques une évaluation est faite à partir des indices de risques reçus par les populations selon les diverses voies d'exposition :

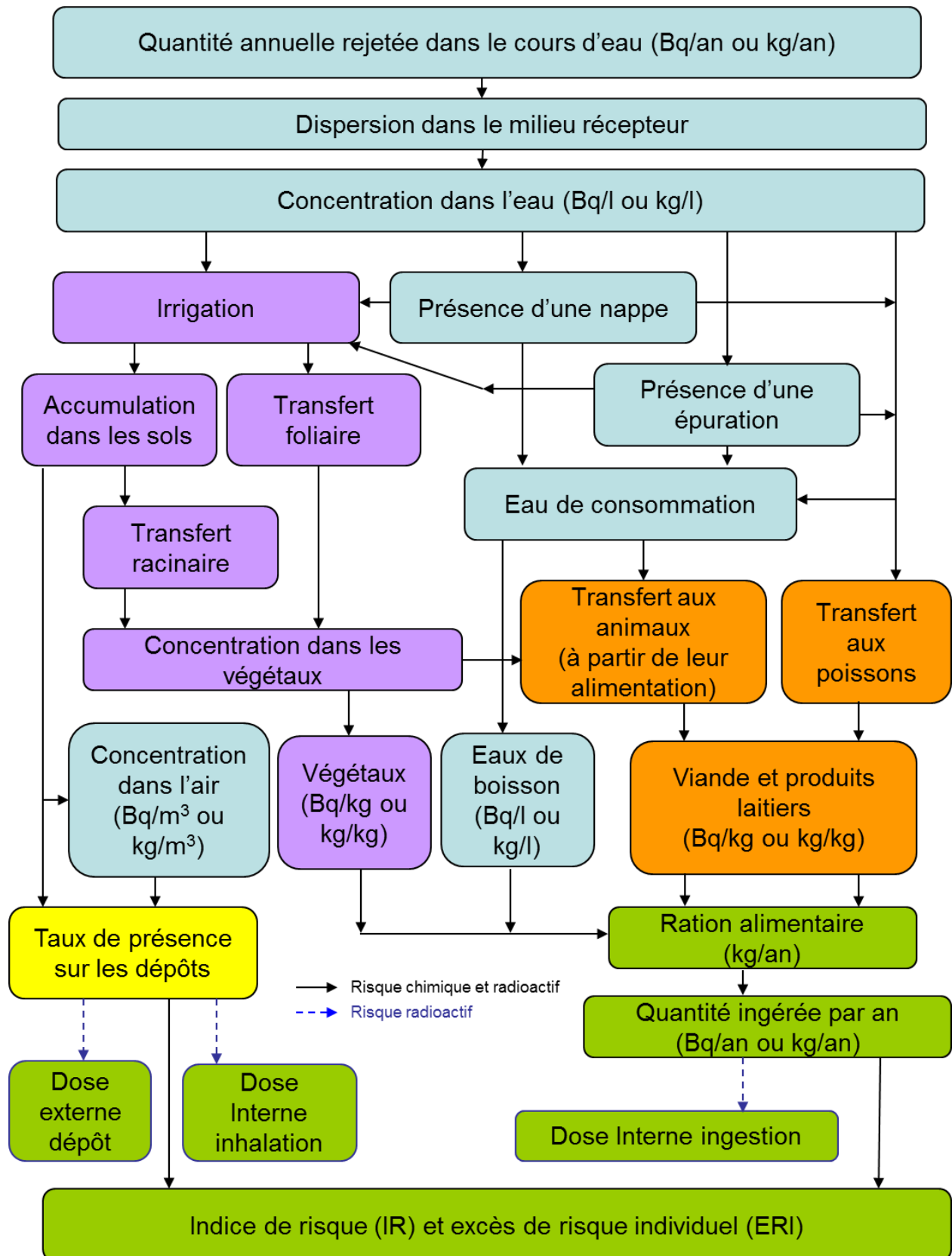
- inhalation ;
- ingestion d'eau potable, de poissons et de nourriture contaminés par des rejets atmosphériques ou liquides.

La partie suivante synthétise les méthodes de calcul utilisées pour estimer l'impact environnemental et sanitaire en conditions normales. Le détail est fourni en Annexe 2 (notamment les équations utilisées dans la plateforme CERES).

Le principe de détermination des impacts des rejets d'effluents gazeux est illustré dans le schéma de principe ci-après, valable pour les substances chimiques et radioactives.



Le principe de détermination des impacts des rejets d'effluents liquides est illustré dans le schéma de principe ci-après, valable pour les substances chimiques et radioactives.



Principe de détermination des impacts des rejets d'effluents liquides

5.1.4 Conséquences potentielles des rejets d'effluents sur l'environnement et la santé humaine

5.1.4.1 Méthodes employées

Les conséquences sur l'environnement résultent des sources d'exposition constituées par les rejets d'effluents liquides et gazeux, associés aux activités des installations, contenant des substances chimiques et radioactives.

Libérées dans l'environnement, les différentes matières se dispersent au sein du milieu dans lequel elles ont été rejetées et peuvent, sous l'influence de divers mécanismes, atteindre d'autres milieux.

Ainsi, les effluents rejetés dans l'atmosphère peuvent atteindre l'homme par le biais de l'air dans lequel il se trouve et qu'il respire, du dépôt au sol de particules, de pluie et/ou du transfert à d'autres milieux comme la chaîne alimentaire.

La dispersion atmosphérique est étroitement liée à la vitesse et à la direction du vent ainsi qu'à la turbulence de l'atmosphère. Elle dépend aussi des conditions d'émission (hauteur de rejet) et des phénomènes climatiques tels que la pluie dans le cas d'émission d'aérosols ou de vapeurs.

Ainsi, au terme d'un cheminement variable, les éléments rejetés peuvent atteindre l'homme, provoquant alors une exposition à des rayonnements ionisants et/ou une toxicité chimique.

