



## RAPPORT

CEA/DIF/DASE/SRCE  
DO 327

15/11/24




24RRBC000496

Diffusé le 25/11/24

**ENV 3TSSI RBC CDC 24000496 A**

**[NP] Cahier des charges pour la réalisation d'un plugin QGIS de géostatistique**

  
Chef du Service  
Radioanalyses, Chimie et Environnement

Nombre total de pages : 11

CEA

Centre CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel I 91297 Arpajon Cedex  
T. +33 (0)1 69 26 46 50 I F. +33 (0)1 69 26 70 65  
Établissement public à caractère industriel et commercial I RCS Paris B 775 685 019

Direction des applications militaires  
Département Analyse, Surveillance, Environnement  
Service Radioanalyses, Chimie et Environnement

**Résumé :**

Le présent cahier des charges exprime le besoin du CEA/DAM pour développer un plugin QGIS de géostatistique, dédié aux études de modélisation hydrogéologique.

TABLEAU DES EVOLUTIONS		
Version	Motif et nature des évolutions	Date
A	Création.	15/11/2024 (version A)

**SOMMAIRE**

<b>1. OBJET DE LA PRESTATION .....</b>	<b>5</b>
<b>2. GESTION DE PROJET .....</b>	<b>5</b>
2.1. Responsable du projet.....	5
2.2. Suivi du projet.....	5
2.3. Environnement de développement.....	6
2.4. Livrables .....	6
<b>3. DEVELOPPEMENT DU PLUGIN – POSTE 10.....</b>	<b>6</b>
3.1. Analyse statistique.....	6
3.1.1 Calculs statistiques de base.....	6
3.1.2 Histogrammes .....	7
3.1.3 Diagrammes croisés .....	7
3.2. Analyse variographique .....	7
3.2.1 Variogrammes expérimentaux .....	7
3.2.2 Ajustement du modèle de variogramme.....	7
3.2.3 Dérive externe .....	7
3.2.4 Sélection dynamique .....	7
3.2.5 Résidus .....	7
3.3. Algorithmes d'interpolation .....	8
3.3.1 Interpolation stochastique.....	8
3.3.2 Interpolation déterministe.....	8
<b>4. MAINTENANCE CORRECTIVE – POSTE 20.....</b>	<b>9</b>
4.1. La gestion des anomalies.....	9
4.2. La correction des anomalies.....	9
4.3. L'assistance technique .....	9
4.4. Le suivi du contrat de maintenance .....	9
<b>5. MAINTENANCE EVOLUTIVE (PART OPTIONNELLE) – POSTE 30.....</b>	<b>10</b>
<b>6. GLOSSAIRE .....</b>	<b>10</b>
<b>7. LISTE DE DIFFUSION .....</b>	<b>11</b>

## 1. OBJET DE LA PRESTATION

L'objectif de la prestation est de faire développer un plugin QGIS de géostatistique, adapté aux études de modélisation hydrogéologique réalisées au CEA/DAM. QGIS est un logiciel de SIG libre multiplateforme publié sous licence GNL qui permet de créer, éditer, visualiser, analyser et publier des données géospatiales sur différents systèmes d'exploitation et appareils. Les données géospatiales sont des données temporelles liées à un emplacement spécifique sur la surface de la Terre.

Dans ce cadre, l'utilisateur souhaite, à partir d'une couche de points d'un projet QGIS, et pour les différentes variables attributaires de cette couche :

- Disposer d'une analyse statistique de base indiquant le nombre d'échantillons, les valeurs minimale et maximale, la moyenne et l'écart-type, ainsi que les principaux quantiles ;
- Construire des histogrammes paramétrables en fonction du nombre de classes et des limites inférieure et supérieure, avec l'option d'une échelle logarithmique ;
- Construire un variogramme expérimental, avec la possibilité de sélectionner ou désélectionner certains points de manière interactive, puis de générer un modèle de variogramme automatiquement ;
- Réaliser des interpolations déterministes (Splines, inverse des distances, triangulation, moyenne mobile) pour créer des surfaces à partir de points mesurés, en fonction de l'étendue de similitude ou du degré de lissage ;
- Réaliser des interpolations géostatistiques fondées sur des modèles statistiques utilisant les relations statistiques entre les points mesurés, principalement des krigeages classiques (krigeage simple, ordinaire ou universel) avec ou sans dérive externe.

La tâche usuelle est de réaliser un krigeage de données piézométriques en utilisant un modèle numérique de terrain plus ou moins lissé (par moyenne mobile) comme dérive externe.

