		SPECIFICATION TECHNIQUE	Page 1/28
		Accord	
		Réf. : CEA/DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMTE/ST/DL 2024-031	
		Date : 29/11/2024	Indice : B
Cahier des charges pour la refonte des modèles hydrogéologiques opérationnels du site de Cadarache			

Direction des énergies
Institut de recherche sur les systèmes nucléaires pour la production d'énergie bas carbone
Département de technologie nucléaire
Service mesures et modélisation des transferts et accidents graves
Laboratoire de Modélisation des Transferts dans l'Environnement

Cahier des charges pour la refonte des modèles hydrogéologiques opérationnels du site de Cadarache

Niveau de protection du marché

Cocher la case :

☒ Libre

☐ Sensible* ☐ sans enquête administrative ☐ avec enquête administrative

☐ Classifié* ☐ avec accès ☐ avec détention ☐ Secret ☐ Très Secret

Spécial France ☐ OUI ☐ NON

Intervention sur le périmètre du CEA/DAM ☐ OUI ☒ NON

MDS ☐ OUI ☐ NON

Protection des informations (application de l'IGI 1300 arrêté du 09 août 2021)

Cocher la case :

☒ Le présent cahier des charges / DCE ne contient aucune information sensible ; il peut être mis en ligne sur la plateforme dématérialisée du CEA

☐ Le présent cahier des charges / DCE contient des informations sensibles ou DR : sa mise en ligne sur la plateforme dématérialisée du CEA ne peut se faire qu'en utilisant des conteneurs ZED.


☐ Le présent cahier des charges / DCE contient des informations classifiées : sa mise en ligne sur la plateforme dématérialisée du CEA est interdite.

* Signature Correspondant Sécurité DTN

Visa :

BAREIX Paul (DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMTE)

Document propriété du CEA – Reproduction et diffusion externes au CEA soumises à l'approbation du Remetteur

		SPECIFICATION TECHNIQUE	Page 2/28
		Accord	
		Réf. : CEA/DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMTE/ST/DL 2024-031	
		Date : 29/11/2024	Indice : B
	Cahier des charges pour la refonte des modèles hydrogéologiques opérationnels du site de Cadarache		

NIVEAU DE CONFIDENTIALITE

Diffusion Limitée	Confidentiel	Diffusion Restreinte	Secret	Très Secret
X				

PARTENAIRES/CLIENTS	ACCORD	TYPE D'ACTION
	n° de l'accord	

REFERENCES INTERNES CEA


Direction pilote	Programme	Projet	e-OTP
DPE	INSTA	MRISQ	A-MRISQ-01-02
Jalon	Intitulé du jalon	Délai contractuel de confidentialité	Durée de conservation
J24_1726	Cahier des charges de refonte du modèle hydrogéologique de Cadarache		

HISTORIQUE DES MISES A JOUR

Indice	Date d'émission	Objet de la mise à jour
B	25/02/2025	Suppression de la tranche optionnelle Modification des conditions générales d'exécution
A	29/11/2024	Emission initiale

	Nom	Visa
REDACTEUR	BAREIX PAUL	
VERIFICATEUR	GIBERT EMILIE	
APPROBATEUR	BODEI SABINE	
ÉMETTEUR	DIAZ LAURENT	Date d'application ;
APPROBATION DU CHEF DU DTN	BASINI VIRGINIE	

Document propriété du CEA – Reproduction et diffusion externes du CEA soumises à l'approbation du Remetteur

		SPECIFICATION TECHNIQUE	Page 3/28
		Accord	
		Réf. : CEA/DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMTE/ST/DL 2024-031	
		Date : 29/11/2024	Indice : B
	Cahier des charges pour la refonte des modèles hydrogéologiques opérationnels du site de Cadarache		

MOTS CLES

Modèle hydrogéologique, 3D, milieu poreux, milieu fracturé, transport, hydrodynamique


RESUME/CONCLUSIONS

Dans le cadre de réexamens de sûreté, de dossiers de démantèlement ou autres scénarios accidentels, le CEA doit disposer d'outils capables de simuler le transfert de substances dans les nappes et d'aider au prépositionnement/prédimensionnement éventuel de dispositifs de protection. Actuellement, ce besoin est notamment couvert sur le site de Cadarache grâce à des modèles hydrogéologiques opérationnels 3D.

Suite (i) aux nouvelles données acquises depuis sa création, (ii) à l'amélioration de la compréhension du fonctionnement du système hydrogéologique du site, (iii) à la mise en évidence des limites d'ergonomie et de représentativité des modèles précédemment développés, et (iv) à l'évolution des outils disponibles, le CEA, via le Laboratoire de Modélisation des Transferts dans l'Environnement (LMTE), souhaite la refonte complète de ces modèles hydrogéologiques opérationnels.

Les objectifs de la prestation sont, sous le code MARTHE (© BRGM), la construction et le calage en hydrodynamique d'un modèle hydrogéologique régional 3D puis la construction et la validation de deux modèles locaux.

Document propriété du CEA – Reproduction et diffusion externes du CEA soumises à l'approbation du Remetteur


		SPECIFICATION TECHNIQUE	Page 4/28
		Accord	
		Réf. : CEA/DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMTE/ST/DL 2024-031	
		Date : 29/11/2024	Indice : B
	Cahier des charges pour la refonte des modèles hydrogéologiques opérationnels du site de Cadarache		

LISTE DE DIFFUSION

Destinataires CEA :


DES/EC/DPE	L. BERTRAND
DES/EC/DGCP/SA2P	F. DUBOIS
DES/IRESNE/DIR	J.M. RUGGIERI C. DELLIS
DES/IRESNE/DTN/DIR	V. BASINI J. IMBACH E. TEVISSSEN
DES/IRESNE/DTN/SMTA	L. DIAZ G. JOMARD P. FOUGERAS
DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMAG	F. SANCHEZ
DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMN	C. ROURE
DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMCT	L. VIO
DES/IRESNE/DTN/SMTA/LEAG	A. BACHRATA-KUBIC
DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMTE	Tout personnel
GED DTN	

Document propriété du CEA – Reproduction et diffusion externes au CEA soumises à l'autorisation du Remettant


		SPECIFICATION TECHNIQUE	Page 5/28
		Accord	
		Réf. : CEA/DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMTE/ST/DL 2024-031	
		Date : 29/11/2024	Indice : B
Cahier des charges pour la refonte des modèles hydrogéologiques opérationnels du site de Cadarache			

SOMMAIRE

1	INTRODUCTION	8
1.1	Objet du document	8
1.1.1	Cadre général	8
1.1.2	Objectifs de la prestation	8
1.2	Glossaire.....	9
2	PRESENTATION DU SITE DE CADARACHE	10
2.1	Contexte général.....	10
2.1.1	Contexte géographique	10
2.1.2	Contexte hydrographique	10
2.2	Contexte géologique et hydrogéologique.....	11
2.2.1	Contexte géologique.....	11
2.2.2	Contexte hydrogéologique.....	12
2.3	Valeurs moyennes des paramètres hydrodynamiques	14
3	DESCRIPTION DE LA PRESTATION	15
3.1	Exigences générales	15
3.1.1	Maîtrise et utilisation du logiciel MARTHE (© BRGM)	15
3.1.2	Aquifères à intégrer	15
3.1.3	Attendus pour les modèles	15
3.1.4	Phasage global.....	17
3.2	Phase A : construction du modèle régional	18
3.2.1	Attendus.....	18
3.2.2	Points d'attention	18
3.3	Phase B : calage du modèle régional	18
3.3.1	Attendus.....	18
3.3.2	Points d'attention	19
3.4	Phase C : construction des modèles locaux	20
3.4.1	Attendus.....	20
3.4.2	Points d'attention	21
3.5	Phase D : application de cas tests sur les modèles locaux	21
3.5.1	Attendus.....	21
3.5.2	Points d'attention	21
3.5.3	Description des cas tests.....	21

		SPECIFICATION TECHNIQUE	Page 6/28
		Accord	
		Réf. : CEA/DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMTE/ST/DL 2024-031	
		Date : 29/11/2024	Indice : B
		Cahier des charges pour la refonte des modèles hydrogéologiques opérationnels du site de Cadarache	

4	DEROULEMENT DE LA PRESTATION	22
4.1	Données d'entrée fournies par le CEA	22
4.2	Réunions.....	22
4.2.1	Réunions d'enclenchement et de clôture de la prestation	22
4.2.2	Réunions d'enclenchement/clôture des phases	22
4.2.3	Réunions de coordination/thématiques	22
4.2.4	Réunions spécifiques	23
4.3	Livrables	23
4.3.1	Suivi de la prestation	23
4.3.2	Réalisation de la prestation	23
4.3.3	Phasage des livrables	24
5	CONDITIONS GENERALES D'EXECUTION	26
5.1	Organisation mise en place par le CEA.....	26
5.2	Organisation mise en place par le TITULAIRE	26
5.3	Cadre physique et condition d'accès	26
5.4	Qualité	27
5.5	Confidentialité	27
5.6	Réception.....	27
ANNEXE 1	: LISTE DES DONNEES D'ENTREES FOURNIES PAR LE CEA	28

Document propriété du CEA – Reproduction et diffusion externes du CEA soumises à l'approbation du Remetteur			
	SPECIFICATION TECHNIQUE		Page 7/28
	Accord		
	Réf. : CEA/DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMTE/ST/DL 2024-031		
	Date : 29/11/2024	Indice : B	
Cahier des charges pour la refonte des modèles hydrogéologiques opérationnels du site de Cadarache			


LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Réseau hydrographique local	10
Figure 2 : Log géologique type.....	11
Figure 3 : Coupe géologique type, transversale au Ravin de la Bête.....	12
Figure 4 : Extension du système hydrogéologique de Cadarache	12
Figure 5 : Coupe hydrogéologique type et comportement hydrodynamique des différentes nappes	13
Figure 6 : Distribution des perméabilités (m/s) au sein de l'aquifère mio-quaternaire.....	14
Figure 7 : Distribution des perméabilités (m/s) au sein de l'aquifère crétacé	14
Figure 8 : Superficies et limites attendues pour les modèles hydrogéologiques de Cadarache	16
Figure 9 : Discrétisations attendues pour les modèles hydrogéologiques de Cadarache	17

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Livrables de suivis attendus et délais associés	23
Tableau 2 : Livrables techniques attendus et délais associés	24
Tableau 3 : Phasage indicatif associé aux livrables	24

Document propriété du CEA – Reproduction et diffusion externes au CEA soumises à l'approbation du Remetteur

		SPECIFICATION TECHNIQUE	Page 8/28
		Accord	
		Réf. : CEA/DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMTE/ST/DL 2024-031	
		Date : 29/11/2024	Indice : B
		Cahier des charges pour la refonte des modèles hydrogéologiques opérationnels du site de Cadarache	

1 INTRODUCTION

1.1 Objet du document

1.1.1 Cadre général

En tant qu'exploitant nucléaire, le CEA se doit de garantir la sûreté de ses installations et de veiller à la protection de l'Environnement et des populations. Dans ce cadre, le Laboratoire de Modélisation des Transferts dans l'Environnement (LMTE), unité de référence en hydrogéologie pour la Direction des Energies (DES), a notamment pour mission de réaliser les études d'impact pour les installations de la DES dans des situations de fonctionnement nominal et accidentels de rejets dans le sol et sous-sol. Ces études sont réalisées pour les voies de transferts par l'air et par l'eau.

