

Faculté des Sciences de la Terre, de Géographie et de l'Aménagement du Territoire
Université d'Oran

Département de Géologie

Mémoire

Présenté pour l'obtention du grade
de
Magistère en Hydrogéologie

Option : **Modélisation et Hydrogéologie des Grands Bassins Sédimentaires**

ETUDE PAR KRIGEAGE DES DONNEES PIEZOMETRIQUES DE LA NAPPE DU PLATEAU DE MOSTAGANEM

Par :

Mme BENZIAN Imane Fazilet

Soutenu le : 22/10/2009 devant la commission d'examen :

Mr HAYANE S.M.	Maître de conférences,	Université Es-Sénia	Président
Mr BENALI A.	Professeur,	Université Es-Sénia	Rapporteur
Mr BAICHE A.	Chargé de cours,	Université Es-Sénia	Co-Rapporteur
Mr MANSOUR H.	Maître de conférences,	Université Es-Sénia	Examineur
M^{elle} MEBROUK N.	Maître de conférences,	Université Es-Sénia	Examinatrice

Oran, 2009



*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

A mes parents

Qu'ils voient en ce fruit leur travail.

كانت المياه الجوفية التي تزرخ بها هضبة مستغانم توفر الاحتياجات المائية للصناعة و الفلاحة، و تمون المنطقة و ضواحيها بالمياه الصالحة للشرب. و نتيجة للاستغلال المفرط، لم تعد تستطيع هذه الطبقة المائية تأمين معاش المنطقة. و لضمان بقاء هذه الطبقة يجب تحديد أضرار هذا الإفراط. و لذلك نقترح استعمال قوانين الجيواحصائية لتقويم آثار ضخ الآبار على المستوى المائي لهذه الطبقة. و سيسمح التحليل "الفاربيوغرافي" و الطريقة "الكريجية" بوصف و تفسير تحرك الشحنة المائية، و انتقالها في الفضاء قصد الإدارة الجيدة لموارد هذه المياه الجوفية.

RESUME

La nappe de Mostaganem a toujours pourvu aux besoins en eau l'industrie, l'agriculture ainsi qu'à l'alimentation en eau potable la ville de Mostaganem et les agglomérations avoisinantes. A cause de sa surexploitation, cette nappe ne peut plus subvenir aux besoins de la région, et pour assurer sa pérennité, les méfaits de sa surexploitation doivent être cernés. Pour cela, la méthode géostatistique est proposée afin d'évaluer l'influence des puits de pompage sur le niveau piézométrique de la nappe.

L'analyse variographique et la méthode de krigeage permettront de décrire et d'interpréter le comportement de la charge hydraulique et son évolution dans l'espace pour une meilleure gestion des ressources de la nappe.

Abstract

The groundwater of Mostaganem always provided for the requirements out of water industry, agriculture like with the drinking water, supply the town of Mostaganem and the agglomerations neighbouring. Because of its overexploitation, this aquifer cannot provide any more area needs, and to ensure its perennality, the misdeeds of its over exploitation must be encircled. For that, the geostatistic method is proposed in order to evaluate the influence of the pumping well on the groundwater piezometric level.

The variographic analysis and the kriging method will make it possible to describe and interpret the behaviour of the hydraulic load and its evolution in space for a better aquifer stock management.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION.....	8
1. INTRODUCTION.....	10
1.1. Terminologie de base en géostatistique.....	10
1.2. Applications de la géostatistique.....	11
1.3. A propos des notations.....	11
2. Variables régionalisées et fonctions aléatoires.....	12
2.1. Variables régionalisées et leur représentation probabiliste.....	12
2.2.1. Le concept d'une fonction aléatoire.....	13
2.2.2. Inférence statique.....	14
2.2. Moments et stationnarité.....	14
2.2.1. Espérance mathématique ou moment d'ordre un.....	15
2.2.2. Moments d'ordre deux.....	15
2.2.3. Les hypothèses de stationnarité.....	15
3. A propos de la covariance et du variogramme.....	18
3.1. Conditions de définition positive.....	18
3.2. Combinaisons linéaires autorisées.....	19
3.3. Propriétés de la covariance.....	19
3.4. Absence de corrélation.....	19
3.5. Propriétés du variogramme.....	20
3.6. Phénomènes de transition.....	20
3.7. Comportement du variogramme près de l'origine.....	21
3.8. Comportement du variogramme à l'infini.....	22
3.9. Inférence des moments d'ordre deux.....	22
3.9.1. Variogramme expérimental.....	22
3.9.2. A propos de la robustesse du variogramme.....	24
3.10. Isotropie.....	25
3.11. Anisotropie.....	25
3.11.1. Anisotropie géométrique.....	26
3.11.2. Anisotropie zonale.....	26
3.12. Modélisation du variogramme expérimental.....	27
3.12.1. Pourquoi modéliser le variogramme ?.....	27
3.12.2. Modèles autorisés.....	27
3.12.3. Structures gigognes.....	31
4. Introduction au krigeage.....	32
4.1. Krigeage.....	32
4.1.1. Etape 1 : contrainte de linéarité : « L ».....	33
4.1.2. Etape 2 : contrainte d'autorisation : « A ».....	33
4.2.3. Etape 3 : contrainte d'universalité : « U ».....	33
4.1.4. Etape 4 : contrainte d'optimalité. « O ».....	33
4.2. Les systèmes de krigeage.....	34
4.2.1. Le krigeage ordinaire.....	34
4.2.2. Krigeage simple.....	35
4.2.3. Krigeage universel.....	36
4.3. Validation croisée.....	38
I. GEOLOGIE.....	41
I.1. Le Miocène supérieur.....	43
I.2. Le Pliocène.....	44