La solution technique repose sur les outils Opensource suivants :

- QGIS pour le SIG, <https://qgis.org> ;
- PostgreSQL avec l'extension PostGIS pour la base de données, <https://www.postgresql.org> ;
- Python, comme outil de développement, <https://www.python.org>.

Les outils d'interpolation et de géostatistique ne seront pas redéveloppés mais déterminés à partir d'une analyse des bibliothèques python existantes, à l'aune de leur performance et de leur pérennité.

## 2. GESTION DE PROJET

### 2.1. Responsable du projet

Le prestataire désignera un interlocuteur qui portera la responsabilité du bon déroulement de l'ensemble du projet sur toute sa durée, c'est-à-dire 1 an à la date de notification du marché.

### 2.2. Suivi du projet

Le suivi du projet sera assuré sur la plateforme Gitlab, qui permet de centraliser l'ensemble des interactions concernant les différents postes et de gérer les échanges sous forme de tickets. Des réunions de suivi seront organisées au minimum de manière mensuelle, plus souvent si cela s'avère nécessaire, à la demande du CEA/DAM ou du prestataire.

Le responsable du projet mettra à la disposition du CEA/DAM un planning du projet permettant d'identifier tout au long du projet les postes en cours de réalisation et les intervenants.

Le marché se déroulera en plusieurs phases :

- Réunion de lancement, laquelle permettra de vérifier la compréhension de l'ensemble des points de la prestation ;
- Une étude préliminaire reprenant les principaux points demandés dans le cahier des charges ;
- Une étude détaillée expliquant la mise en œuvre des principales étapes de réalisation ;
- La réalisation du plugin de géostatistique ;
- La phase de tests dans les locaux du Titulaire ;
- La livraison du plugin et les tests sur le site du CEA/DAM Ile-de-France.

### **2.3. Environnement de développement**

Dans le cadre de ce projet ; le prestataire mettra en place un environnement de développement sous Gitlab, capable de garantir la qualité du code développé, avec :

- Une gestion de la compilation : dépendances nécessaires et leurs disponibilités sur les différentes plateformes ;
- Une infrastructure de tests unitaires ;
- Une plateforme d'intégration continue, incluant :
  - o Compilation automatisée à chaque Pull Request ;
  - o Lancement des tests unitaires et reporting de leur exécution ;
  - o Création de binaires installables avec chaque nouvelle version.

Cette infrastructure sera mise à disposition de la communauté à l'issue des développements.

### **2.4. Livrables**

Chaque nouvelle fonctionnalité fera l'objet d'une mise à jour du code sur la plateforme Gitlab et d'un rapport technique détaillé.

Tous les développements seront accompagnés de tests unitaires et de non régression et d'une documentation disponible « en ligne ». Cette documentation devra également être générée au format PDF pour un usage « hors ligne ».

Les livrables demandés par le CEA/DAM devront être fournis au plus tard 1 an après la date de notification du marché.

## **3. DEVELOPPEMENT DU PLUGIN – POSTE 10**

Le plugin de géostatistique demandé par le CEA/DAM repose sur les fondements classiques des techniques de géostatistique et doit comprendre l'analyse statistique exploratoire des données, la modélisation des variogrammes et la création de la surface par interpolation.

### **3.1. Analyse statistique**

L'analyse statistique exploratoire des données telle que demandée dans le plugin doit impérativement intégrer les calculs statistiques de base, la construction d'histogrammes et de diagrammes croisés. Ces points sont détaillés dans les paragraphes suivants.

#### **3.1.1 Calculs statistiques de base**

Le plugin doit permettre de calculer les statistiques de base et d'afficher le nombre d'échantillons, les valeurs minimale et maximale, la moyenne et l'écart-type, ainsi que les quantiles Q5, Q10, Q25, Q50, Q75, Q90 et Q95.

### 3.1.2 Histogrammes

Le plugin doit intégrer la construction des histogrammes paramétrables en fonction du nombre de classes et des limites inférieure et supérieure, avec l'option d'une échelle logarithmique ainsi que la construction des histogrammes cumulatifs.

### 3.1.3 Diagrammes croisés

La construction de diagrammes croisés permettant de comparer des variables attributaires deux à deux, avec calcul et affichage du coefficient de corrélation et d'une droite de régression doit également être intégrée au plugin de géostatistique.

## 3.2. Analyse variographique

L'analyse variographique est l'étape préalable à l'interpolation stochastique ou déterministe (§ 3.3) et repose sur la production, l'ajustement et l'exploitation de semi-variogrammes expérimentaux et variogrammes théoriques.