Concernant les aspects liés à l'hydrogéologie, le LMTE doit ainsi disposer d'outils permettant notamment de :

- Simuler l'évolution spatio-temporelle de panaches dans les nappes et calculer les concentrations associées au niveau des exutoires ;
- Prépositionner/prédimensionner des dispositifs de protection visant à limiter les conséquences associées à un rejet accidentel. Exemple : localisation et dimensionnement d'un puits de pompage à l'aval du rejet.

Pour répondre à ces besoins sur le site de Cadarache, une première version d'un modèle opérationnel à l'échelle du système hydrogéologique, dit modèle hydrogéologique régional, a été développée en 2012 puis affinée en 2016. Du fait des contraintes techniques rencontrées lors de la réalisation des études de transfert en nappe, la mise en œuvre opérationnelle de ce modèle n'est cependant pas directe. Elle nécessite en effet la création de modèles, dits locaux, par extraction de modèles plus réduits à partir du modèle régional puis affinage de la discrétisation dans toutes les directions. Cette discrétisation spatiale est indispensable pour limiter la dilution de la concentration dans des mailles de volumes trop importants et respecter les nombres de Peclet de maille et de Courant.

Suite (i) aux nouvelles données acquises depuis sa création, (ii) à l'amélioration de la compréhension du fonctionnement du système hydrogéologique du site, (iii) à la mise en évidence des limites d'ergonomie et de représentativité des modèles précédemment développés, et (iv) à l'évolution des outils disponibles, l'objectif actuel du laboratoire est la refonte totale de ces outils.


Le CEA désire confier la prestation de construction et d'implémentation dans le code de calcul MARTHE (© BRGM) de ces modèles hydrogéologiques opérationnels pour le centre de Cadarache. Le présent cahier des charges a pour objectif de définir les spécifications techniques liées à cette prestation.

1.1.2 Objectifs de la prestation

Les objectifs de la prestation sont :


- A l'aide du code de calcul MARTHE (© BRGM) : construire puis caler en hydrodynamique un modèle hydrogéologique régional intégrant les aquifères dits mio-quaternaire et crétacé (cf. §2.2 et §3.1.2) ;
- À partir de ce modèle régional : construire et valider à l'aide de cas tests, deux modèles hydrogéologiques locaux (cf. §3.1.3) visant à (i) simuler le transport dans la zone saturée depuis un point source jusqu'à l'exutoire et (ii) prépositionner/prédimensionner des dispositifs de protection.

Document propriété du CEA – Reproduction et diffusion externes du CEA soumises à l'approbation du Remetteur

		SPECIFICATION TECHNIQUE	Page 9/28
		Accord	
		Réf. : CEA/DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMTE/ST/DL 2024-031	
		Date : 29/11/2024	Indice : B
	Cahier des charges pour la refonte des modèles hydrogéologiques opérationnels du site de Cadarache		

1.2 Glossaire

Terme / sigle	Définition
CEA	Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives
CL	Conditions aux limites
DES	Direction des EnergieS
IRESNE	Institut de recherche sur les systèmes nucléaires pour la production d'énergie bas carbone
DTN	Département de Technologie Nucléaire
SMTA	Service Mesures et modélisation des Transferts et des Accidents graves
LMTE	Laboratoire de Modélisation des Transferts à l'Environnement
PMPQ	Plan de Management de la Qualité Particulier

		SPECIFICATION TECHNIQUE	Page 10/28
		Accord	
		Réf. : CEA/DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMTE/ST/DL 2024-031	
		Date : 29/11/2024	Indice : B
	Cahier des charges pour la refonte des modèles hydrogéologiques opérationnels du site de Cadarache		

2 PRESENTATION DU SITE DE CADARACHE

2.1 Contexte général

2.1.1 Contexte géographique

Le site de Cadarache est implanté sur la rive gauche de la Durance, immédiatement à l'aval de sa confluence avec le Verdon (cf. Figure 1). Il est situé au droit d'une vallée topographique appelée la (paléo)Vallée du Ravin de la Bête qui s'étend sur ~6 km.

Les cotes altimétriques de cette vallée varient entre 255 m NGF au niveau de l'entrée du centre et 330 m NGF au Sud-Est du centre. De part et d'autre de celle-ci, le relief est formé de plusieurs petits sommets pouvant atteindre ~410 m NGF. Enfin, au sud du site de Cadarache, en parallèle de la Vallée du Ravin de la Bête, se trouve la Vallée de l'Abéou (côtes altimétriques entre 292 à 260 m NGF).

2.1.2 Contexte hydrographique

Le réseau hydrographique du secteur se compose de quatre cours d'eau principaux (cf. Figure 1) : les rivières de la Durance et du Verdon respectivement au Nord et Nord-Ouest, le Ravin de la Bête au cœur du site et le ruisseau de l'Abéou au sud.

Le Ravin de la Bête et l'Abéou se caractérisent par la présence de pertes et de résurgences dont les localisations ne sont pas connues avec certitude. Les principales sources de l'Abéou sont localisées sur la Figure 1.

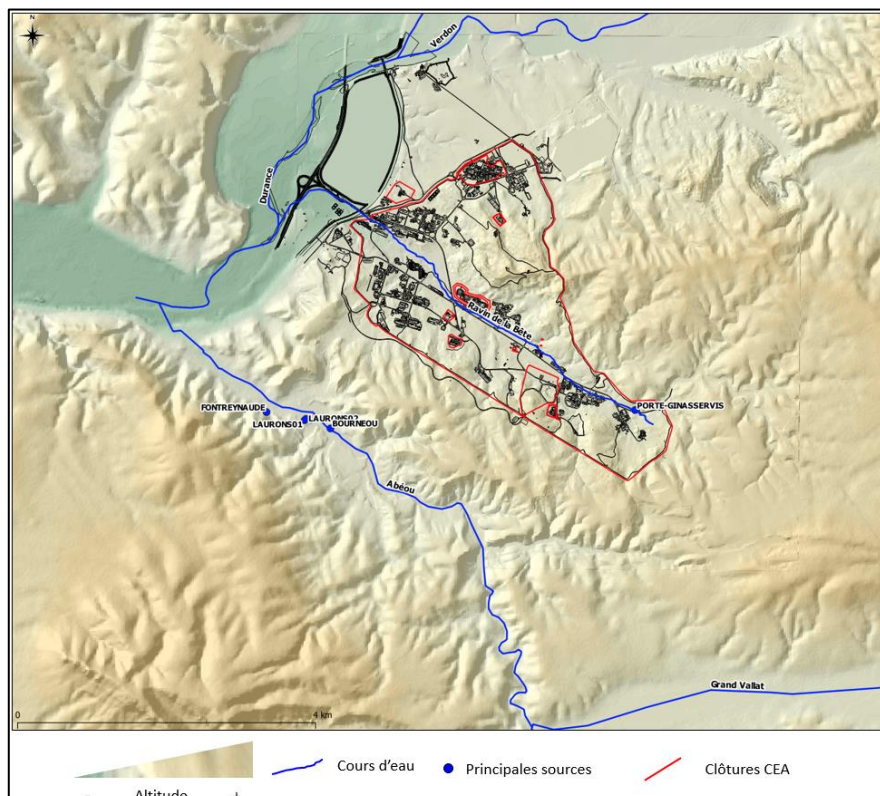



Figure 1 : Réseau hydrographique local

Document propriété du CEA – Reproduction et diffusion externes du CEA soumises à l'approbation du Remetteur

		SPECIFICATION TECHNIQUE	Page 11/28
		Accord	
		Réf. : CEA/DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMTE/ST/DL 2024-031	
		Date : 29/11/2024	Indice : B
		Cahier des charges pour la refonte des modèles hydrogéologiques opérationnels du site de Cadarache	

2.2 Contexte géologique et hydrogéologique

2.2.1 Contexte géologique

D'un point de vue structural, le site de Cadarache est implanté entre les anticlinaux de Vinon-sur-Verdon et de la Vautubière. Les calcaires forment alors un synclinal subhorizontal localement faillé et entaillé par une paléovallée localisée à l'aplomb de l'actuelle Vallée du Ravin de la Bête. Cette paléovallée, dont la profondeur peut dépasser les 100 m, a également permise la mise en place de paléo-affluents tel que le vallon du Mourre-Frais. Celles-ci sont comblée de sédiments sableux et gréseux tertiaires, recouverts en partie d'alluvions et colluvions quaternaires (cf. Figure 2).

L'encaissant principal du site se compose alors de calcaires et de marnes d'âge Secondaire divisés en trois unités : les calcaires de Meyrargues, les marnes de Beaumont et les calcaires de Gréoux.

Les paléovallées, colmatées par des formations tertiaires et quaternaires, se décomposent comme suit :

- Quatre unités tertiaires : les unités miocènes, formées par les brèches et sables de base de Cadarache et les sables et grès de la Sicarde, et les unités pliocènes formées par les calcaires lacustres de la Sicarde et les poudingues de Valensole II ;
- Deux unités quaternaires formées par des terrasses alluvionnaires et des colluvions.