	47
	49
IV. HYDROGÉOLOGIE.....	50
Fig. 11 : Bloc diagramme du substratum de la région de Mostaganem (réalisé par BAICHE, 1994).....	51
IV.1. Les aquifères de la région de Mostaganem.....	52
IV.1.1. L'aquifère principal.....	52
IV.1.2. L'aquifère de la plaine de Bordjias.....	52
IV.1.3. L'aquifère côtier.....	52
IV.2. Les limites de la nappe du plateau de Mostaganem.....	52
IV.3. Carte piézométrique 1970.....	53
IV.4. Carte piézométrique 1990.....	60
Introduction.....	63
Compagne piézométrique 1970.....	64
Etude par krigeage.....	67
Anisotropie.....	67
Etude variographique.....	68
Validation croisée.....	69
Carte interpolée par krigeage.....	69
Carte des écarts réduits.....	71
Carte des gradients hydraulique.....	73
Compagne piézométrique 1990.....	74
Etude statistique.....	74
Etude par krigeage.....	76
Anisotropie.....	76
Etude variographique.....	77
Validation croisée.....	78
Carte interpolée par krigeage.....	78
Carte des écarts réduits.....	79
Carte du gradient hydraulique.....	81
Comparaison entre les deux cartes krigées.....	82
Conclusion.....	85
BIOBLIOGRAPHIE.....	88
Données de la compagne piézométrique de 1970.....	92
Données de la compagne piézométrique de 1990.....	100



Remerciements

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à mon promoteur Mr BENALI qui m'a permis de mener à bien ce travail et de m'avoir si bien dirigé et conseillé.

Mes remerciements s'adressent également à mon co-promoteur, Mr BAICHE, pour sa précieuse aide, sa patience et ses encouragements.

Qu'ils trouvent en ces mots l'expression de mon respect et de ma sincère gratitude.

Je remercie sincèrement Mr HAYANE, pour avoir bien voulu s'intéresser à ce sujet et à le présider.

Je saisi également cette occasion pour exprimer ma reconnaissance à Melle MEBROUK et à Mr MANSOUR, pour nous faire l'honneur d'examiner ce mémoire et de le juger.

Aussi, je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont montré leur intérêt et qui ont contribué de près ou de loin à l'accomplissement de ce mémoire.



*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Les méthodes géostatistiques se sont développées dans différentes directions qui leur sont propres, et qui n'ont eu plus que de lointains rapports avec la statistique usuelle. Si, en toute généralité, la géostatistique a été définie comme étant l'étude des variables numériques réparties dans l'espace, il serait clair alors que des problèmes essentiellement géostatistiques ont été abordés depuis fort longtemps, et ce dans différents domaines, qu'ils soient, minier, météorologique ou forestier, etc.

Ce sont d'une part, les problèmes techniques parfois forts terre à terre, et d'autre part l'arsenal de méthodes mathématiques, qui permettent l'application de la géostatistique.

Un travail précédent utilisant une approche géostatistique (DAHMANI, 2005) a été réalisé sur la nappe du plateau de Mostaganem. L'étude avait porté sur la variographie, notamment sur le traitement de données dans le but de décrire le comportement de la charge hydraulique prise comme variable.

Nous nous proposons, en exploitant la même base de données (données piézométriques qu'ont utilisé GAUCHEZ (1981), et BAÏCHE (1994)) de modéliser les variogrammes avec plus de précision selon les axes d'écoulement préférentiel. Ensuite, de faire une validation croisée à partir des variogrammes dans le but d'estimer les données pour qu'ils soient représentés dans des cartes de valeurs piézométriques krigées.

Notre étude est scindée en trois chapitres :

- Le premier chapitre est une introduction aux concepts de bases de la géostatistique, où il est exposé les notions de la géostatistique utilisés pour mener à bien notre étude.
- Le deuxième chapitre énonce une synthèse des études géologique et hydrogéologique qui ont déjà été faites.
- Enfin, dans le troisième et dernier chapitre, nous nous proposons d'exposer nos résultats et leur interprétation accompagnés des valeurs des paramètres employés à l'élaboration.



Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

CHAPITRE I

Introduction aux concepts de base de la géostatistique

1. INTRODUCTION

1.1. Terminologie de base en géostatistique

Etymologiquement, le terme « *géostatistique* » désigne l'étude statistique de phénomènes naturels. G. Matheron (1962) donna la définition suivante à ce terme : « La géostatistique est l'application du formalisme des fonctions aléatoires à la reconnaissance et l'estimation des phénomènes naturels ».

Un phénomène naturel peut souvent être caractérisé par la distribution dans l'espace d'une ou plusieurs variables appelées « *variables régionalisées* » (VR). La distribution de la charge hydraulique dans un espace horizontal, par exemple, caractérise une surface piézométrique.

Soit $z(x)$ la valeur de la variable z (charge hydraulique) au point x . le problème est de représenter la variabilité de la fonction $z(x)$ dans l'espace (quand x varie). Cette représentation sera alors utilisée pour résoudre des problèmes comme l'estimation de la valeur $z(x_0)$ à un point x_0 où aucune donnée n'est disponible.

La solution géostatistique consiste à interpréter chaque valeur $z(x_i)$ (z en caractère minuscule) comme une réalisation particulière d'une variable aléatoire (VA) $Z(x_i)$ (Z en caractère majuscule) au point x_i . L'ensemble de ces VA auto-corrélées $\{Z(x), \text{ quand } x \text{ varie dans le domaine } D\}$ constitue une « *fonction aléatoire* » (FA). Le problème de la caractérisation de la variabilité spatiale de $z(x)$ est alors réduit à celui de la caractérisation des corrélations entre les différentes VA $Z(x_i), Z(x_j)$ qui constituent la FA $\{Z(x), x \in D\}$. Cette interprétation fondamentale est justifiée à posteriori si les solutions qui en résultent pour les différents problèmes rencontrés en pratique sont cohérentes et acceptables (JOURNEL et HUIJBREGTS, 1978 in BENCHOUK (1994)).

atistique

La géostatistique et l'approche probabiliste en général, sont particulièrement applicables à l'étude des phénomènes naturels.

A ce stade, la géostatistique a été appliquée avec succès à différents domaines comme l'exploitation minière, la géophysique, la géochimie, l'hydrologie, la géotechnique, les études d'environnement, l'agronomie, etc. L'application correcte des concepts de la géostatistique dépend des personnes directement concernées par chaque domaine. Par exemple, dans l'hydrogéologie, les conclusions adéquates d'une analyse de variabilité spatiale seront atteintes seulement s'il existe une collaboration étroite avec l'hydrogéologue, ou mieux encore si l'analyse est réalisée par l'hydrogéologue lui-même. Ceci souligne la nature instrumentale de la géostatistique.

1.3. A propos des notations

Les notations seront avec précision dans le texte. Cependant il est inutile d'introduire à ce stade les notations suivantes.

Pour simplifier la notation, les coordonnées (x_u, x_v, x_w) d'un point (dans un espace tridimensionnel) seront notées x . le vecteur tridimensionnel (h_u, h_v, h_w) est noté h , et a pour module

$$r = |h| = \sqrt{(h_u^2 + h_v^2 + h_w^2)}$$

Et pour direction (α, φ) .

Les caractères minuscules, z ou y , sont réservés pour des valeurs réelles. Les caractères majuscules correspondants, Z ou Y , représentent l'interprétation de ces valeurs réelles comme une VA ou une FA.

Une valeur estimée est distinguée d'une valeur réelle, connue ou inconnue, par un astérisque*. Donc, $z^*(x)$ représente la valeur estimée de $z(x)$, et $Z^*(x)$ représente l'interprétation de cet estimateur comme une Va ou une FA.

Les notations adoptées sont celles utilisées par JOURNAL et HUIJBREGTS.

2. Variables régionalisées et fonctions aléatoires

2.1. Variables régionalisées et leur représentation probabiliste

Quand une variable est distribuée dans un espace, elle est dite « régionalisée ». Ce type de variable est souvent une caractéristique d'un certain phénomène. Les teneurs en métaux, par exemple, sont caractéristiques d'une minéralisation. Le phénomène représenté par une VR est appelé une « régionalisation ».

Les VR ne sont pas spécifiques du domaine minier. La plupart des variables étudiées en sciences de la terre peuvent être considérées comme étant des variables régionalisées.

La définition d'une VR comme étant une variable distribuée dans un espace est purement descriptive et ne sous-entend aucune interprétation probabiliste (JOURNEL et HUIJBREGTS, 1978 *in* BENCHOUK (1994)).