Un cas particulier, le tritium

Le tritium peut être rejeté sous forme d'eau tritiée (HTO) et d'hydrogène tritié (HT). Bien qu'une partie du rejet puisse être effectuée sous forme d'hydrogène tritié, tous les calculs d'impact sont considérés le plus souvent avec une forme de vapeur d'eau tritiée (HTO), une forme chimique du tritium plus de 10 000 fois plus radiotoxique que l'hydrogène tritié, mais bien moins radiotoxique que les autres types de matières radioactives.

Les transferts du tritium dans l'environnement sont les suivants :

- atmosphère ; la vapeur d'eau tritiée (HTO) est assez facilement captée par les gouttes d'eau et se dépose même sans pluie ;
- sols ; une partie de l'eau tritiée déposée au sol est réémise dans l'atmosphère par évaporation à la vitesse d'environ 1% par heure. Une autre partie s'enfonce dans le sol et se mélange à l'eau du sol. Le tritium peut aussi être apporté à la surface du sol par infiltration directe d'eau tritiée liquide ;
- végétation ; le tritium sous forme de vapeur d'eau est relativement bien absorbé par les plantes :
 - suite à un transfert par voie foliaire, la majeure partie (99%) du tritium des feuilles est emportée par l'eau de transpiration et disparaît à raison de 50% toutes les 30 minutes. Le reste du tritium, fixé dans les cellules, disparaît beaucoup plus lentement ;
 - suite à un transfert par voie racinaire, le temps de résidence dans les plantes est plus long (quelques jours) et est fonction de celui du tritium dans le sol.

5.1.4.2 Exposition externe (spécifique rejets radioactifs)

Il y a exposition par voie externe lorsque le corps humain est soumis aux rayonnements émis par une source radioactive qui lui est externe. C'est l'irradiation externe. Dans ce cas, l'action directe des rayonnements prend fin dès que l'individu s'éloigne suffisamment de la source des rayonnements. Il peut exister également une exposition externe superficielle due aux dépôts de substances radioactives sur les vêtements ou la peau. Il s'agit de la contamination externe.

5.1.4.3 Exposition interne

Il y a exposition par voie interne lorsqu'il y a incorporation dans l'organisme humain, soit par inhalation, soit par ingestion de substances, soit encore par voie transcutanée (absorption directe par la peau ou blessure, considérée seulement pour les rejets radioactifs).

Toute contamination (de l'atmosphère, des surfaces, des vêtements ou des fluides) engendrant une exposition radioactive interne est également une source d'exposition externe. En effet, chaque élément de volume ou de surface contaminé constitue une source radioactive qui irradie à distance.

Un cas particulier : le tritium

L'absorption par l'organisme et le transfert vers le sang diffèrent selon les composés. L'hydrogène tritié (HT) est peu soluble dans l'eau ou les fluides corporels. Son assimilation est environ 10 000 fois plus faible que sous forme d'eau tritiée (HTO), si bien que la seule forme considérée dans les calculs est cette dernière, de manière pénalisante. L'absorption d'eau tritiée peut se faire également par ingestion d'eau de boisson ou par ingestion de l'eau des aliments. Le tritium peut aussi être absorbé sous forme de nourriture contenant du tritium dit organique (lié à des molécules organiques).

Le rayonnement β mis par le tritium ayant une faible énergie et un faible parcours, le tritium ne présente un risque radiologique que s'il pénètre dans l'organisme (exposition interne) :

- l'absorption par ingestion du tritium (HT), de l'eau tritiée (HTO) ou de fractions réduites de tritium organiquement lié (TOL) qui pourrait être généré dans les installations est quasi complète. En fonction de sa forme chimique, le tritium peut être absorbé directement ou après dégradation de la molécule porteuse. Suite aux recommandations de la Commission internationale pour la protection radiologique (CIPR), on considère que 3 % du tritium sous forme d'HTO sera converti en composé organique dans le corps humain, avec une **période effective biologique** de 10 jours. La moitié du TOL provenant de la nourriture est convertie en HTO en une **période biologique** de 40 jours. En 30 minutes, la distribution est homogène dans l'organisme ;

Période radioactive et période biologique

Une molécule non radioactive absorbée par l'organisme disparaîtra progressivement « par les voies naturelles » selon une loi du même type que celle de la décroissance naturelle de la radioactivité. Au bout d'un temps « t », il ne restera plus que la moitié de la substance considérée, au bout de 2t, il restera le quart, au bout de 3t, le 8^{ème}, etc. Le paramètre « t » est appelé « période biologique ». Un produit radioactif ingéré décroît à la fois par sa période radioactive et sa période biologique.

- le tritium et l'eau tritiée peuvent être inhalés sous forme gazeuse. Moins de 0,01% de l'activité inhalée d'hydrogène tritié (HT) passe dans le sang où une partie pourra être transformée en eau tritiée. 99% de l'eau tritiée inhalée est transférée dans le sang sans modification de la forme chimique.

Le tritium est un des radionucléides les plus étudiés par la recherche, même si tout n'est pas encore connu à son sujet. Le tritium est un des radionucléides les moins radiotoxiques pour l'homme.

5.1.4.4 De la quantité de radioactivité absorbée à la dose

La dose absorbée représente la quantité d'énergie absorbée, par unité de matière. Elle se mesure en Gray (Gy), 1 Gray représentant 1 Joule déposé dans 1 kg de matière.

Les différents types de rayonnement (α , β et γ) n'exercent pas le même effet sur les tissus. Afin de tenir compte de ces différences, la dose équivalente a été définie comme le produit

de la dose absorbée par le tissu ou l'organe par un facteur de pondération propre à chaque type de rayonnement. La dose équivalente s'exprime en Sievert (Sv) ; un Sievert représente une dose très élevée et on utilise généralement le milli-Sievert ($1 \text{ mSv} = 0,001 \text{ Sv}$).