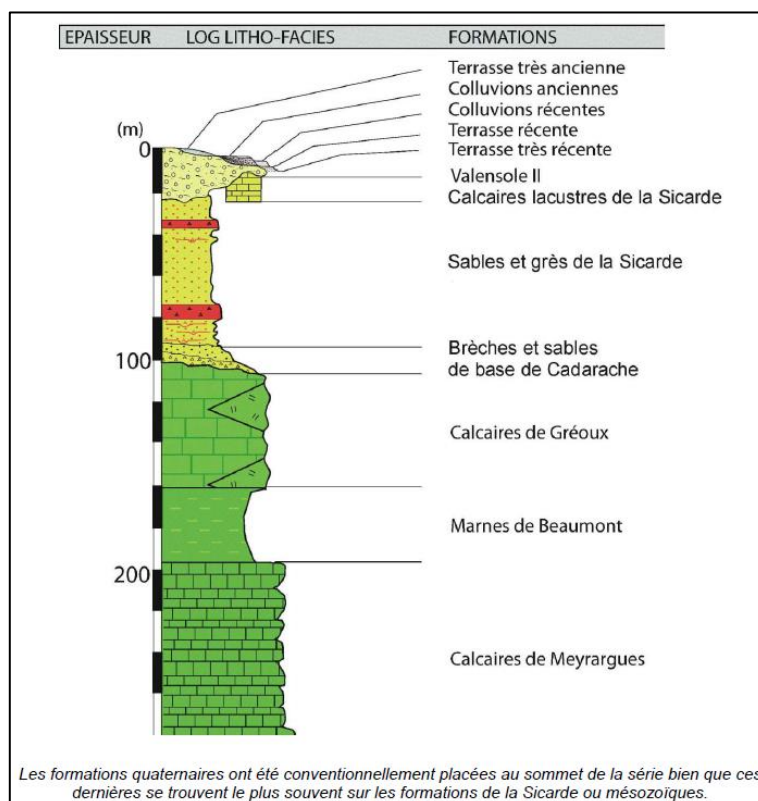



Figure 2 : Log géologique type

Dans le Crétacé, les failles sont distribuées selon deux directions principales : NW-SE et NE-SW. Les failles de direction NW-SE sont plus marquées et plus longues. Une coupe type est disponible sur la Figure 3. Aucune faille significative ne recoupe les formations tertiaires et quaternaires sur le site de Cadarache.

		SPECIFICATION TECHNIQUE	Page 12/28
		Accord	
		Réf. : CEA/DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMTE/ST/DL 2024-031	
		Date : 29/11/2024	Indice : B
		Cahier des charges pour la refonte des modèles hydrogéologiques opérationnels du site de Cadarache	

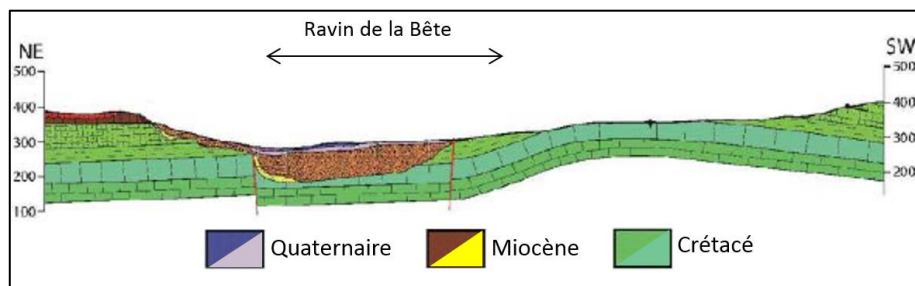


Figure 3 : Coupe géologique type, transversale au Ravin de la Bête

2.2.2 Contexte hydrogéologique

Le système hydrogéologique dans lequel s'inscrit le site de Cadarache est délimité à sa base par le toit des Terres Noires formant un substratum imperméable. Latéralement, l'extension du système est définie par deux types de limites naturelles (cf. Figure 4) :

- Des limites caractérisées par une absence de transfert d'eau à travers les frontières du système telles que (i) des limites de partage des eaux souterraines : la faille de Boutre à l'Est et l'anticlinal de la Vautubière au Sud-Ouest, et (ii) une faille jouant le rôle de barrière hydraulique : faille de Jouques au Sud-Ouest (iii) la remontée du substratum imperméable en surface sur la bordure Sud ;
- Des limites au niveau desquelles des échanges avec le milieu extérieur sont possibles : les cours d'eau du Verdon et de la Durance au Nord et Nord-Ouest.

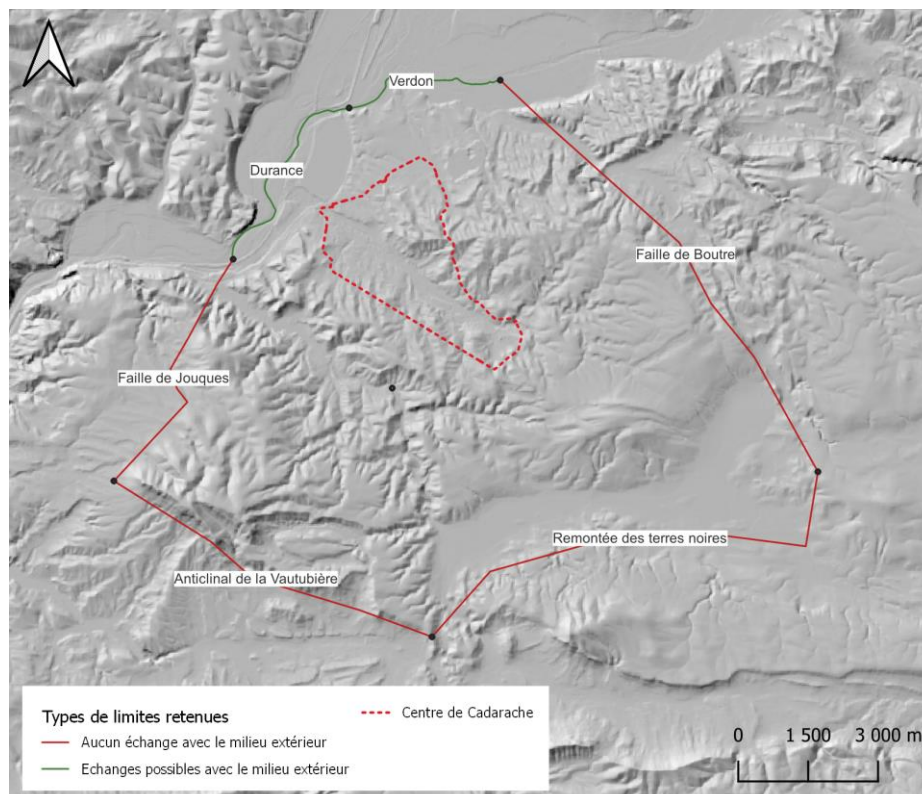



Figure 4 : Extension du système hydrogéologique de Cadarache

		SPECIFICATION TECHNIQUE	Page 13/28
		Accord	
		Réf. : CEA/DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMTE/ST/DL 2024-031	
		Date : 29/11/2024	Indice : B
Cahier des charges pour la refonte des modèles hydrogéologiques opérationnels du site de Cadarache			

Dans ce système, deux nappes phréatiques principales se distinguent, prenant place dans trois unités aquifères (cf. Figure 5) :

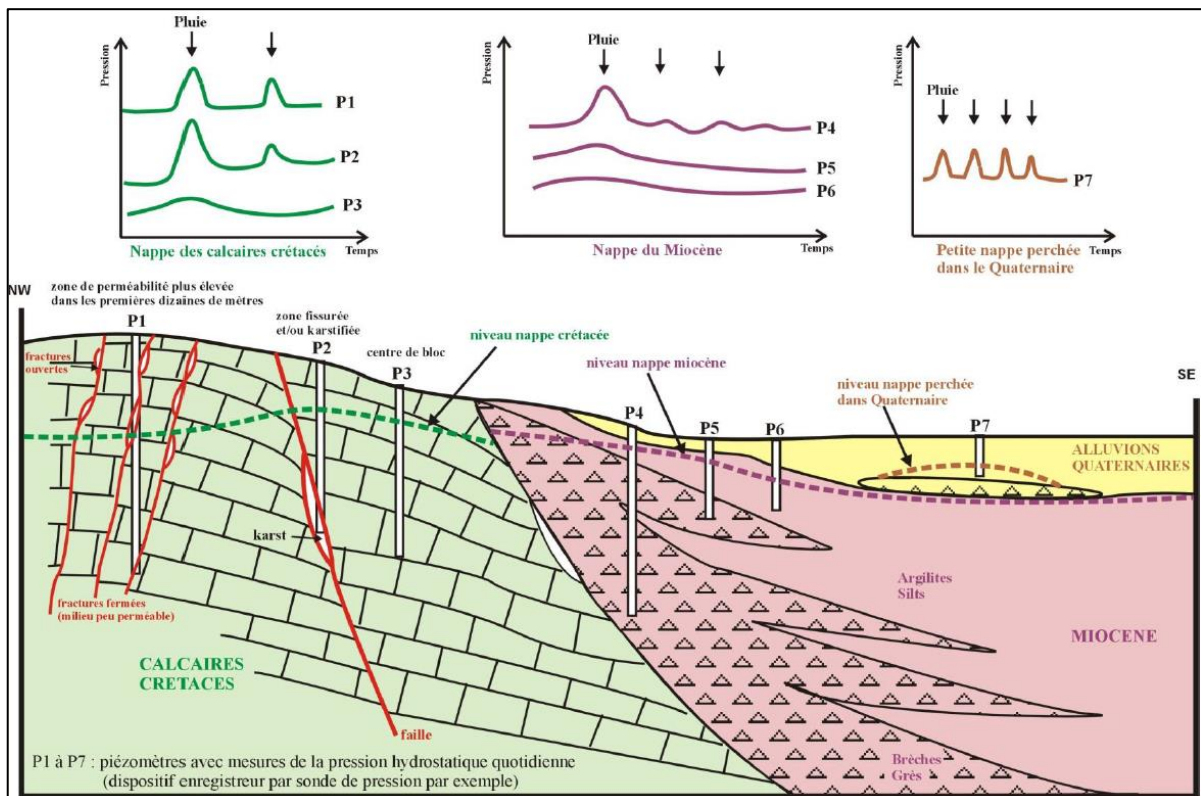
- La nappe secondaire (souvent nommée nappe crétacée) se développe dans l'aquifère faillé homonyme, formé principalement par les calcaires crétacés et jurassiques dont les fractures sont plus ou moins colmatées et/ou karstifiées.


Cette nappe présente une forte réactivité aux précipitations avec des remontées du niveau de nappe pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres en quelques heures lorsque le piézomètre est connecté à un réseau de fractures (chronique P1) ; elle peut à l'opposé être très peu réactive si le piézomètre est situé au droit d'une zone de matrice où les calcaires sont sains (chronique P3).