D'un point de vue mathématique, une VR est simplement une fonction $F(x)$ qui prend une valeur en chaque point x de coordonnées (x_u, x_v, x_w) d'un espace tridimensionnel. Cependant, le plus souvent, cette fonction varie d'une manière tellement irrégulière dans l'espace qu'il serait vain d'essayer directement de l'étudier mathématiquement. Malgré cela, un comportement caractéristique ou une structure de la variabilité spatiale de la VR étudiée peut être discerné derrière un aspect localement erratique. Une VR possède donc deux caractéristiques, apparemment contradictoires (fig. 1) :

- Un aspect local aléatoire et erratique qui rappelle la notion de VA ;
- Un aspect général structuré qui requiert une certaine représentation fonctionnelle.

Une formulation correcte doit prendre, en considération, ce double aspect aléatoire et structuré. Une telle formulation est l'interprétation probabiliste donnée par les FA.

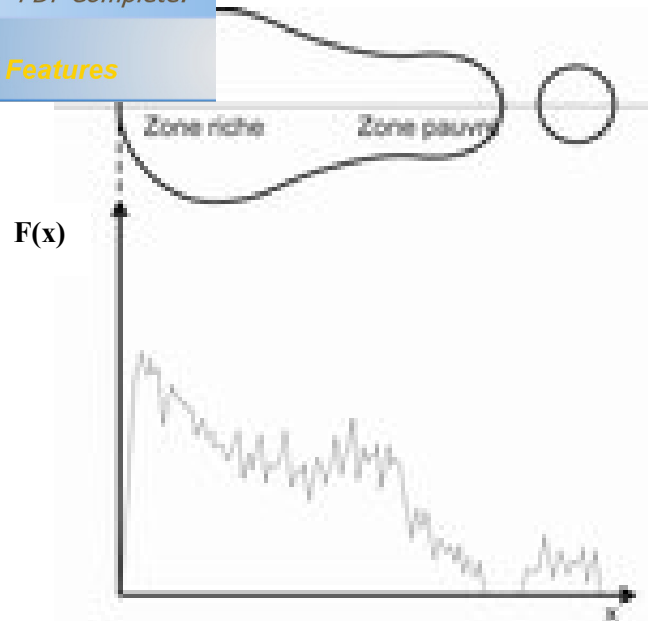


Fig.1 : Aspects aléatoire et structuré d'une variable régionalisée.

2.2.1. Le concept d'une fonction aléatoire

Une VA est une variable qui prend un certain nombre de valeurs numériques conformément à une certaine distribution de probabilité. Considérons, par exemple, la charge hydraulique $z(x_1)=15\text{m}$ en un point particulier x_1 d'un aquifère. Cette valeur peut être considérée comme étant une réalisation particulière d'une certaine VA $Z(x_1)$ définie au point x_1 . L'ensemble des valeurs $z(x)$ pour tous les points x appartenant à la piézométrie de la nappe, c'est-à-dire la VR $z(x)$, peut donc être considéré comme étant une réalisation particulière de l'ensemble des VA $\{Z(x), x \in \text{nappe}\}$. Cet ensemble de VA est appelé fonction aléatoire et sera noté $Z(x)$.

Cette définition d'une FA exprime les aspects aléatoire et structuré d'une VR (JOURNEL et HUIJBREGTS, 1978 *in* BENCHOUK (1994)) :

- Localement, au point x_1 , $Z(x_1)$ est une VA ;
- $Z(x)$ est une aussi FA dans le sens où pour chaque paire de points x_1 et x_1+h , les VA correspondantes $Z(x_1)$ et $Z(x_1+h)$ ne sont pas, en général, indépendantes mais liées par une corrélation exprimant la structure spatiale de la VR initiale $z(x)$.

2.2.2. Inférence statique

L'interprétation probabiliste d'une VR $z(x)$ comme étant une réalisation particulière d'une certaine FA $Z(x)$ n'a de sens opérationnel que s'il est possible d'inférer toute ou une partie de la loi de probabilité qui définit entièrement cette FA. Evidemment, il n'est rigoureusement pas possible d'inférer la loi de probabilité d'une FA $z(x)$ à partir d'une seule réalisation $z(x)$ qui est, en plus, limitée à un nombre fini de points échantillonnés x_i . Puisqu'en pratique nous serons limités à une seule réalisation $\{z(x_i)\}$ (c'est-à-dire la FA aux positions x_i), impliquent plusieurs degrés d'homogénéités spatiales. Elles seront introduites sous le titre général d' « *hypothèses de stationnarité* ».