Le rayonnement a une incidence différente sur chaque tissu et chaque organe. Afin de tenir compte de ces différences, la dose efficace a été définie comme la somme des doses équivalentes délivrées aux différents tissus ou organes du corps, par exposition interne et externe et pondérées par un facteur de sensibilité du tissu ou de l'organe. Elle s'exprime également en Sievert.

La dose efficace calculée par CERES est la somme des doses efficaces annuelles délivrées par expositions interne et externe aux différents tissus et organes du corps. Elle est liée aux différentes voies d'atteinte de l'homme.

Les doses efficaces sont estimées après la première année et après 50 ans. Le calcul est en effet effectué pour des rejets continus de la première année jusqu'à la cinquantième année d'exploitation.

La dose efficace par exposition externe aux dépôts tient compte de l'activité accumulée dans l'environnement depuis la mise en service de l'installation, ainsi que de la décroissance des radionucléides.

5.1.5 Hypothèses et méthodes utilisées pour les calculs d'impact des rejets atmosphériques

5.1.5.1 Filtration avant rejet (rejets radioactifs)

Les éléments de filtration de Très Haute Efficacité (THE) sont caractérisés par un coefficient d'épuration traduisant leur efficacité. De manière conservatrice pour la définition des rejets atmosphériques, le coefficient d'épuration, pour le premier filtre THE, est pris égal au minimum requis par cette norme à la dimension de particule la plus pénétrante, soit une efficacité de 99,9 %, dans le cas des aérosols, ce qui correspond à la prise en compte d'un rapport entre l'activité avant et après l'élément de filtration d'au moins 1000. Lorsque deux filtres à très haute efficacité sont en série, le coefficient d'épuration du second filtre THE en série est pris égal à 10, ce qui conduit à une efficacité globale de 99,99%.

5.1.5.2 Conditions de rejet

Compte tenu du nombre important d'exutoires et de leur répartition sur le Centre de Cadarache, on considère que le rejet de radioéléments de toutes les installations est effectué par une cheminée équivalente.

Les rejets de substances chimiques étant émis par un nombre plus restreint d'installations, chaque exutoire de rejet a été considéré.

5.1.5.3 Conditions météorologiques

Les conditions météorologiques sont établies à partir de mesures enregistrées par les stations météorologiques du Centre de Cadarache. Les données météorologiques sont réparties dans une rose des vents de 18 secteurs présentée au paragraphe 1.3.

Concernant les rejets non permanents de substances chimiques (rejets séquentiels) une condition météorologique unique a été retenue parmi celles mesurées sur le site de Cadarache. Il s'agit d'une condition météorologique raisonnablement pénalisante, c'est-à-dire qu'il s'agit d'une condition défavorable en termes de dispersion des polluants dans l'atmosphère mais néanmoins observée sur le site de Cadarache.

5.1.5.4 Populations exposées

Les populations retenues pour l'étude des effets des rejets gazeux sur l'environnement sont, compte tenu des conditions météorologiques locales, celles qui se trouvent être les plus proches du site : le Hameau, Saint-Paul-lez-Durance et Ginasservis.

L'impact radiologique est calculé pour l'adulte (17 ans et plus), l'enfant de 10 ans (représentatif de la tranche 7 à 12 ans) et l'enfant de 1 à 2 ans. L'impact chimique est évalué pour un adulte.

5.1.5.5 Habitudes alimentaires

De façon très pénalisante, on considère des taux de présence égaux à 100% quel que soit le lieu étudié et une autarcie alimentaire dans les villages pour les denrées produites localement.

On ne prend en compte pour le calcul d'impact que les denrées alimentaires susceptibles d'être produites localement. Le complément de la ration, non produit localement, n'est pas impacté par les rejets du site de Cadarache.

Les rations alimentaires retenues sont présentées en annexe 2.

5.1.5.6 Hypothèses associées au transfert de rejets atmosphériques vers le corps humain

☞ Rejets radioactifs

Les coefficients de dose efficace relatifs à l'incorporation de radionucléides par la voie interne (inhalation / ingestion) sont ceux préconisés par l'arrêté du 01/09/2003 définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants. Ces facteurs spécifiques à chaque radioélément fournissent la dose engagée pour chaque becquerel incorporé et dépendent de l'âge de la personne.

Pour le calcul de l'exposition externe, les facteurs de conversion en dose efficace ne dépendant pas du métabolisme des personnes et ne varient donc pas en fonction de l'âge. En revanche, ces facteurs sont fonction de la nature de la source : exposition au panache, à un dépôt de sol pour le domaine terrestre. Les coefficients de dose efficace qui permettent de quantifier l'exposition externe à partir des activités de l'air et de la surface du sol sont donnés par le rapport Federal Guidance n°12.

☞ Rejets chimiques

Les valeurs « repère » retenues pour l'évaluation de l'impact environnemental et sanitaire des rejets proviennent de l'article R. 221-1 du code de l'environnement, de l'Organisation Mondiale pour la Santé (OMS) également pour la qualité de l'air, de l'Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) proposant des valeurs de type "Minimal Risk Level" (MRL) pour différentes substances, de la base de données IRIS de l'US-EPA (United States - Environmental Protection Agency) synthétisant les informations épidémiologiques concernant plus de 500 polluants cancérigènes ou classés tels, des fiches de l'INERIS décrivant les caractéristiques de différentes substances, présentant des synthèses bibliographiques des études de toxicité réalisées sur ces substances, du rapport sur l'étude épidémiologique des installations du Nord Cotentin et de la base de données "the risk assessment information system" (RISK) fournissant des valeurs de toxicité pour des substances, à effets de seuil ou non, pour les voies inhalation et ingestion.

5.1.5.7 Évaluation de l'impact des rejets atmosphériques

Les effluents rejetés par voie atmosphérique se dispersent dans l'atmosphère selon les caractéristiques météorologiques du site.