- La nappe tertiaire/quaternaire, dite mio-quaternaire, prend place dans les aquifères homonymes. Ces deux aquifères sont principalement composés de formations détritiques aux porosités homogènes.

Cette nappe, libre à semi-captive, est alimentée essentiellement par les apports pluviométriques et est, en surface principalement drainée par le ruisseau du Ravin de la Bête (lui-même affluent de la Durance). En profondeur, son exutoire correspond à l'embouchure de la paléovallée du Ravin de la Bête avec celui de la Durance dont la position exacte n'est pas connue à ce jour. Les dynamiques observées dans ces aquifères se confondent, d'où la définition d'une nappe unique, et il est possible d'y observer des remontées de nappes de l'ordre de quelques mètres en plusieurs mois (chroniques P5 et P6) et des dynamiques pouvant être plus rapides au niveau des bordures de vallons, à l'interface entre les formations miocènes et crétacées, avec des remontées de nappes de l'ordre de quelques mètres en quelques heures (chronique P4).

Ces deux nappes présentent des connexions hydrauliques entre elles. En fonction du régime hydrologique (période de basse ou hautes eaux), des phénomènes de drainance ou de mise en charge peuvent avoir lieu entre elles.



Document propriété du CEA – Reproduction et diffusion externes du CEA soumises à l'approbation du Remetteur			
	SPECIFICATION TECHNIQUE		Page 14/28
	Accord		
	Réf. : CEA/DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMTE/ST/DL 2024-031		
	Date : 29/11/2024	Indice : B	
Cahier des charges pour la refonte des modèles hydrogéologiques opérationnels du site de Cadarache			

A noter également que, du fait de propriétés localement plus contrastées, il peut également être observé la présence dans l'aquifère quaternaire d'une nappe indépendante. D'extension limitée et discontinue, cette nappe dite quaternaire peut se mettre à l'équilibre avec la nappe mio-quaternaire au gré des conditions pluviométriques. Selon le point de vue adopté, elle peut également être identifiée comme plusieurs nappes perchées locales (chronique P7).

2.3 Valeurs moyennes des paramètres hydrodynamiques

La valeur moyenne de perméabilité mesurée pour l'aquifère mio-quaternaire est de l'ordre de $2\text{E-}06$ m/s (cf. Figure 6). En parallèle, il est retenu un coefficient d'emménagement compris entre $1\text{E-}03$ [-] pour les parties libres (*i.e.* surface non limitée par un horizon imperméable et ainsi soumis à la pression atmosphérique) et $1\text{E-}04$ [-] pour les parties confinées.

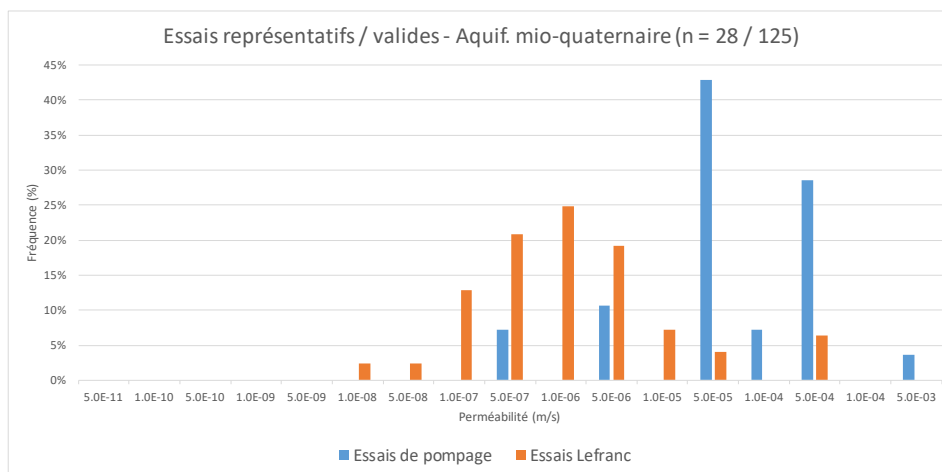


Figure 6 : Distribution des perméabilités (m/s) au sein de l'aquifère mio-quaternaire

La distribution des perméabilités de l'aquifère crétaé est complexe et s'étend sur une large gamme de valeurs de $1\text{E-}13$ à $1\text{E-}03$ m/s (cf. Figure 7). Il est possible de distinguer : les zones faillées (autour de $1\text{E-}04$ m/s), les zones fracturées (autour de $1\text{E-}06$ m/s) et les zones de matrice (inférieures à $1\text{E-}09$ m/s). En parallèle, il est retenu un coefficient d'emménagement compris entre $1\text{E-}03$ [-] pour les parties libres et $1\text{E-}06$ [-] pour les parties captives.

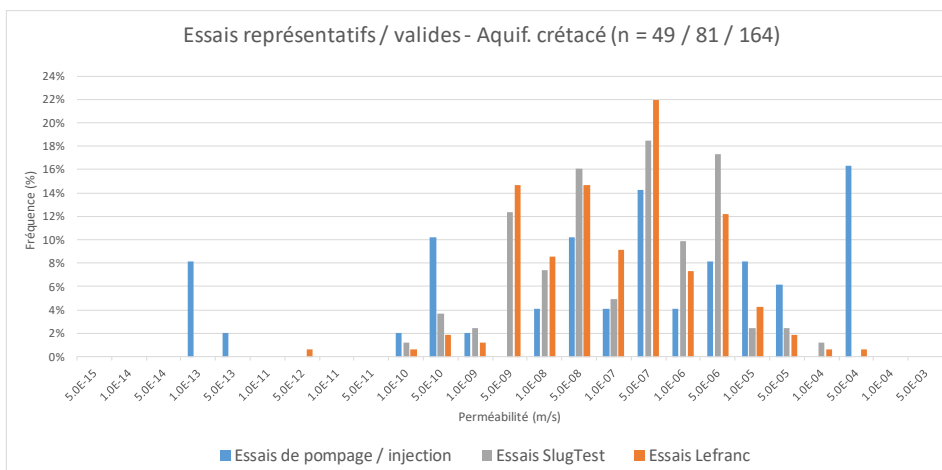



Figure 7 : Distribution des perméabilités (m/s) au sein de l'aquifère crétaé

Document propriété du CEA – Reproduction et diffusion externes du CEA soumises à l'approbation du Remetteur

		SPECIFICATION TECHNIQUE	Page 15/28
		Accord	
		Réf. : CEA/DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMTE/ST/DL 2024-031	
		Date : 29/11/2024	Indice : B
	Cahier des charges pour la refonte des modèles hydrogéologiques opérationnels du site de Cadarache		

3 DESCRIPTION DE LA PRESTATION

3.1 Exigences générales

Les contextes géologiques et hydrogéologiques du site de Cadarache sont très variés et les aquifères à simuler présentent des dynamiques et comportements très hétérogènes à l'échelle du domaine modélisé. De plus, une quantité significative de données a été acquise au fil des ans. Le TITULAIRE pourra donc être confronté à des difficultés auxquelles il devra faire face telles que :

- La nature variée des aquifères à modéliser et leur intégration au sein du logiciel MARTHE (© BRGM) : poreux ou fissurés, voire localement karstique, en contexte libre ou captif (cf. §2.2.2) ;
- L'étendue significative du bassin hydrogéologique : ~110 km² (cf. §2.2.2) ;
- La diversité et la volumétrie importante des données fournies lors de la réunion d'enclenchement (cf. §4.1) ;
- Le nombre conséquent de points de calage attendus qui nécessitera une gestion rigoureuse (cf. §3.3.2.2).

3.1.1 Maîtrise et utilisation du logiciel MARTHE (© BRGM)

Dans le cadre de la réalisation de cette prestation, il est impératif que le TITULAIRE développe les modèles sous le logiciel MARTHE (© BRGM). Il devra donc démontrer la maîtrise de celui-ci.

3.1.2 Aquifères à intégrer

Compte tenu du contexte hydrogéologique du site (cf. §2.2) et des paramètres similaires caractérisant les aquifères tertiaire et quaternaire, il est retenu dans le cadre de cette prestation leur intégration comme un unique aquifère. Les modèles hydrogéologiques à développer intégreront donc l'aquifère crétacé et l'aquifère mio-quaternaire en vue de simuler respectivement, la nappe secondaire (aussi nommée nappe crétacée) et la nappe tertiaire/quaternaire (dite mio-quaternaire).

3.1.3 Attendus pour les modèles


Dans un cadre opérationnel, la réalisation d'un unique modèle à l'échelle du système hydrogéologique de Cadarache permettant de répondre aux objectifs opérationnels du CEA (cf. §1.1.2) n'est pas compatible avec son étendue (~110 km²), la discrétisation fine nécessaire à la simulation de transfert en nappe et les contraintes techniques du logiciel. De manière analogue, notamment du fait de la discrétisation verticale (*i.e.* subdivision des couches aquifères) fine nécessaire afin de minimiser la dispersion numérique, la réalisation d'un unique modèle à une échelle moins étendue mais répondant à la fois pour l'aquifère mio-quaternaire et pour l'aquifère crétacé à ces objectifs n'est pas réaliste.

Dans le cadre de cette prestation, il sera alors attendu la réalisation de trois modèles distincts selon l'approche suivantes :

- Un modèle à l'extension basée sur celle du système hydrogéologique de Cadarache, dit modèle hydrogéologique régional : il fera uniquement l'objet d'un calage en hydrodynamique (*i.e.* n'aura pas pour objectif la simulation de transferts en nappe) et sa discrétisation (*i.e.* taille des mailles et nombre de sous-couches par aquifère) sera adaptée à cet objectif.
- Deux sous-modèles à l'extension plus restreintes, dits modèles hydrogéologiques locaux : ils permettront respectivement la simulation de transferts en nappe dans l'aquifère mio-quaternaire et la simulation de transferts en nappe dans l'aquifère crétacé, répondant ainsi aux objectifs opérationnels du CEA (cf. §1.1.2), leur discrétisation sera nécessairement plus fine que celle du modèle hydrogéologique régional et leurs paramètres seront issus de celui-ci.

Entre les modèles locaux, seule la discrétisation verticale (*i.e.* subdivision des couches aquifères) différera.