2.2. Moments et stationnarité

Considérons la FA $Z(x)$. Pour chaque ensemble de k points dans R^n (espace dimensionnel) $\{x_1, x_2, \dots, x_k\}$ appelés points supports, il correspond à un vecteur de VA à k composantes

$$\{Z(x_1), Z(x_2), \dots, Z(x_k)\}.$$

Ce vecteur de VA est caractérisé par la fonction de distribution à k variables

$$F_{x_1 \dots x_k}(Z_1, \dots, Z_k) = \text{Prob} \{Z(x_1) < z_1, \dots, Z(x_k) < z_k\}.$$

L'ensemble de toutes ces fonctions de distribution, pour tous les entiers positifs k et pour chaque choix possible de points supports dans R^n , constitue la « loi spatiale » de la FA $Z(x)$ (JOURNEL et HUIJBREGTS, 1978 in BENCHOUK (1994)). Dans les applications de géostatistique, les données généralement disponibles sont suffisantes pour inférer toute la loi spatiale. En géostatistique linéaire, seulement les deux premiers moments de la FA sont utilisés ; autrement dit, aucune distinction n'est faite entre deux FA $Z(x_1)$ et $Z(x_2)$ qui possèdent les mêmes moments d'ordre un et deux : les deux fonctions sont considérées représenter le même modèle.

2.2.1. La fonction de moyenne ou moment d'ordre un

Considérons une VA $Z(x)$ au point x . si la fonction de distribution de $Z(x)$ possède une espérance (et nous supposons qu'elle en possède), alors cette espérance est généralement fonction de x et est écrite (JOURNEL et HUIJBREGTS, 1978 *in* BENCHOUK (1994))

$$E\{Z(x)\} = m(x)$$

2.2.2. Moments d'ordre deux

Les trois moments d'ordre deux considérés en géostatistique sont comme suit (JOURNEL et HUIJBREGTS, 1978).

- La variance, ou plus précisément la « *variance à priori* » de $Z(x)$. de la même façon que pour $m(x)$, la variance est généralement fonction de x .

$$\text{Var}\{Z(x)\} = E\{[Z(x) - m(x)]^2\}$$

- La covariance. Il est montré que si deux VA $Z(x_1)$ et $Z(x_2)$ ont des variances aux points x_1 et x_2 alors elles possèdent une covariance qui est fonction de x_1 et x_2 ; elle est écrite

$$C(x_1, x_2) = E\{[Z(x_1) - m(x_1)][Z(x_2) - m(x_2)]\}$$

- Le variogramme. La fonction variogramme est définie comme étant la variance des incréments $[Z(x_1) - Z(x_2)]$, et est écrite

$$2\gamma(x_1, x_2) = \text{Var}\{Z(x_1) - Z(x_2)\}$$

La fonction $\gamma(x_1, x_2)$ est donc le « demi-variogramme ».

2.2.3. Les hypothèses de stationnarité

- a) **Stationnarité stricte** : une FA est dite stationnaire au sens strict quand sa loi spatiale est invariante par translation. Plus précisément, les deux vecteurs à k composantes de VA $\{Z(x_1), \dots, Z(x_k)\}$ et $\{Z(x_1+h), \dots, Z(x_k+h)\}$ possèdent la même loi de distribution à k variables quel que soit le vecteur de translation h (JOURNEL et HUIJBREGTS, 1978 *in* BENCHOUK (1994)).

Il est à noter que cette forme de stationnarité n'implique pas l'existence de moyennes, de variances ou de covariances (MYERS, 1988 *in* BENCHOUK (1994)). Dans toutes les situations, les données sont représentées comme un échantillon d'une réalisation unique de la FA et donc ne peuvent servir de base pour la vérification de la stationnarité de la FA (MYERS, 1988 *in* BENCHOUK (1994)) ; nous concluons donc que la stationnarité stricte est une hypothèse très forte en toutes circonstances.

b) **Stationnarité d'ordre 2** : une FA est dite stationnaire d'ordre deux si :

- L'espérance mathématique $E\{Z(x)\}$ existe et ne dépend pas du point support x ;
d'où :

$$E\{Z(x)\} = m, \quad \forall x$$

- Pour chaque point de VA $\{Z(x), \dots, Z(x+h)\}$ la covariance existe et dépend de la distance de séparation h ,

$$C(h) = E\{Z(x+h) \cdot Z(x)\} - m^2, \quad \forall x$$

Où h représente un vecteur de coordonnées (h_u, h_v, h_w) dans un espace tridimensionnel.

La stationnarité de la covariance implique celles de la variance et du variogramme (JOURNEL et HUIJBREGTS, 1978). les relations suivantes en découlent :

$$\begin{aligned} \text{Var}\{Z(x)\} &= E\{[Z(x) - m]^2\} = C(0), \quad \forall x \\ \gamma(h) &= \frac{1}{2} E\{[Z(x+h) - Z(x)]^2\} = C(0) - C(h), \quad \forall x \end{aligned} \quad (1)$$

Sous l'hypothèse de stationnarité d'ordre deux, la relation (1) indique que la covariance et le variogramme sont deux outils équivalents pour caractériser l'auto corrélations entre deux variables $Z(x+h)$ et $Z(x)$ séparées par la distance h .