Les spécifications demandées par le CEA/DAM sont précisées dans les paragraphes suivants.

### 3.2.1 Variogrammes expérimentaux

Le plugin doit inclure le paramétrage et la production de semi-variogrammes expérimentaux ainsi que la gestion des variogrammes directionnels dans les cas d'anisotropie géométrique ou zonale. L'anisotropie définit la propriété d'être dépendant de la direction.

### 3.2.2 Ajustement du modèle de variogramme

Le plugin doit favoriser un accès à tous les variogrammes théoriques standard (gaussien, cubique, exponentiel, sphérique, linéaire, puissance, pépite) ainsi qu'à une boîte à outils permettant d'effectuer un ajustement manuel ou automatisé des variogrammes expérimentaux.

### 3.2.3 Dérive externe

Le plugin doit permettre de filtrer les tendances spatiales d'ordre nul et de premier ordre ainsi que les tendances entièrement définies avant ou parallèlement à l'ajustement théorique du variogramme.

### 3.2.4 Sélection dynamique

Il est demandé d'intégrer au plugin, la possibilité de sélectionner et désélectionner dynamiquement des sous-ensembles de données à des fins d'analyse et d'interpolation.

Le couplage et l'enregistrement de la sélection avec le modèle de variogramme pour une utilisation ultérieure à des fins de krigeage sont également des fonctionnalités attendues.

### 3.2.5 Résidus

Le plugin doit permettre d'afficher les variogrammes expérimentaux filtrés et non filtrés.



### 3.3. Algorithmes d'interpolation

Les algorithmes d'interpolation à intégrer au plugin font intervenir des méthodes stochastiques et déterministes.

Les méthodes stochastiques font appel à des modèles probabilistes et découlent de l'analyse statistique des données considérées.

Les méthodes déterministes reposent sur des propriétés purement mathématiques, généralement géométriques, sans tenir compte du phénomène physique.

#### 3.3.1 Interpolation stochastique

L'interpolation stochastique utilise à la fois les valeurs observées et l'information de position pour améliorer l'estimation dans le contexte spatial. L'interpolation par krigeage est une technique statistique utilisée pour l'interpolation spatiale qui estime des valeurs inconnues à des emplacements spécifiques en se fondant sur les valeurs connues des points environnants. Le plugin doit permettre de réaliser les types de krigeage suivants :

**Krigeage simple** : Interpolateur de krigeage simple 1D/2D/2,5D avec options de paramétrage *via* l'assistant d'analyse variographique ou par programme. Le krigeage simple suppose que la moyenne des données est connue et constante.

**Krigeage ordinaire** : Interpolateur de krigeage ordinaire 1D/2D/2,5D avec options de paramétrage *via* l'assistant d'analyse variographique ou par programme. Le krigeage ordinaire suppose une moyenne inconnue constante dans la zone d'étude.

**Krigeage universel** : Interpolateur de krigeage universel 1D/2D/2,5D avec options de paramétrage *via* l'assistant d'analyse variographique ou par programme. Le krigeage universel intègre une tendance dans les données, permettant des processus non stationnaires.

#### 3.3.2 Interpolation déterministe

L'interpolation déterministe est fondée sur des fonctions mathématiques qui expriment soit un facteur de pondération des valeurs d'entraînement, soit une surface de tendance. Le plugin doit permettre de réaliser les interpolations fondées sur les méthodes déterministes suivantes :

**Moyenne mobile** : Interpolateur par moyenne mobile 1D/2D/2,5D. L'interpolation par moyenne mobile consiste à assigner à la valeur du point cible la moyenne des données situées dans son voisinage. La notion de voisinage est donc importante et a une influence directe sur le résultat de la cartographie.

**Splines** : Interpolateur spline 1D/2D/2,5D. Une spline est une fonction définie par morceaux par des polynômes. Cet outil utilise une méthode d'interpolation selon laquelle les valeurs sont déterminées à l'aide d'une fonction mathématique qui réduit la courbure globale des surfaces et restitue une surface lisse passant exactement par les points d'entrée.

**Pondération inverse à la distance** : Interpolateur par pondération inverse à la distance 1D/2D/2,5D. L'interpolation par pondération inverse à la distance consiste à assigner à la valeur du point cible la moyenne pondérée des données situées dans son voisinage. Cette méthode part de l'hypothèse explicite selon laquelle les points qui sont proches les uns des autres se ressemblent davantage que ceux qui sont éloignés.