Document propriété du CEA – Reproduction et diffusion externes au CEA soumises à l'approbation du Remetteur

		SPECIFICATION TECHNIQUE	Page 16/28
		Accord	
		Réf. : CEA/DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMTE/ST/DL 2024-031	
		Date : 29/11/2024	Indice : B
		Cahier des charges pour la refonte des modèles hydrogéologiques opérationnels du site de Cadarache	

Les spécificités techniques générales de ces modèles sont résumées ci-dessous, en Figure 8 et en Figure 9 :

- Superficie et limites attendues (cf. Figure 8) :
 - Le modèle régional se basera sur les limites du système hydrogéologique (cf. §2.1.2). Sa surface sera de l'ordre de 110 km² ;
 - Les limites des modèles locaux seront basées sur une zone tampon d'un kilomètre autour du centre, prolongée jusqu'aux limites hydrologiques proches lorsque cela est pertinent. Leurs surfaces seront d'environ 36 km² ;
- Taille des mailles (cf. Figure 8 et Figure 9) :
 - La taille attendue des mailles pour le modèle régional sera de (i) 50x50 m maximum sur l'extension régionale (ii) 10x10m au maximum sur l'extension locale et au droit du centre ;
 - La taille attendue des mailles pour les modèles locaux sera de (i) 10x10 m maximum sur l'extension locale (ii) 5x5m au maximum au droit du centre.
- Subdivision des couches aquifères (cf. Figure 9) :
 - Pour le modèle régional, l'intégration des aquifères devra se faire dans à minima deux couches distinctes (i.e. une par aquifère) avec la possibilité de n'intégrer qu'une partie de l'épaisseur de l'aquifère crétacé (aquifère pouvant atteindre plusieurs centaines de mètres d'épaisseur) ;
 - Pour les modèles locaux, selon qu'il soit dit mio-quaternaire ou crétacé, l'intégration de l'aquifère homonyme devra se faire dans un minimum de 10 sous-couches et celle du second aquifère dans à minima une couche ; avec toujours la possibilité de n'intégrer qu'une partie de l'épaisseur de l'aquifère crétacé.

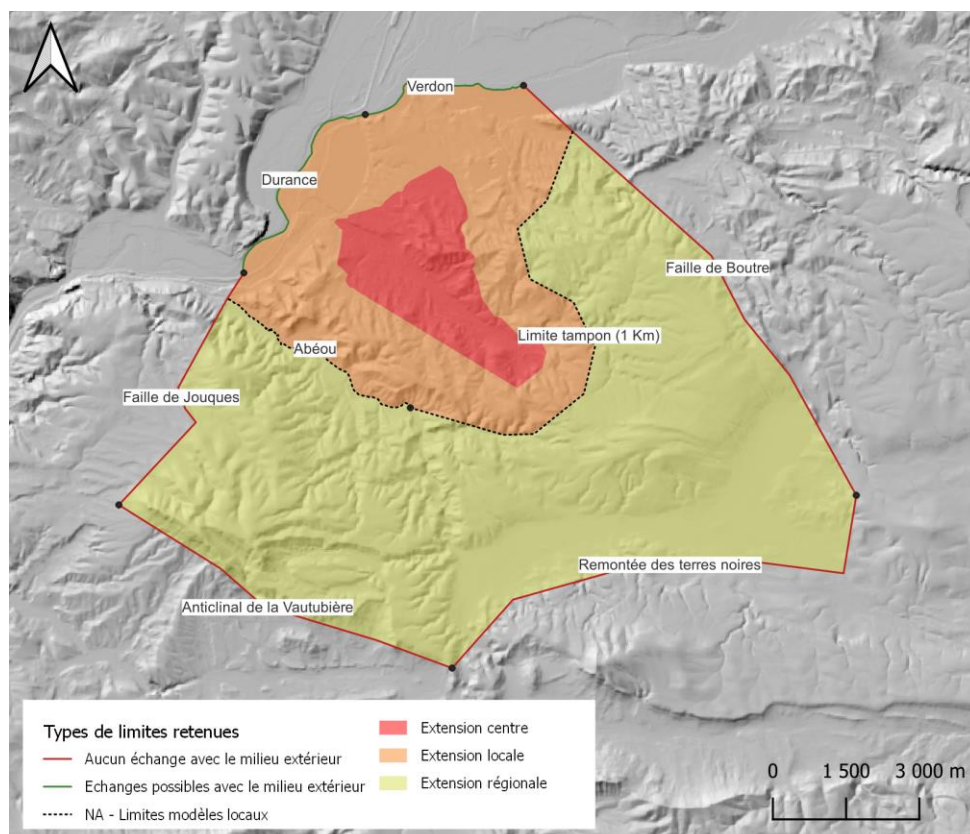



Figure 8 : Superficies et limites attendues pour les modèles hydrogéologiques de Cadarache

Document propriété du CEA – Reproduction et diffusion externes du CEA soumises à l'autorisation du Remettant			
	SPECIFICATION TECHNIQUE		Page 17/28
	Accord		
	Réf. : CEA/DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMTE/ST/DL 2024-031		
	Date : 29/11/2024	Indice : B	
Cahier des charges pour la refonte des modèles hydrogéologiques opérationnels du site de Cadarache			

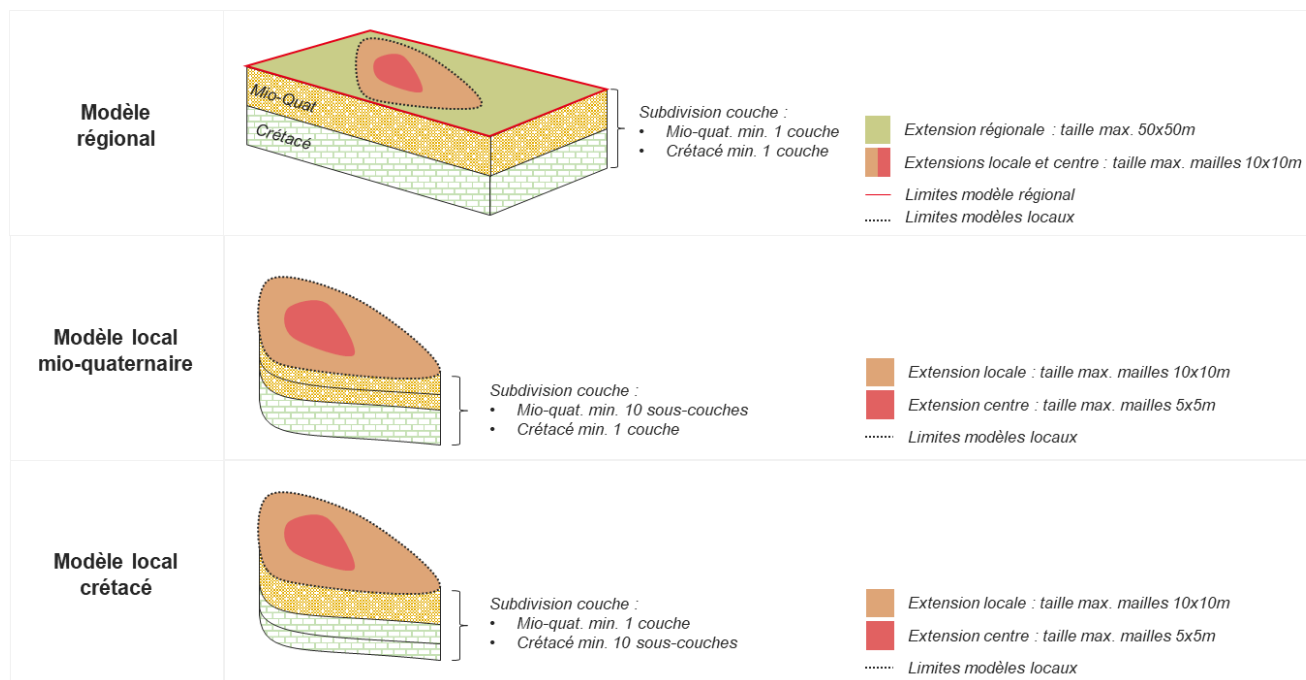


Figure 9 : Discretisations attendues pour les modèles hydrogéologiques de Cadarache

3.1.4 Phasage global

La prestation se découpera en quatre phases principales :


- Phase A : construction du modèle régional (cf. §3.2) ;
- Phase B : calage du modèle régional (cf. §3.3) ;
- Phase C : construction des modèles locaux (cf. §3.4) ;
- Phase D : application de cas tests sur les modèles locaux (cf. §3.5).

Ces phases sont bien sûr liées les unes aux autres et leur organisation reste à l'appréciation du TITULAIRE (par exemple, traitement en parallèle ou en séquentiel des deux échelles) en accord avec le CEA.

Une première étape d'appropriation des données sera également nécessaire. Elle aboutira notamment à une restitution par le TITULAIRE de sa compréhension des enjeux et des attentes du projet, ainsi qu'à l'identification d'éventuels besoins de précisions, lors de la réunion d'enclenchement de la phase A (cf. §4.2.2).

Le TITULAIRE devra impérativement fournir un planning détaillé de la prestation décrivant l'ensemble des étapes qu'il mettra en œuvre pour mener à bien ces phases en tenant compte, notamment, des points d'attention présentés par la suite. Ce planning devra être validé au commencement de la prestation par le CEA et le TITULAIRE du contrat s'engagera alors à respecter les délais de livraison. Toute modification devra recevoir au préalable l'accord par écrit du CEA. La validation de chaque phase ne sera accordée qu'après vérification et approbation par le CEA, qui évaluera la conformité des livrables vis-à-vis des spécifications décrites ci-dessous.

Document propriété du CEA – Reproduction et diffusion externes du CEA soumises à l'approbation du Remetteur

		SPECIFICATION TECHNIQUE	Page 18/28
		Accord	
		Réf. : CEA/DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMTE/ST/DL 2024-031	
		Date : 29/11/2024	Indice : B
		Cahier des charges pour la refonte des modèles hydrogéologiques opérationnels du site de Cadarache	

3.2 Phase A : construction du modèle régional

3.2.1 Attendus

Le but de cette phase sera la construction du modèle hydrogéologique régional. Les données d'entrée nécessaires à cette étape sont décrites au §4.1. Elles seront fournies lors de la réunion d'enclenchement de la prestation. Les livrables associés à cette étape ainsi que leurs modalités spécifiques sont quant à eux décrits au §4.3.