L'hypothèse de stationnarité d'ordre deux suppose l'existence d'une covariance et donc d'une variance à priori finie, $\text{Var}\{Z(x)\} = C(0)$. Maintenant, l'existence de la fonction variogramme représente une hypothèse plus faible que l'existence de la covariance ; de plus, il existe beaucoup de phénomènes physiques et de FA qui possèdent une capacité infinie de dispersion, c'est-à-dire qui n'admettent ni de variance à priori ni de covariance, mais pour lesquels un variogramme peut être défini. Comme conséquence, l'hypothèse de stationnarité d'ordre deux peut être légèrement affaiblie quand on suppose uniquement l'existence et la stationnarité du variogramme.

ne FA $Z(x)$ est dite intrinsèque (forme de stationnarité introduite par MATHERON, 1971, 1973 in BENCHOUK (1994)) si :

- L'espérance mathématique existe et ne dépend pas du point support x

$$E\{Z(x)\} = m, \quad \forall x$$

- Pour tous les vecteurs h , l'incrément $[Z(x+h) - Z(x)]$ possède une variance finie ne dépendant pas de x

$$\text{Var} \{Z(x+h) - Z(x)\} = E\{[Z(x+h) - Z(x)]^2\} = 2 \gamma (h), \quad \forall x$$

Donc la stationnarité d'ordre deux implique l'hypothèse intrinsèque mais l'inverse n'est pas vrai : l'hypothèse intrinsèque peut aussi être vue comme étant la limitation de la stationnarité d'ordre deux aux incréments de la FA $Z(x)$.

- d) **Quasi-stationnarité** : en pratique, la fonction structurale, covariance ou variogramme, est utilisée pour des distances limitées $|h| \leq b$. la limite b représente, par exemple, le diamètre du voisinage d'estimation (soit la zone qui contient l'information à utiliser). La limitation de l'hypothèse de stationnarité d'ordre deux (ou l'hypothèse intrinsèque si uniquement le variogramme est considéré) aux seules distances $|h| \leq b$ correspond à une hypothèse de quasi-stationnarité (ou à une hypothèse quasi-intrinsèque).

Pratiquement, nous pouvons définir des voisinages mobiles dans lesquels l'espérance et la covariance peuvent être considérées comme secondaires et où les données sont suffisantes pour qu'une inférence statique soit possible. L'hypothèse de quasi-stationnarité est réellement un compromis entre l'échelle d'homogénéité du phénomène et le nombre de données disponibles. En effet, il est toujours possible de produire une stationnarité en réduisant considérablement la dimension b des zones de quasi-stationnarité, mais dans ce cas la plupart de ces zones ne correspondraient à aucune donnée et donc il serait impossible d'en inférer les moments quasi-stationnaires.

3. A propos de la covariance et du variogramme

3.1. Conditions de définition positive

Soit $Z(x)$ une FA d'espérance m et de covariance $C(h)$ ou demi-variogramme $\gamma(h)$.
Soit Y une combinaison linéaire finie quelconque du type

$$Y = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$$

Pour tout coefficient de pondération λ_i .

Cette combinaison est une VA et sa variance ne peut être négative, $\text{Var}\{Y\} \geq 0$.
Explicitement, cette variance est écrite (JOURNEL et HUIJBREGTS, 1978 in BENCHOUK (1994))

$$\text{Var}\{Y\} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j C(x_i - x_j) \geq 0 \quad (2)$$

La fonction de covariance doit être telle qu'elle puisse assurer que la variante précédente soit toujours positive ou nulle. Par définition donc, la fonction $C(h)$ est dite « une fonction définie positive ».

Utilisant la relation (1), l'expression (2) peut être réécrite en termes de demi-variogrammes

$$\text{Var}\{Y\} = C(0) \sum_{i=1}^n \lambda_i \sum_{j=1}^n \lambda_j - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j \gamma(x_i - x_j)$$

Dans le cas où la variance $C(0)$ n'existe pas alors l'hypothèse intrinsèque est seule supposée, et la variance de Y est définie sous la condition que

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 0$$

$$\text{D'où} \quad \text{Var}\{Y\} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j \gamma(x_i - x_j) \quad (3)$$

La fonction variogramme doit être telle que $\text{Var}\{Y\}$ soit positive ou nulle, avec la condition que $\sum_i \lambda_i = 0$. Par définition, $-\gamma(h)$ est dite fonction « définie positive conditionnelle ».

3.2. Combinaisons linéaires autorisées

Quand seule l'hypothèse intrinsèque est supposée, les seules combinaisons linéaires possédant une variance finie sont celles vérifiant la condition sur les coefficients de pondération : $\sum_i \lambda_i = 0$. Donc, si uniquement ces combinaisons linéaires autorisées sont considérées (ce qui est le cas, en géostatistique linéaires), alors il n'y a aucun besoin de calculer la variance à priori $C(0)$ ou de connaître l'espérance $m = E\{Z(x)\}$ ou la covariance $C(h)$; il suffit de connaître le demi-variogramme (JOURNEL et HUIJBREGTS, 1978 in BENCHOUK (1994)).