Une certaine partie des particules contenues dans ces rejets se dépose, soit par gravité, soit par impact sur le sol ou la végétation rencontrée, soit à la suite de précipitations sur le sol. Elle migre ensuite dans la terre, dans les végétaux, dans les fourrages et les animaux. L'individu, en relation avec ces rejets par inhalation d'air, contact avec le sol et ingestion de produits alimentaires issus de la culture ou de l'élevage, est donc susceptible de subir un détriment par des rayonnements et/ou des toxiques chimiques, soit de façon directe (ingestion d'aliments ayant subi des dépôts d'aérosols et la pluie), soit de façon indirecte (ingestion d'aliments influencés par les transferts racinaires à partir du sol).

5.1.5.8 Transfert par le milieu atmosphérique

Le transfert par le milieu atmosphérique est évalué au moyen d'un calcul de dispersion atmosphérique qui permet, à partir du terme source exprimé en Bq/an (rejets radioactifs) ou kg/an (rejets chimiques) et des conditions météorologiques, d'évaluer les concentrations dans l'air des substances rejetées en moyenne annuelle (Bq/m^3 ou kg/m^3).

Ainsi, la détermination de l'impact passe par le calcul du coefficient de transfert atmosphérique, défini d'une façon générale entre une source et un point M (x,y,z) comme le rapport de la concentration intégrée sur le temps au point M à la quantité totale Q de substances émise par la source.

Le transfert atmosphérique est calculé en trois points représentatifs des différentes voies d'atteinte à l'homme :

- le lieu d'habitation ;
- le lieu de production du fourrage destiné aux animaux ;
- le lieu de production des végétaux consommés.

En chacun de ces points, un coefficient de transfert moyen spécifique à chaque substance est calculé en tenant compte des conditions météorologiques, de la décroissance radioactive (le cas échéant) et de l'appauvrissement par dépôts sec et humide (par lessivage par temps de pluie) des aérosols au sol.

Les calculs de concentration intégrée dans l'air sont effectués en considérant ce transfert atmosphérique à la distance du point d'émission.

☞ Rejets radioactifs

Cette concentration permet de calculer :

- la dose efficace due à l'irradiation par le panache ;
- la dose efficace due à l'inhalation de radionucléides lors du passage du panache qui est fonction du débit respiratoire moyen ($0,96 \text{ m}^3/\text{h}$ pour l'adulte, $0,64 \text{ m}^3/\text{h}$ pour l'enfant de 10 ans et $0,22 \text{ m}^3/\text{h}$ pour le nourrisson).

Le code calcule des flux de dépôts moyens annuels, en déduit des débits de dose dus au dépôt ainsi que les transferts aux végétaux.

☞ Rejets chimiques

Dans le cas d'un rejet d'une substance chimique, cette concentration permet de calculer l'indice de risque ou l'excès de risque individuel par inhalation qui est fonction du débit respiratoire moyen.

Le code calcule des flux de dépôts moyens annuels et en déduit les transferts aux végétaux.

5.1.5.9 Transfert par le milieu terrestre

Pour tenir compte de l'évolution des concentrations des substances rejetées en fonction de l'année, il faut additionner la concentration due aux dépôts des rejets de l'année et la concentration résiduelle due aux dépôts des années précédentes.

Les calculs sont effectués pour une exposition annuelle un an après le début de l'exploitation de l'installation considérée et 50 ans après le début de l'exploitation, en tenant compte pour les substances radioactives des produits de filiation des radioéléments rejetés et de leur décroissance radioactive.

Les concentrations en substances des végétaux dues au transfert par le sol sont estimées à partir de l'évaluation des dépôts au sol.

5.1.5.10 Transfert par la chaîne alimentaire

Les concentrations ajoutées dans les végétaux permettent de calculer :

- la dose efficace due à l'ingestion de végétaux et à l'ingestion de productions animales, pour les substances radioactives ;
- l'indice de risque ou l'excès de risque individuel dus à l'ingestion de végétaux et de productions animales, pour les substances chimiques.

De manière pénalisante, il est considéré que la totalité de l'alimentation des populations provient des productions locales impactées par les rejets.

Un calcul de la concentration en substances dans les produits d'origine végétale est effectué en prenant en compte le dépôt direct sur la masse foliaire et indirect via l'absorption racinaire. Pour les produits d'origine animale, on considère que leur alimentation est assurée uniquement par des produits d'origine locale.

5.1.6 Hypothèses et méthodes utilisées pour le calcul d'impact des rejets liquides

5.1.6.1 Conditions de rejet

Pour les calculs de dispersion, on suppose que les rejets dans la Durance sont continus, avec le débit minimal de la rivière de 4,5 m³/s.

5.1.6.2 Populations exposées

Les populations exposées aux rejets liquides sont les populations voisines utilisant l'eau de la Durance. La commune de Saint-Paul-lez-Durance a ainsi été retenue.

Saint-Paul-lez-Durance utilise l'eau de la Durance à des fins d'irrigation et pour l'abreuvement des animaux. L'eau potable provient de la source d'Abéou, qui n'est pas affectée par les rejets liquides dans la Durance.

L'impact radiologique est calculé pour les adultes, les enfants de 10 ans et les enfants de 1 à 2 ans.

5.1.6.3 Habitudes alimentaires

Les hypothèses adoptées sont identiques à celles présentées pour l'évaluation de l'impact des rejets atmosphériques.

5.1.6.4 Évaluation de l'impact des rejets liquides

Les substances rejetées dans la Durance sont diluées dans celle-ci en fonction du débit de rejet et du débit de la rivière. Une partie d'entre elles est emportée par le courant et transmise à l'homme via la chaîne alimentaire ou par inhalation suite à une remise en suspension d'aérosols provenant de l'eau d'irrigation après évaporation.