3.2.2 Points d'attention

La validation de cette étape portera notamment sur les points essentiels suivants :

- L'extension et la discrétisation du modèle hydrogéologique devront être conformes aux exigences présentées au §3.1.3 ;
- Le modèle hydrogéologique devra intégrer correctement les deux aquifères attendus (*cf.* §3.1.2) en respectant les surfaces lithostratigraphiques pertinentes issues du modèle géologique, tout en adaptant la géométrie à la résolution du modèle hydrogéologique. Toute déformation ou simplification significative devra être justifiée et validée ;
- La définition et l'intégration des conditions aux limites et des zones de bilan sera à la charge du TITULAIRE qui devra justifier de la cohérence des choix réalisés. Les choix finaux seront soumis à validation du CEA ;
- La définition des valeurs des paramètres hydrodynamiques intégrés au modèle sera à la charge du TITULAIRE qui devra justifier des choix réalisés. Toute divergence par rapport aux ordres de grandeurs observés devra être rigoureusement justifiée et soumise à validation du CEA ;
- Le modèle hydrogéologique devra être conçu de manière à faciliter son adaptation future, notamment les évolutions potentielles du modèle géologique de site et les prolongations de données piézométriques. Les étapes d'importation et de maillage devront être documentées et, si possible, automatisées pour permettre des mises à jour efficaces et sans erreur ;
- Il sera essentiel d'assurer la continuité des écoulements dans les mailles d'une même couche pour éviter des ruptures ou anomalies (comme le dénoyage ou débordement) pouvant compromettre la convergence numérique du modèle. Le TITULAIRE devra proposer une démarche pour vérifier et corriger ces problèmes ;
- Le TITULAIRE devra démontrer une démarche efficace pour pallier les zones aux données insuffisantes.


3.3 Phase B : calage du modèle régional

3.3.1 Attendus

Le but de cette phase sera le calage du modèle hydrogéologique régional. Les données d'entrée nécessaires à cette étape, notamment la liste des points de calage qui devront respecter les objectifs de calage cibles ou fermes, sont décrites au §4.1. Elles seront fournies lors de la réunion d'enclenchement de la prestation par le CEA. Les livrables associés à cette étape ainsi que leurs modalités spécifiques sont quant à eux décrits au §4.3.

La méthode de calage est au choix du TITULAIRE. Celle-ci devra néanmoins :

- Se faire en régime transitoire, avec l'obligation de couvrir le plus grand nombre possible de cycles hydrologiques en incluant au minimum la période s'étalant de janvier 2004 à décembre 2024 ;
- Être conçue de manière à garantir une approche rigoureuse et reproductible du processus d'optimisation des paramètres, afin de faciliter les analyses de sensibilité qui se feront après la prestation (*cf.* §3.3.2.3) ;
- Avoir pour objectif à la fois la meilleure représentativité de la dynamique et réactivité de la nappe au droit de chaque piézomètre de référence, mais aussi des sens d'écoulement et gradients hydrauliques dans différents contextes hydrologiques (*cf.* §3.3.2.2).

		SPECIFICATION TECHNIQUE	Page 19/28
		Accord	
		Réf. : CEA/DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMTE/ST/DL 2024-031	
		Date : 29/11/2024	Indice : B
	Cahier des charges pour la refonte des modèles hydrogéologiques opérationnels du site de Cadarache		

3.3.2 Points d'attention

3.3.2.1 Points attendus

La validation de cette étape portera notamment sur les points essentiels suivants :

- La bonne convergence des calculs en hydrodynamique ;
- L'atteinte des objectifs de calage (fermes et cibles, cf. §3.3.2.2) ;
- La définition du paramétrage numérique le plus optimal (solveur, taux de convergence, temps de calculs...) ;
- Le choix de la discrétisation temporelle utilisée pour le calage. Le TITULAIRE sera responsable du choix de la discrétisation temporelle qui devra respecter les exigences définies au §3.3.1 ;
- La redéfinition des valeurs des conditions aux limites intégrées au modèle devra être justifiée (cohérence avec les données fournies). Les choix finaux seront soumis à validation du CEA ;
- La redéfinition des valeurs des paramètres hydrodynamiques intégrés au modèle devra être justifiée (cohérence avec les données fournies). Toute divergence par rapport aux ordres de grandeurs observés devra être rigoureusement justifiée et soumise à validation du CEA ;
- Le TITULAIRE devra démontrer la cohérence de la recharge estimée avec une tolérance maximale de 25 % par rapport aux ordres de grandeurs de la recharge qui seront transmis ;
- Le TITULAIRE devra démontrer une démarche efficace pour pallier les zones aux données insuffisantes ;
- En cas de calage automatique, la conservation de l'ensemble des solutions de calage compatibles avec les critères objectifs définis, et non uniquement la solution retenue *in fine*. Toutes les solutions satisfaisant les critères objectifs devront ainsi être archivées afin de permettre une analyse comparative et une éventuelle utilisation ultérieure pour des analyses d'incertitudes et/ou de sensibilité. (cf. §3.3.2.3).

3.3.2.2 Objectifs et critères de calage


Il est nécessaire de différencier les objectifs fermes et cibles :

- Les objectifs fermes représentent les critères obligatoires devant impérativement être atteints. Ils ne pourront être renégociés par le TITULAIRE ;
- Les objectifs cibles représentent des critères de performance souhaités. Ces objectifs, également attendus, pourront néanmoins être ajustés si des difficultés majeures sont rencontrées. Leur réévaluation et la validation de nouveaux objectifs se feront sous l'avis d'experts du CEA.

L'évaluation de la qualité du calage et sa validation par le CEA se basera sur trois approches :

1. La cohérence globale du modèle vis-à-vis des données de terrain :
 - La géométrie du modèle doit respecter les critères définis au §3.2 ;
 - Les conditions aux limites doivent respecter les critères définis aux §3.3 ;
 - Les valeurs des paramètres hydrodynamiques doivent respecter les critères définis au §3.3.
2. La retranscription satisfaisante de la dynamique sur la période de simulation :
 - L'objectif cible pour l'écart entre les niveaux simulés et les niveaux observés est de ± 2 m pour les ouvrages crétacés et ± 50 cm pour les ouvrages mio-quaternaires, sur 90 % des points de calage retenus ;
 - La cohérence des cycles de charge et décharge doit également être respectée (*i.e.* pas de déphasage trop important). Ainsi, l'objectif cible pour le décalage temporel maximum de ces cycles entre les données simulées et les données observées est de :
 - o ± 20 jours pour les secteurs aux dynamiques lentes (majorité de l'aquifère mio-quaternaire) ;
 - o ± 2 jours pour les secteurs aux dynamiques rapides (aquifère crétacé et certains secteurs de l'aquifère mio-quaternaires).

Document propriété du CEA – Reproduction et diffusion externes au CEA soumises à l'autorisation du Remettant

		SPECIFICATION TECHNIQUE	Page 20/28
		Accord	
		Réf. : CEA/DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMTE/ST/DL 2024-031	
		Date : 29/11/2024	Indice : B
		Cahier des charges pour la refonte des modèles hydrogéologiques opérationnels du site de Cadarache	

3. La retranscription satisfaisante des gradients et directions d'écoulement lors de quatre contextes hydrogéologiques prédéfinis (un contexte de hautes-eaux et de basses-eaux par aquifère) :
- L'objectif ferme pour l'écart entre les niveaux observés, retranscrits sur les cartes piézométriques, et les niveaux simulés ne devra pas dépasser ± 2 m pour les ouvrages crétacés et ± 50 cm pour les ouvrages mio-quaternaires, sur 90 % des points de calage retenus ;
 - Les gradients et directions d'écoulement issus des simulations devront être cohérents avec ceux observés.

Afin de mieux évaluer la charge de travail liée à cette phase, les informations suivantes sont fournies :

- Les points de calage qui devront respecter les objectifs de calage, cibles ou fermes, correspondent à des chroniques piézométriques journalières issues de sondes automatiques au pas de temps 30 minutes installées dans des ouvrages jugés représentatifs des aquifères à modéliser ;
- Leur nombre sera d'environ $120 \pm 10\%$ (répartition $\sim 40/60\%$ entre les aquifères) et leur répartition géographique n'est pas homogène. Le CEA pourra être amené à faire des vérifications complémentaires, sans objectif ferme associé, sur des points additionnels ;
- Les chroniques couvrent une période allant de 1998 à 2024. Cependant, l'ensemble des points de suivis ne couvre pas l'entièreté de cette période (suivis allant de 3 à 25 ans avec une moyenne de ~ 14 ans par ouvrage) ;
- Pour la retranscription satisfaisante des gradients et directions d'écoulement, il est à noter que des vérifications complémentaires, sans objectif ferme associé, pourront également être faites par le CEA pour d'autres contextes hydrogéologiques clefs, afin de vérifier la cohérence globale des simulations.

3.3.2.3 Exigences en matière de données et d'archivage des fichiers de calage

Afin de garantir la traçabilité et l'exploitation à long terme du modèle régional, le CEA demande la transmission intégrale de l'ensemble des fichiers issus du calage. Cette exigence vise à permettre, après la prestation, une analyse approfondie des choix de paramétrage (sensibilité du modèle) et des incertitudes associées en termes de résultats.

En complément du modèle retenu *in fine* et de ses « fichiers associés » (cf. 4.3.2), le TITULAIRE devra donc fournir les éléments suivants au terme de cette phase :

- Les scripts et/ou outils utilisés pour le calage pour cette étape de calage, ainsi que les configurations associées, afin de garantir leur réexécution et d'éventuels ajustements futurs des simulations ;
- Les différentes itérations du modèle et leurs « fichiers associés » incluant notamment leurs paramétrages.


3.4 Phase C : construction des modèles locaux

3.4.1 Attendus

Le but de cette phase sera la construction des deux modèles hydrogéologiques locaux. Les données d'entrée nécessaires à cette étape sont décrites au §4.1. Elles seront fournies lors de la réunion d'enclenchement de la prestation. Les livrables associés ainsi que leurs modalités spécifiques sont quant à eux décrits au §4.3.

Il est à noter que ces modèles ne feront pas l'objet d'un calage en hydrodynamique. Cela implique notamment que :

- Les paramètres hydrodynamiques retenus seront extraits du modèle hydrogéologique régional puis importée dans les modèles locaux ;
- Les champs de charge utilisés lors des simulations de transfert en nappe ne seront pas issus des modèles locaux mais également extraits du modèle hydrogéologique régional puis importée et imposés comme champ de charge utilisé pour le calcul transport. Dans ces modèles locaux, les simulations tourneront donc en permanent sur l'hydrodynamique (*i.e.* import et imposition de champs de charge issus du modèle régional calé) mais en transitoire sur le transport.