3.3. Propriétés de la covariance

La fonction de covariance $C(h)$ étant définie positive implique les propriétés suivantes
 $C(0) = \text{Var}\{Z(x)\} \geq 0$, une variance à priori ne peut être négative ;
 $C(h) = C(-h)$, la covariance est une fonction paire ;
 $C(h) \leq C(0)$.

Le degré de corrélation entre deux variables $Z(x)$ et $Z(x+h)$ décroît, généralement, à mesure que croît la distance h . donc, en général, la fonction de covariance décroît de sa valeur à l'origine $C(0)$ (fig. 2)

3.4. Absence de corrélation

Très souvent, en pratique, la corrélation entre deux variables $Z(x)$ et $Z(x+h)$ disparaît quand la distance h devient trop grande :

$$C(h) \rightarrow 0, \text{ quand } |h| \rightarrow \infty$$

Et, en pratique, nous pouvons poser $C(h) = 0$, une fois $|h| \geq a$. la distance a au-delà de laquelle $C(h)$ peut être considérée comme nulle est appelée la « portée ». Elle représente la transition de l'état où une corrélation spatiale existe ($|h| \geq a$) à l'état où il y a absence de corrélation ($|h| \geq a$) (fig.2)

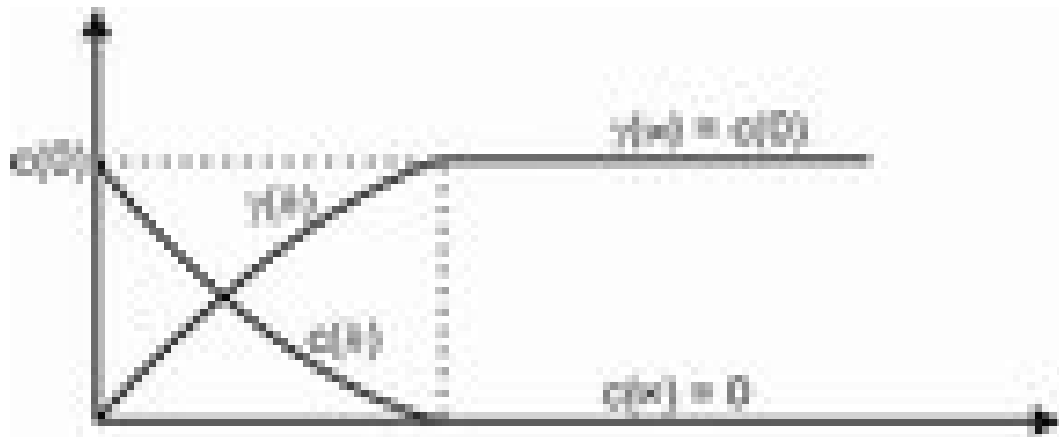


Fig.2 : Covariance et demi-variogramme.

3.5. Propriétés du variogramme

La définition du variogramme comme étant la variance d'incrément implique les propriétés suivantes :

$$\gamma(0) = 0, \text{ et}$$

$$\gamma(h) = \gamma(-h) \geq 0.$$

En général, à mesure que h croît la déviation quadratique moyenne entre les deux variables $Z(x)$ et $Z(x+h)$ tend à croître et donc $\gamma(h)$ croît à partir de sa valeur initiale nulle.

3.6. Phénomènes de transition

Très souvent, en pratique, le demi-variogramme arrête de croître au-delà d'une certaine distance et devient plus ou moins stable autour d'une valeur limite $\gamma(\infty)$ appelée « palier » qui est simplement la variance a priori de la FA

$$\gamma(\infty) = \text{Var} \{Z(x)\} = C(0)$$

Dans ces situations, la variance *a priori* existe ainsi que la covariance. Ces variogrammes qui sont caractérisés par un palier et une portée sont appelés « modèles de transition ». Ils correspondent à des FA qui sont non seulement intrinsèques mais aussi stationnaires d'ordre deux (JOURNEL et HUIJBREGTS, 1978 in BENCHOUK (1994)) (fig. 2).

ramme près de l'origine

La continuité et la régularité dans l'espace de la FA $Z(x)$ et donc de la VR $z(x)$ qu'elle représente, sont liées au comportement du variogramme près de l'origine. Dans un ordre de régularité décroissante, quatre principaux types de comportement peuvent être distingués. (fig. 3)

- comportement parabolique : $\gamma(h) \sim A |h|^2$ quand $h \rightarrow 0$. ce type de comportement est caractéristique d'une variabilité spatiale très régulière.
- Comportement linéaire : $\gamma(h) \sim A |h|$ quand $h \rightarrow 0$.
- Discontinuité à l'origine : $\gamma(h)$ ne tend pas vers zéro quand h tend vers zéro, même si par définition $\gamma(0) = 0$.