Les concentrations ajoutées pour chaque substance rejetée sont calculées à partir des quantités annuelles rejetées et du débit minimum de la Durance.

5.1.6.5 Transfert par le milieu aquatique

Les substances rejetées dans la Durance se répartissent en fonction de leurs caractéristiques physico-chimiques entre une phase aqueuse et une phase solide (matières en suspension) dans l'eau brute.

On utilise dans les calculs la notion de facteur de partage, rapport entre la part fixée sur les matières en suspension et celle de l'eau filtrée. La concentration moyenne annuelle est calculée en faisant le rapport des quantités de substances émises annuellement sur le débit annuel.

Le code de calcul permet de distinguer deux cas :

- l'utilisation directe de l'eau de la rivière pour l'irrigation ou l'abreuvement du bétail (eau brute) ou l'ingestion sous forme d'eau de boisson ;
- le pompage indirect via la nappe alluviale. Dans ce cas le modèle tient compte d'une atténuation des concentrations due à une possible dilution par d'autres sources et due également à la filtration par les terrains traversés qui dépend du facteur de distribution entre l'eau et les matières solides.

Pour les substances radioactives, l'utilisation d'un facteur de conversion en dose efficace permet d'évaluer l'influence par ingestion d'eau de boisson.

Les concentrations des substances dans le poisson sont supposées égales celles se trouvant dans l'eau. Il est considéré de façon maximaliste que la totalité du poisson consommé provient de la Durance.

5.1.6.6 Transfert par la chaîne alimentaire

Transfert aux végétaux irrigués

La concentration des substances dans les végétaux irrigués est calculée en tenant compte d'une part de la contamination directe par transfert eau-feuille et d'autre part du transfert racinaire. Ce dernier dépend des caractéristiques du sol et du métabolisme des plantes vis-à-vis des différentes substances considérées.

Le calcul du transfert racinaire est effectué pour des périodes d'accumulation dans le sol jusqu'à 50 ans. On tient compte pour ce calcul des apports annuels dans le sol et des pertes par **lixiviation** et décroissance radioactive, le cas échéant. On utilise la concentration en substances de l'eau brute (eau de surface).

Lixiviation

Traitement d'une substance par un liquide pour en extraire les constituants solubles. Par extension, perte des constituants solubles d'une substance exposée à l'eau.

Transfert aux produits d'origine animale

Toutes les substances ajoutées dans l'environnement par les rejets liquides se retrouvent dans les produits d'origine animale par :

- ingestion d'aliments solides ; on suppose ici que tous les aliments consommés par les animaux d'élevage sont produits localement ;
- abreuvement.

Pour chaque voie de transfert, la concentration des substances dans les parties consommées de l'animal est le produit d'un facteur de transfert spécifique à cette voie, par la quantité journalière incorporée correspondante. Les concentrations résultant de chaque voie de transfert sont sommées.

Transfert aux poissons

La concentration dans les poissons des substances rejetées est déduite directement de la concentration dissoute dans l'eau de la rivière par utilisation de facteurs de transfert à l'équilibre.

5.1.6.7 Transfert par le milieu atmosphérique

Une partie des aérosols du sol sur lequel se fixent les substances présentes dans l'eau d'irrigation est remise en suspension par évaporation. CERES évalue alors, selon la nature de la substance, la dose intégrée ou l'indice de risque et l'excès de risque individuel par inhalation correspondante.

5.2 Difficultés rencontrées

5.2.1 Caractérisation des effluents

Les rejets réels des différentes installations du site peuvent varier considérablement d'une année sur l'autre, en fonction des programmes de recherche qui sont menés et de la survenue ou non d'éventuels événements exceptionnels d'exploitation (la vidange d'une cuve ou le rejet de gaz rares après décroissance, etc.).

Par exemple, les rejets annuels d'un réacteur de recherche sont intimement liés à sa durée effective de fonctionnement. Le réacteur peut être arrêté plusieurs années, le temps de le modifier pour l'adapter aux nouvelles expériences à mener. Dans ce cas, il rejettera très peu. A l'inverse, lors de sa période de fonctionnement, il produira beaucoup plus d'effluents, le rapport peut dépasser largement un facteur 100 ou 1 000. Dans tous les cas, les rejets resteront bien en deçà des valeurs pour lesquelles un risque sanitaire pourrait apparaître.

En raison de cette imprécision de la prévision des rejets réels des installations, on prend systématiquement les limites annuelles de rejet pour faire les calculs d'impact. Ainsi on est sûr que les résultats des calculs seront toujours supérieurs aux impacts réels.

Néanmoins, on cherche à se rapprocher au plus près possible de la réalité. C'est notamment pour cette raison que la rose des vents moyenne annuelle et les conditions de diffusion sont issues de mesures réalisées sur site depuis de nombreuses années.