		SPECIFICATION TECHNIQUE	Page 21/28
		Accord	
		Réf. : CEA/DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMTE/ST/DL 2024-031	
		Date : 29/11/2024	Indice : B
		Cahier des charges pour la refonte des modèles hydrogéologiques opérationnels du site de Cadarache	

3.4.2 Points d'attention

Exceptés sur les aspects liés à la définition des paramètres et des conditions aux limites, la validation de cette étape portera sur les points essentiels présentés au §3.2.2. En complément de ceux-ci, la validation portera également sur le développement d'outils d'automatisation ou autre processus permettant de faciliter l'extraction, à n'importe quel pas de temps, et l'importation des paramètres du modèle régional appelé dans les modèles hydrogéologiques locaux. Ceux-ci seront proposés par le TITULAIRE et transmis au CEA lors de la livraison des dossiers d'étude (cf. §4.3).

3.5 Phase D : application de cas tests sur les modèles locaux

3.5.1 Attendus

Cette phase permettra de valider la capacité opérationnelle des modèles hydrogéologiques locaux par des cas tests, définis et transmis par le CEA, pour les objectifs de (i) simulation du transport dans la zone saturée (ii) prépositionnement/prédimensionnement d'ouvrages de protection.

Cinq cas tests, décrits au §3.5.3, sont définis. Les données d'entrée nécessaires à cette étape seront fournies lors de la réunion d'enclenchement de cette phase. Les livrables associés à cette étape ainsi que leurs modalités spécifiques sont quant à eux décrits au §4.3.

3.5.2 Points d'attention

La validation de cette étape portera notamment sur les points essentiels suivants :

- La convergence en transport des calculs des cas tests ;
- Le choix des conditions de calculs : paramètres, transitoire total ou non, conditions aux limites utilisées, *etc.* ;
- Les outils d'automatisation ou autre processus permettant de faciliter l'extraction et l'importation dans les modèles locaux des paramètres et champs de charge du modèle hydrogéologique régional ;
- La définition du paramétrage numérique le plus optimal (solveur, taux de convergence, temps de calculs, *etc.*).

3.5.3 Description des cas tests

Afin de mieux appréhender la charge de travail liée, les informations suivantes sont fournies :

- Pour le modèle local crétacé :
 - Deux cas tests de transport (*i.e.* simulation de transfert de nappe d'un point source à l'exutoire) seront définis dans des secteurs aux paramètres hydrodynamiques contrastés et avec des marqueurs plus ou moins mobiles (retards associés).
- Pour le modèle local mio-quaternaire :
 - Deux cas tests de transport (*i.e.* simulation de transfert de nappe d'un point source à l'exutoire) seront également définis dans des secteurs aux paramètres hydrodynamiques contrastés et avec des marqueurs plus ou moins mobiles (retards associés) ;
 - Un cas test de prépositionnement/prédimensionnement d'ouvrage (*i.e.* simulation de transfert de nappe d'un point source à l'exutoire avec mise en place d'un pompage sur cette trajectoire) sera défini.

4 DEROULEMENT DE LA PRESTATION

4.1 Données d'entrée fournies par le CEA

Les données d'entrées seront remises lors de la réunion d'enclenchement de la prestation (cf. §4.2.1). Leur liste complète est décrite en annexe 1. Selon les besoins identifiés par le CEA ou à la demande du TITULAIRE la fourniture de documents supplémentaires sera possible.

4.2 Réunions

Les paragraphes suivants décrivent les points d'échange qui seront attendus lors de la prestation. Le phasage de ceux-ci est résumé à titre indicatif au §4.3.3. Chaque réunion fera l'objet de la rédaction d'un compte-rendu rédigé par le TITULAIRE et annexé au dossier d'étude (cf. §4.3).

4.2.1 Réunions d'enclenchement et de clôture de la prestation

La prestation débutera par une réunion d'enclenchement en présentiel après la signature du marché par les deux parties, ayant notamment pour but :

- De présenter les intervenants et l'organisation mise en place au niveau du CEA et du TITULAIRE ;
- De vérifier que l'ensemble des formalités et des documents relatifs à la prestation est conforme et permet un enclenchement effectif de la prestation ;
- De rappeler les objectifs de la prestation ;
- De fournir et présenter les données d'entrées (cf. *annexe 1*) nécessaire à la prestation.

Elle se terminera par une réunion de clôture de la prestation, également en présentiel, qui aura notamment pour buts de vérifier la conformité de l'ensemble de la prestation avec le PMPQ, de faire le bilan des différents livrables rendus et de l'atteinte des objectifs de la prestation.

4.2.2 Réunions d'enclenchement/clôture des phases

Chaque phase sera enclenchée par une réunion en présentiel dédiée permettant de clôturer la phase précédente et de présenter les attentes de la phase à venir. Ces réunions auront alors notamment pour but :


- Pour la phase à venir, de permettre au TITULAIRE de présenter la démarche et la méthodologie qu'il a proposée dans son offre technique et un planning détaillé des tâches à réaliser ;
- Pour la phase se clôturant, de permettre au TITULAIRE de présenter les principaux résultats de celle-ci et les rendus associés.

A noter que la réunion d'enclenchement de la phase A permettra également au TITULAIRE de faire une restitution sur l'ensemble des données mises à disposition par le CEA à la réunion d'enclenchement afin de présenter sa compréhension des enjeux et des attentes, et demander des précisions éventuelles

4.2.3 Réunions de coordination/thématiques

Une réunion de coordination, pouvant être en visioconférence, aura lieu en cours de chaque phase. L'objectif de cette réunion est de faire la synthèse des actions en cours et de leur avancement. Ainsi, lors de la réunion :

- Le TITULAIRE présentera au minimum : (i) le bilan des actions en cours, soldées et prévues, (ii) les indicateurs de qualité définis dans son PMQP, (iii) l'avancement du planning avec les délais et points à risque, et (iv) les points nécessitant un avis ou un accord du CEA ;
- Le CEA peut orienter les axes de développement du TITULAIRE.

Document propriété du CEA – Reproduction et diffusion externes du CEA soumises à l'approbation du Remetteur			
	SPECIFICATION TECHNIQUE		Page 23/28
	Accord		
	Réf. : CEA/DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMTE/ST/DL 2024-031		
	Date : 29/11/2024	Indice : B	
Cahier des charges pour la refonte des modèles hydrogéologiques opérationnels du site de Cadarache			

Ces réunions pourront être axées autour de thèmes spécifiques identifiés par le TITULAIRE et/ou le CEA et proposés au cours du déroulement de la prestation. A ce stade, il est identifié, pour la réunion de coordination phase D, un focus spécifique autour de la présentation des cas tests.

4.2.4 Réunions spécifiques

En complément de ces réunions et en fonction de l'évolution de la prestation ou afin de traiter des points spécifiques pouvant être d'ordres technique, commercial ou contractuel, les interlocuteurs techniques pourront se réunir, sans frais supplémentaires, à la demande de l'une ou l'autre Partie par échange de correspondances. En fonction des besoins, ceux-ci pourront faire l'objet d'un relevé de décisions transmis par mail et également annexé au dossier d'étude.

4.3 Livrables

A chaque fin de phase et en clôture de la prestation, le TITULAIRE constituera un dossier d'étude pour archivage conforme aux prescriptions du CEA, regroupant :

- Le rapport technique unique (cf. §4.3.2) ;
- Les « modèles et fichiers associés » (cf. §4.3.2) ;
- Les éléments liés au suivis de la prestation (comptes-rendus de réunion, etc.).

Les tableaux suivants définissent un estimatif à titre indicatif de la charge de travail liée à ce marché.

4.3.1 Suivi de la prestation

Le Tableau 1 résume les livrables et les délais ou fréquences de réalisation associés au suivi de la prestation.


Tableau 1 : Livrables de suivis attendus et délais associés

Livrables	Délais associés	Volumétrie
Plan de Management de la Qualité Particulier	Version préliminaire avec l'offre / version finale transmise 5 jours ouvrés avant la réunion d'enclenchement soumise à l'acceptation du CEA	1
Comptes-rendus des réunions d'enclenchement/clôture de prestation	5 jours ouvrés pour la remise après la réunion 5 jours ouvrés pour la relecture par le CEA 5 jours ouvrés pour la reprise par le TITULAIRE	2
Comptes-rendus des réunions d'enclenchement/clôture de phase		5
Comptes-rendus des réunions de coordination		4

4.3.2 Réalisation de la prestation

Les livrables techniques associés à la prestation sont de deux natures : un rapport technique unique et les « modèles et fichiers associés » (cf. Tableau 2).

Le rapport technique unique inclura, à terme, la description complète de toutes les phases de la prestation, le détail des méthodes employées et des difficultés rencontrées, ainsi que les justifications des choix effectués. Rédigé par

Document propriété du CEA – Reproduction et diffusion externes du CEA soumises à l'approbation du Remetteur			
		SPECIFICATION TECHNIQUE	Page 24/28
		Accord	
		Réf. : CEA/DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMTE/ST/DL 2024-031	
		Date : 29/11/2024	Indice : B
Cahier des charges pour la refonte des modèles hydrogéologiques opérationnels du site de Cadarache			

le TITULAIRE, celui-ci sera complété et mis à jour à chaque fin de phase (cf. Tableau 2). Un historique des modifications devra être inclus dans chaque nouvelle version. Le rapport technique final sera livré en fin de phase D en version projet puis définitivement validé à la suite de la réunion de clôture de la prestation.

En parallèle, les « modèles et fichiers associés » représentent l'ensemble des fichiers nécessaires à la mise en œuvre des simulations sur les modèles hydrogéologiques, régional et locaux, incluant notamment les fichiers ayant servis à leur construction et leur calage, les bases de données retraitées, les éventuels scripts utilisés et/ou développés dans le cadre de la prestation, etc. Le cas particulier de la phase B est discuté au §3.3.2.3. Chaque ensemble sera structuré et intégré au dossier d'études.

Tableau 2 : Livrables techniques attendus et délais associés

Livrables	Délais associés	Volumétrie
Rapport technique (MàJ en phase A, B, C et D)	10 jours ouvrés pour la remise après la réunion de clôture de la phase	1*
Modèles hydrogéologiques (régional et/ou locaux) et fichiers associés	10 jours ouvrés pour la relecture par le CEA 10 jours ouvrés pour la reprise par le TITULAIRE	4**


* : une mise à jour à chaque fin de phase ; ** : soit un rendu par phase (modèle(s) et fichiers associés à celle-ci)

4.3.3 Phasage des livrables

Le Tableau 3 présente à titre indicatif le phasage associé aux livrables de suivis et techniques attendus au cours de la prestation.