**Triangulation** : Interpolateur par triangulation 1D/2D/2,5D. Cette interpolation repose sur la création d'une surface de triangles formés par des points voisins les plus proches. Les cercles circonscrits autour des points d'échantillon sélectionnés sont créés et leurs intersections sont connectées à un réseau de triangles non-superposés et aussi compacts que possible.

**Tesselation** : Interpolateur par tesselation 1D/2D/2,5D. Cette interpolation consiste en un pavage du plan en cellules à partir d'un ensemble discret de points.

#### **4. MAINTENANCE CORRECTIVE – POSTE 20**

La maintenance corrective couvre l'ensemble des composants du plugin de géostatistique développé. Elle doit intégrer la documentation et les modifications qui seraient à y réaliser suite à une correction d'anomalie. La maintenance corrective est réalisée dans son intégralité par le prestataire sur deux années dont la première couvre la durée du marché, soit 1 an, et l'année N+1.

La maintenance corrective prend en compte les éléments détaillés dans les paragraphes suivants.

##### **4.1. La gestion des anomalies**

Les anomalies seront signalées par le CEA/DAM sous forme de ticket sur la plateforme Gitlab.

Le prestataire devra s'engager sur un délai de 1 jour ouvré pour accuser réception de l'anomalie en réponse au ticket. Il devra également s'engager sur un délai de 3 jours ouvrés après l'accusé de réception pour analyser l'anomalie, en faire un diagnostic accompagné d'une prévision de correction, tant en charge qu'en délai, et transmettre la réponse au CEA/DAM dans le ticket correspondant.

##### **4.2. La correction des anomalies**

Les anomalies sont classées en deux catégories :

- Anomalie bloquante : tout dysfonctionnement rendant le système inexploitable. Le traitement de l'anomalie et la livraison de la version corrective devront être réalisés dans les 5 jours ouvrés, à compter de la validation de la réception de l'anomalie par le prestataire ;
- Anomalie non bloquante : tout dysfonctionnement conduisant à des comportements et des résultats erronés, mais pouvant être contourné. Le traitement de l'anomalie et la livraison de la version corrective devront être réalisés dans les 10 jours ouvrés, à compter de la validation de la réception de l'anomalie par le prestataire.

##### **4.3. L'assistance technique**

Il est demandé au prestataire, au cas où le CEA/DAM rencontrerait des difficultés dans l'installation, la configuration, l'utilisation du plugin de géostatistique, d'assurer une assistance téléphonique au CEA/DAM pour la résolution du ou des problèmes rencontrés. Cette assistance téléphonique devra être effective du lundi au vendredi entre 8h30 et 17h00.

##### **4.4. Le suivi du contrat de maintenance**

Le suivi du contrat de maintenance sera réalisé via la gestion des tickets sur la plateforme Gitlab et des réponses faites par le prestataire, les calendriers de livraison des versions corrigeant des anomalies et des réunions mensuelles sur le bilan des actions réalisées.

**5. MAINTENANCE EVOLUTIVE (PART OPTIONNELLE) – POSTE 30**

La maintenance évolutive consiste, pour le prestataire, à réaliser des modifications de l'un des composants du plugin, tant sur le plan fonctionnel que technique, qui n'ont pas été spécifiées contractuellement. Les demandes d'évolution sont rédigées par le responsable CEA/DAM sous la forme d'une expression de besoin dans un ticket sur la plateforme Gitlab, avec la mention « Evolution ». Le prestataire dispose de 2 jours ouvrés pour accuser réception de cet envoi en réponse au ticket, et de 10 jours ouvrés pour faire une proposition en termes de charge et de durée. La décision de réaliser l'évolution et d'en définir le planning est du ressort du responsable CEA/DAM.

Lorsque la réalisation est terminée, le prestataire s'accorde avec le responsable CEA/DAM pour une date de livraison et de réception. La validation de cette réception entraîne, pour cette évolution, une période de garantie de 1 mois. Au-delà de cette garantie, l'évolution est totalement intégrée dans la version opérationnelle et entre dans le cadre de la maintenance corrective normale.

La maintenance évolutive est demandée pour une période de 1 an à compter de la clôture du dit marché.

**6. GLOSSAIRE**

CEA	Commissariat à l'Energie Atomique
DAM	Direction des Application Militaires
GNL	Licence Publique Générale
SIG	Système d'Informations Géographiques

## 7. LISTE DE DIFFUSION

Pour diffusion externe.