5.2.2 Calculs d'impacts radiologique et chimique

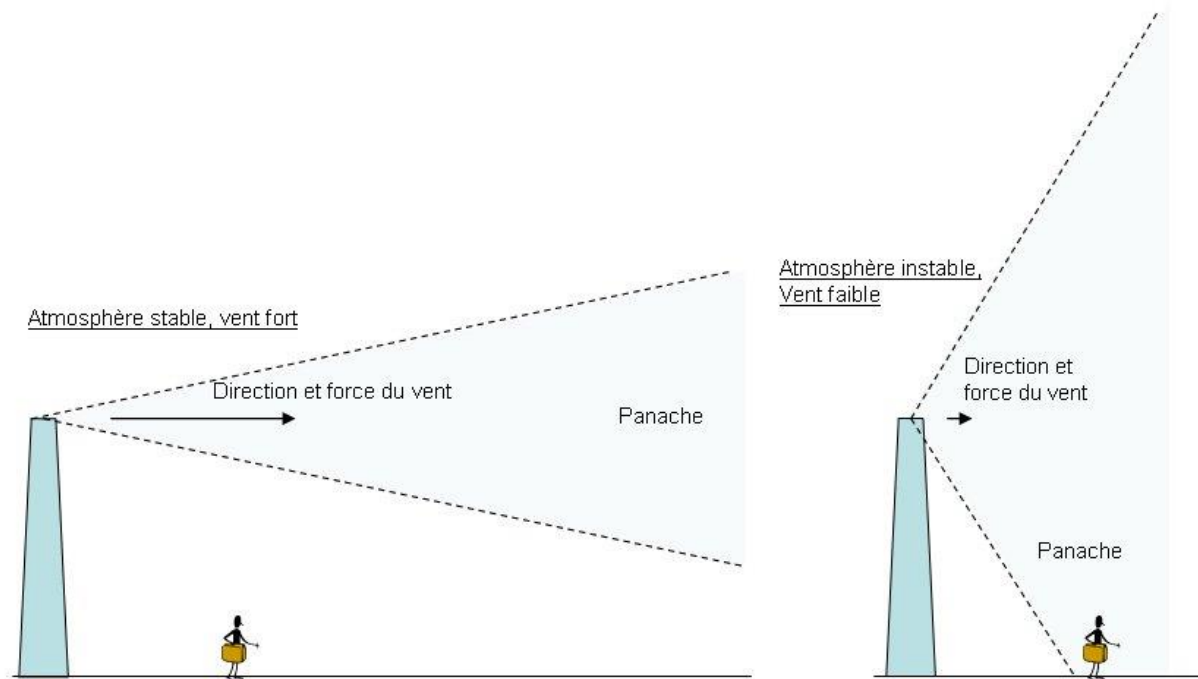
Les méthodes utilisées qui ont été présentées dans les paragraphes précédents sont le résultat de plusieurs dizaines d'années de recherches et de mises au point. Ces méthodes sont à présent totalement acceptées par la communauté internationale et ne présentent plus de difficultés de mise en œuvre.

Les difficultés de détermination de certains paramètres méritent cependant quelques développements.

Tout d'abord, les calculs ne sont pas représentatifs du mode de vie de chaque individu, un exemple suffit à le mettre en évidence : tous les habitants de Saint-Paul-lez-Durance n'arrosent pas leur jardin avec l'eau de la Durance. Leur exposition aux rejets liquides du site de Cadarache sera donc différente.

Pour contourner cette difficulté, la méthode utilisée définit des groupes théoriques d'individus, dits « groupes de référence » qui, selon leur position géographique (sous les vents dominants ou non, près de la Durance ou éloignés, etc.) et leur mode de vie (âge, type d'alimentation et de boisson), pourront être plus ou moins exposés aux conséquences des rejets gazeux et liquides du site.

Il est évident qu'un groupe qui ne consomme que des produits locaux, influencés par les rejets du site, sera plus exposé qu'un groupe qui n'en consomme pas. Par contre, il est beaucoup moins évident qu'un groupe qui se trouve à proximité immédiate du site soit plus exposé aux rejets gazeux qu'un groupe plus éloigné : il faut tenir compte de la direction des vents et de l'état de l'atmosphère au moment du rejet (stable ou instable).



Il n'est donc pas facile de déterminer, *a priori*, quel sera le groupe théorique le plus exposé. C'est pour cette raison que l'on fait plusieurs calculs sur plusieurs groupes afin de déterminer les conséquences des rejets pour chacun d'eux.

Le but ultime de tous ces calculs est de vérifier que les conséquences des rejets sont acceptables pour tous les individus susceptibles d'y être exposés. Comme tous les paramètres ne peuvent pas être déterminés avec précision, on résout la difficulté en utilisant une démarche pénalisante qui consiste à systématiquement retenir les hypothèses ou paramètres qui conduiront à une détermination de l'impact par excès. Par exemple, comme on ne peut savoir avec précision la part de produits locaux dans l'alimentation, on suppose que l'alimentation est composée à 100% de produits locaux. Ainsi on est sûr que l'impact réel sera au plus égal à celui qu'on a calculé et très certainement inférieur, puisque l'immense majorité de la population ne consomme pas que des produits locaux.

Comme cette surestimation est systématique, dès qu'un paramètre peut être entaché d'une incertitude ; les calculs d'impact donnent ainsi des résultats très supérieurs à la réalité.

Concernant les estimations des impacts des rejets chimiques, le CEA est régulièrement confronté, pour les besoins de ses installations, à des interrogations quant au choix des Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) dans les évaluations des risques sanitaires telles qu'usuellement pratiquées pour les études d'impact des installations classées et la gestion des sites et sols pollués.

L'INERIS a développé un portail spécifique concernant les substances chimiques (<http://www.ineris.fr/substances/fr/>). Le portail substances chimiques de l'INERIS fournit des grandeurs caractéristiques sur les substances chimiques dans les domaines suivants : écotoxicologie, toxicologie, données technico-économiques ; il n'est malheureusement pas exhaustif à ce jour.

Il reste donc de nombreuses substances pour lesquelles les VTR sont absentes, que ce soit sur le portail INERIS ou dans la littérature (US-EPA, ATSDR, OMS, etc.).

5.2.3 Les calculs d'impact radiologique sur l'environnement

Les méthodes de calcul d'impact ont été en priorité développées pour estimer l'impact sanitaire des rejets d'effluents radioactifs. Pour ce qui concerne l'impact sur l'environnement, les méthodes et paramètres sont en cours de définition. De nombreux groupes de travail Autorité de sûreté / organismes de recherche / exploitants d'installation étudient le sujet.

Aujourd'hui, nous avons une bonne connaissance des méthodes de détermination des impacts des rejets radioactifs sur la santé humaine, les incertitudes sur les effets de la radioactivité à faible dose sont prises en compte dans les modèles. Ces connaissances ne peuvent que très partiellement être transposées directement aux autres êtres vivants. Nous savons par exemple que les bactéries résistent beaucoup mieux que l'homme à l'exposition aux rayonnements.