Tableau 3 : Phasage indicatif associé aux livrables

Phases associées	Etapes	Echéances associées
/	T ₀	<ul style="list-style-type: none">Remise du PMQPRéunion d'enclenchement de la prestation
A	Début de phase	<ul style="list-style-type: none">Réunion d'enclenchement phase A
	En cours de phase	<ul style="list-style-type: none">Réunion de coordination phase A
	Clôture de phase	<ul style="list-style-type: none">Réunion de clôture phase A et d'enclenchement phase BRemise du dossier d'étude phase A (+10 jours ouvrés après)
B	En cours de phase	<ul style="list-style-type: none">Réunion de coordination phase B
	Clôture de phase	<ul style="list-style-type: none">Réunion de clôture phase B et d'enclenchement phase CRemise du dossier d'étude phase B (+10 jours ouvrés après)
C	En cours de phase	<ul style="list-style-type: none">Réunion de coordination phase C
	Clôture de phase	<ul style="list-style-type: none">Réunion de clôture phase C et d'enclenchement phase DRemise du dossier d'étude phase C (+10 jours ouvrés après)

		SPECIFICATION TECHNIQUE	Page 25/28
		Accord	
		Réf. : CEA/DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMTE/ST/DL 2024-031	
		Date : 29/11/2024	Indice : B
Cahier des charges pour la refonte des modèles hydrogéologiques opérationnels du site de Cadarache			

D	En cours de phase	<ul style="list-style-type: none">Réunion de coordination phase D
	Clôture de phase	<ul style="list-style-type: none">Réunion clôture de phase DRemise du dossier d'étude phase D en version projet (+10 jours ouvrés après)
/	T _{final}	<ul style="list-style-type: none">Réunion de clôture de la prestationRemise du dossier d'étude final (+10 jours ouvrés après)

Document propriété du CEA – Reproduction et diffusion externes au CEA soumises à l'autorisation du Remettant

		SPECIFICATION TECHNIQUE	Page 26/28
		Accord	
		Réf. : CEA/DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMTE/ST/DL 2024-031	
		Date : 29/11/2024	Indice : B
		Cahier des charges pour la refonte des modèles hydrogéologiques opérationnels du site de Cadarache	

5 CONDITIONS GENERALES D'EXECUTION

5.1 Organisation mise en place par le CEA

Les chargés d'affaires CEA, interlocuteurs du TITULAIRE pour ce qui concerne le déroulement global du marché et les questions techniques seront :

- M. Paul BAREIX (Tel 04.42.25.64.61), responsable d'affaire CEA ;
- Mme. Emilie GIBERT (Tel : 04.42.25.77.36) responsable d'affaire suppléante.

Les chargés d'affaires CEA auront la responsabilité du pilotage de la prestation. Ils seront les interlocuteurs uniques du TITULAIRE dans le cadre de ce contrat.

5.2 Organisation mise en place par le TITULAIRE

Le TITULAIRE précisera dans le PMPQ (cf. §5.4) l'organisation qu'il envisage de mettre en place pour permettre la bonne réalisation et le respect des délais liés à la prestation.

En particulier, il s'engage à désigner :

- Un responsable d'affaire et un suppléant, qui seront, sauf cas de force majeure, les interlocuteurs privilégiés du CEA du début à la fin de la prestation. Ils assureront le suivi du projet, informeront les chargés d'affaires du CEA de l'avancement des tâches et des difficultés éventuelles, et veilleront à la bonne exécution du marché ainsi qu'au respect des directives et prescriptions associées.
- Un interlocuteur technique dédié, présent pour toute la durée du contrat. Il assurera la coordination technique des travaux, veillera au respect des exigences et sera le référent principal pour toutes les questions spécifiques liées aux aspects hydrogéologiques et numériques du projet.

Une même personne peut cumuler les fonctions de responsable d'affaire et d'interlocuteur technique, sous réserve que cela ne compromette ni la disponibilité ni la qualité du suivi attendu par le CEA.


Tout changement des interlocuteurs du TITULAIRE doit être préparé, en particulier faire l'objet d'une période de compagnonnage suffisante pour que ce changement soit transparent pour le CEA et n'affecte pas la qualité de la prestation. Le TITULAIRE s'engage à procéder au remplacement par du personnel de qualification et d'expérience au moins équivalentes.

L'organisation décrite ci-dessus sera fixée et opérationnelle au plus tard lors de la réunion d'enclenchement de la prestation.

5.3 Cadre physique et condition d'accès

L'exécution des prestations sera réalisée dans les locaux du TITULAIRE. Des visites sur site pourront, autant que de besoin, être organisées en plus des réunions identifiées au §4.2. Le personnel désigné pour effectuer la mission devra ainsi satisfaire aux conditions d'accès sur les centres du CEA de Cadarache. L'obtention des accès aux sites pour le personnel intervenant du TITULAIRE, sera à la charge du TITULAIRE.

Les prestations qui nécessitent la présence du personnel TITULAIRE dans les locaux du CEA se dérouleront durant les heures d'ouverture du centre.

Document propriété du CEA – Reproduction et diffusion externes du CEA soumises à l'approbation du Remetteur			
		SPECIFICATION TECHNIQUE	Page 27/28
		Accord	
		Réf. : CEA/DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMTE/ST/DL 2024-031	
		Date : 29/11/2024	Indice : B
Cahier des charges pour la refonte des modèles hydrogéologiques opérationnels du site de Cadarache			

5.4 Qualité

Les prestations, objet du présent Marché, sont réalisées suivant les exigences fixées par le CEA pour la sécurité et par les normes en vigueur ISO 9001 et ISO 14001 pour la qualité et l'environnement.

Le TITULAIRE disposera de ces certifications. Le CEA accepte les certificats équivalents d'organismes établis dans d'autres Etats membres. Si le TITULAIRE n'a pas la possibilité d'obtenir ces certificats dans les délais fixés pour des motifs qui ne lui sont pas imputables, le CEA accepte d'autres mesures équivalentes pour autant que le TITULAIRE établisse que les mesures proposées sont équivalentes à celles requises.

En parallèle, le TITULAIRE établira un Plan de Management de la Qualité Particulière (PMQP) spécifique à l'affaire, décrivant :

- L'organisation mise en œuvre pour assurer la réalisation de la prestation et la conformité des livrables au présent cahier des charges ;
- L'analyse des risques du projet et leur parade ;
- La qualification du personnel intervenant ;
- La description des méthodes de contrôle utilisées pour assurer la qualité de réalisation pour les contrôles internes et externes ;
- Les dispositions mises en œuvre pour assurer la maîtrise des documents à fournir et en particulier le suivi de la prise en compte des observations du CEA. Le cas échéant, le TITULAIRE établira un plan de classement spécifique à l'affaire.

Le PMQP, sous sa forme préliminaire, sera joint à l'offre du soumissionnaire. La version finale sera remise au CEA 5 jours ouvrés avant la réunion d'enclenchement et deviendra, après acceptation par le CEA, contractuelle entre le CEA et le TITULAIRE. Toute modification du système de management de la qualité durant la réalisation de la prestation doit être notifiée au CEA.

5.5 Confidentialité

Le TITULAIRE sera tenu de respecter le cadre confidentiel des informations dont il aura la connaissance à l'occasion de l'appel d'offres et de l'exécution de la prestation. Il répondra du respect de cette obligation pour l'ensemble de son personnel intervenant.


Le TITULAIRE s'engagera à ne jamais communiquer ou publier, en France et à l'étranger, sous quelque forme que ce soit, les renseignements, les documents ou informations qui lui ont été communiqués par le CEA à l'occasion de sa prestation ainsi que tous les livrables fournis au CEA, qui sont la propriété du CEA.

5.6 Réception

Les critères d'acceptation de la prestation seront :

- La conformité par rapport aux exigences contractuelles du marché ;
- La conformité par rapport au planning ;
- La conformité de la prestation et /ou des documents fournis par rapport au besoin exprimé ;
- Le respect des livrables.

Des termes de paiement seront associés à la fin de chacune des phases de la prestation ; termes qui seront déclenchés par la validation des relevés de réunion de clôture de ces dites phases et des livrables techniques attendus.

Document propriété du CEA – Reproduction et diffusion externes du CEA soumises à l'approbation du Remetteur			
		SPECIFICATION TECHNIQUE	Page 28/28
		Accord	
		Réf. : CEA/DES/IRESNE/DTN/SMTA/LMTE/ST/DL 2024-031	
		Date : 29/11/2024	Indice : B
Cahier des charges pour la refonte des modèles hydrogéologiques opérationnels du site de Cadarache			

ANNEXE 1 : LISTE DES DONNEES D'ENTREES FOURNIES PAR LE CEA

Données	Descriptions	Format
Synthèse hydrogéologique	Synthèse hydrogéologique du site de Cadarache	.pdf
Etude de cadrage	Etude de cadrage pour la refonte des modèles hydrogéologiques du site de Cadarache	.pdf
Modèle géologique du site de Cadarache	Cartographie des surfaces lithostratigraphiques	Raster
Extensions modèle hydrogéologiques	Extension attendues pour les modèles hydrogéologique	.shp
Réseau de failles	Géométrie des failles supposées ou identifiées sur le site de Cadarache	.shp
Infrastructures drainantes	Liste et spécifications (géométries et cotes associées aux drains)	Excel
Cours d'eau	Liste et spécifications (géométries uniquement)	.shp
Etudes sur la recharge	Etudes estimant la recharge au droit du site de Cadarache	.pdf
Chronique pluviométrique	Chronique pluviométrique journalière couvrant la période 1970-2024*	.txt
Chronique ETP	Chronique ETP journalière couvrant la période 2000-2024	.txt
Perméabilité	Mesures de perméabilité localisées obtenues par divers essais : slug-tests, essais de pompage et essais Lefranc	Excel
Coefficients d'emmagasinement	Mesures localisées déterminées par essais de pompage	Excel
Liste des piézomètres de référence	Liste et localisation des piézomètres de référence pour les aquifères crétacé et mio-quaternaire	.txt
Données de suivis des piézomètres de référence	Chroniques piézométriques au pas de temps journalier sur la durée d'enregistrement disponible sur chaque ouvrage	.txt
Cartes piézométriques de référence	4 cartes piézométriques du site de Cadarache associées à leurs paramètres (ouvrages et niveaux utilisés)	.jpg
Paramètres de transport	Ensemble des valeurs des paramètres associés au transport à considérer (porosité, coefficient de diffusion, coefficient de dispersion, retard, etc.)	.txt

*Données Météo France également disponibles en libre accès aux alentours