D'autre part, l'acquisition de la connaissance fine des effets de la radioactivité sur tous les organismes vivants non humains est une tâche compliquée qui n'a pas encore abouti à la mise en place de méthodologie et a fortiori d'outils pour l'évaluation de l'impact associé.

Dans l'état actuel des choses, les codes de calcul donnent les activités ajoutées dans les différents compartiments de l'environnement mais ne permettent pas d'estimer les niveaux d'exposition car il n'existe pas aujourd'hui de valeurs réglementaires pour la faune et la flore du même type que celles utilisées pour caractériser l'exposition du public (dose unitaire issue de l'arrêté du 1^{er}/09/2003). Il n'existe également pas de valeur de référence qui permettent de caractériser le risque.

Pour les substances chimiques l'évaluation de l'impact environnemental se base sur la méthodologie de l'évaluation des risques décrite dans le Document Guide Technique européen (TGD) mais ne présentent des concentrations prédites sans effets (PNEC) que pour un nombre restreint de substances.

Dans le cadre du programme de surveillance du site de Cadarache, nous disposons du suivi de l'environnement depuis la création du Centre, soit une cinquantaine d'années. Les rejets d'effluents chimiques et radioactifs ont varié au cours des différentes années, et en moyenne ont été plus importants par le passé, notamment quand l'installation Rapsodie était en fonctionnement.

La surveillance de l'environnement n'a jamais montré de marquage significatif de l'environnement attribuable aux rejets de Cadarache. Par exemple, l'analyse de la Durance en amont et en aval du rejet ne montre pas de différence notable, que ce soit pour les concentrations de substances chimiques et radioactives dans l'eau ou dans les sédiments et les organismes aquatiques (cf. §1.9.2.1). Ce sont ces résultats et leur extrapolation qui permettent de porter un jugement sur l'impact environnemental des activités du site de Cadarache et sur son évolution dans le temps.

6 Impact des activités du site de Cadarache sur la santé

6.1 Impacts des rejets par voie atmosphérique

6.1.1 Impact résultant de l'exposition à des substances chimiques

La voie inhalation et la voie ingestion ont été considérées, pour les substances à effet de seuil (effets toxiques non cancérogènes) et les substances sans effet de seuil (effets cancérogènes).

Pour les substances à effet de seuil, les indices de risque sont toujours inférieurs à 1, qu'il s'agisse de la voie inhalation ou de la voie ingestion. Le risque sanitaire dû à l'exposition à des substances chimiques toxiques contenues dans les rejets du site de Cadarache peut donc être considéré comme non préoccupant.

Pour les substances sans effet de seuil, les excès de risque individuel sont toujours inférieurs à 10^{-5} . L'excès de risque individuel dû à l'exposition à des substances chimiques cancérogènes contenues dans les rejets du site de Cadarache peut également être considéré comme non préoccupant.

6.1.2 Impact résultant de l'exposition à des substances radioactives

La dose totale due aux rejets atmosphériques de l'ensemble des installations de Cadarache est inférieure à 10 μ Sv/an pour un adulte au Hameau et Saint-Paul-lez-Durance qui sont, parmi les lieux étudiés, ceux où les doses les plus fortes ont été calculées.

La dose pour les enfants est toujours inférieure à celle des adultes. La dose est très majoritairement due au Tritium (53%), celle due au Carbone est d'environ 30%.

Les rejets de Radon conduisent également à des doses efficaces pour ces mêmes lieux inférieures à 10 μ Sv/an.

6.2 Impacts des rejets par voie liquide

6.2.1 Impact résultant de l'exposition à des substances chimiques

Pour les substances à effet de seuil, les indices de risque dus aux concentrations apportées par le site sont inférieurs à 1.

Pour les substances sans effet de seuil, les excès de risque individuels sont inférieurs à 10^{-5} .

Le risque sanitaire dû aux rejets du site de Cadarache peut donc être considéré comme non préoccupant.

6.2.2 Impact résultant de l'exposition à des substances radioactives

La dose efficace due au rejet liquide de la totalité des installations du Centre de Cadarache est inférieure à 10 μ Sv/an pour un adulte à Saint-Paul-lez-Durance.

Cette dose est principalement due à l'irradiation par les dépôts et à consommation de poisson. Il n'y a pas de radionucléide vraiment prépondérant, la dose la plus élevée est due au ^{94}Nb .

6.2.3 Cas particulier de l'INB56

L'INB56 Tranchées, située dans la partie sud-ouest du Centre de Cadarache, est un entreposage de déchets radioactifs de basse activité, en tranchées creusées en pleine terre, initié en 1970. Les 5 tranchées présentes dans l'emprise de l'INB sont à l'origine d'un marquage en radioéléments, et notamment en tritium, au niveau des aquifères sous-jacents.

Les mesures réalisées en janvier 2011 montrent que le tritium présente un panache qui reste confiné autour des tranchées, que ce soit dans le Miocène ou le Crétacé. En effet ces mesures montrent qu'à environ 50 mètres en aval des tranchées elles sont à la limite de détection des appareils (~ 2 Bq/l).

Modélisation de l'impact du marquage en Tritium des Tranchées

Le transfert du tritium dans le système a été modélisé, en 3D, avec le code de calcul MARTHE. Les propriétés des aquifères présents sur le site (Quaternaire, Miocène et Crétacé) ainsi que les paramètres de transport utilisés pour la modélisation sont conservatifs et ont été estimés au regard des mesures réalisées et des caractéristiques du milieu.

La plupart des déchets étant conditionnés dans des fûts, sacs vinyles et coques, la mise à disposition du tritium dans les tranchées est probablement progressive et contrôlée par la dégradation de ces conditionnements.

Afin de réaliser un calcul enveloppe, une source continue de radionucléides est injectée dans les 5 tranchées correspondant à une valeur haute moyennée issue des concentrations mesurées dans les puits.

Au niveau du ruisseau du Ravin de la Bête, considéré comme l'exutoire des écoulements, et dans les conditions très pénalisantes du calcul, les concentrations en tritium atteignent un plateau vers 100 ans et restent inférieures à 20 Bq/L ; dans cette gamme de concentrations l'impact sur l'homme et l'environnement est négligeable.

La zone d'entreposage de l'INB56 a été mise en service en 1963 dans le but d'assurer l'entreposage des déchets solides radioactifs provenant du fonctionnement ou du démantèlement d'installations du CEA.

Les différentes analyses réalisées dans les piézomètres du vallon de la Bargette, où est localisé l'entreposage, mettent en évidence un marquage de la nappe en radioéléments à proximité de la zone des fosses.

La plupart des éléments restent confinés dans les premiers mètres de l'installation ; le tritium, qui est un traceur de l'eau, est l'élément qui présente le panache le plus étendu même si celui reste mineur puisqu'une concentration de 10 Bq/l au maximum est mesurée dans le piézomètre TFA3 situé 200 mètres en aval des fosses.

Modélisation de l'impact du marquage en Tritium des Fosses

Le transfert du tritium dans le système a été modélisé, en 3D, avec le code de calcul MARTHE dans les mêmes conditions que pour les tranchées.

La modélisation a été menée en régime hydraulique permanent en période de hautes eaux, ce qui maximise le gradient de charge dans le Miocène.

Au niveau du ravin de la Bête, exutoire potentiel le plus proche de la zone des fosses, les concentrations dans les formations aquifères sont au maximum de 1,2 Bq/l, 0,9 Bq/l et $2 \cdot 10^{-3}$ Bq/l respectivement dans l'aquifère du Quaternaire, du Miocène et du Crétacé. Ces concentrations sont faibles ; elles n'induisent pas d'impact sur l'homme et l'environnement.

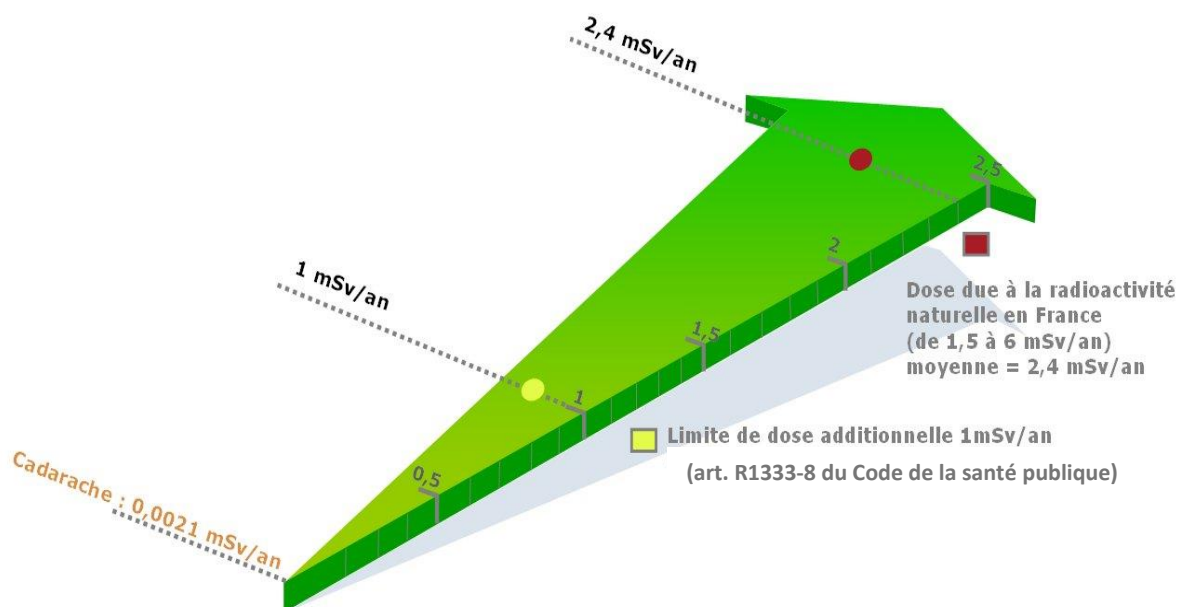
6.3 Impact dosimétrique global

L'impact dosimétrique total, dû aux rejets liquides et gazeux de toutes les installations du Centre de Cadarache, est inférieur à $10 \mu\text{Sv/an}$ pour Saint-Paul-lez-Durance, commune soumise à la fois aux rejets gazeux et liquides, ou le Hameau, soumis uniquement aux rejets gazeux.

L'impact dosimétrique global comprend également la dose efficace due au rayonnement des installations du site de Cadarache. Celle-ci est estimée au maximum à $0,001\text{mSv}$ dans les conditions les plus défavorables (chasseur systématiquement posté en limite de clôture, à l'endroit où le rayonnement est le plus élevé).

Afin de prendre en compte les incertitudes sur la valeur du facteur de pondération W_R du au rayonnement du tritium, une étude de sensibilité a été menée pour 3 valeurs de W_R (0,5, 1 et 2). Il s'avère qu'une variation d'un facteur 1 à 4 de la valeur du W_R du tritium entraîne une variation au maximum de l'ordre de 15% sur la dose efficace totale.

Afin d'être exhaustif dans l'estimation de l'impact global des rejets de matière radioactive, il convient d'ajouter l'impact des rejets diffus de radon. Ainsi l'impact radiologique total pour la commune de Saint-Paul-lez-Durance reste inférieur à $10 \mu\text{Sv/an}$ quel que soit la classe d'âge concernée.



Comparaison de l'impact des rejets de Cadarache avec celui de la radioactivité naturelle