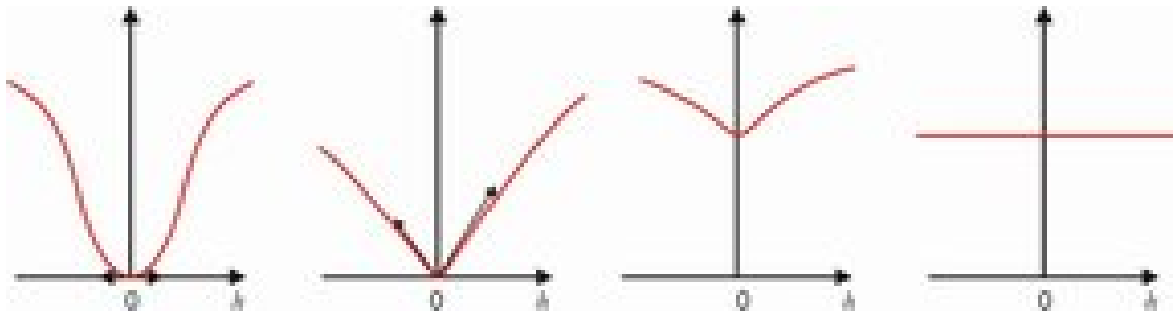


Fig. 3 : Comportement du variogramme près de l'origine.

(a) comportement parabolique, (b) comportement linéaire, (c) effet de pépite, (d) pure effet de pépite

La discontinuité du variogramme à l'origine est appelé un « *effet de pépite* » et est due aux erreurs de mesure ainsi qu'aux micro-variabilités du phénomène étudié. Etant donné que la structure de ces micro-variabilités est non accessible à l'échelle à laquelle les données sont disponibles, elles apparaissent sous la forme d'un bruit blanc. (DELHOMME, 1976)

- Pure effet de pépite : c'est le cas limite où $\gamma(h)$ apparaît seulement comme une discontinuité à l'origine

$$\gamma(0) = 0 \quad \text{et} \quad \gamma(h) = C_0 \quad \text{quand } h > \varepsilon$$

Pour toutes les distances expérimentales, aussi petites qu'elles puissent être, les deux VA $Z(x)$ et $Z(x+h)$ ne sont pas corrélées. Le pur effet de pépite correspond donc à une totale absence d'auto-corrélation.

Variogramme à l'infini

Outsant la propriété de γ qui est une fonction positive conditionnelle, il peut être montré que le variogramme croît nécessairement plus lentement à l'infini que ne le fait $|h|^2$ (JOURNEL et HUIJBREGTS, 1978 *in* BENCHOUK (1994)) :

$$\lim_{|h| \rightarrow \infty} \frac{\gamma(h)}{|h|^2} = 0 \text{ quand } |h| \rightarrow \infty$$

Comme conséquence, un variogramme expérimental qui croit au moins aussi rapidement que $|h|^2$ pour des distances h grandes est incompatible avec l'hypothèse intrinsèque. Ce type d'accroissement du variogramme indique, le plus souvent, la présence d'une « dérive », c'est-à-dire une espérance mathématique non-stationnaire :

$$E\{Z(x)\} = m(x)$$

Où $m(x)$ dépend de x .

3.9. Inférence des moments d'ordre deux

En pratique, tout ce qui est connu de la fonction structurale $\gamma(h)$, ou $C(h)$, est un estimateur $\gamma^*(h)$ dérivé à partir des données $z(x_i)$.

Les expressions des différentes opérations géostatistiques sont souvent construites en utilisant la fonction variogramme $\gamma(h)$. Il est donc utile d'étudier la possibilité d'estimer $\gamma(h)$ à partir d'un ensemble fini de données expérimentales $\{z(x_i)\}$.

3.9.1. Variogramme expérimental

Soit $Z(x)$ une Fa supposée stationnaire sur des domaines d'étendue limitée V . sur un tel domaine V le variogramme expérimental suivant peut être calculé, à partir des données expérimentales $\{z(x_i)\}$ disponibles :

$$2\gamma^*(h) = \frac{1}{N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i + h) - z(x_i)]^2 \quad (4)$$

Où $N(h)$ est le nombre de paires de données sur V séparées par la distance vectorielle h .

Le variogramme expérimental $2\gamma^*(h)$ est relatif à la réalisation particulière $z(x)$ de la Fa $Z(x)$; ce variogramme apparaît donc comme une VA dont l'espérance est précisément le variogramme théorique de la FA $Z(x)$ (JOURNEL et HUIJBREGTS, 1978 *in* BENCHOUK (1994)) :

$$2\gamma(h) = E\{[z(x+h) - z(x)]^2\} = E\{2\gamma^*(h)\}$$

- Comment calculer un variogramme expérimental ?

Pour calculer le variogramme expérimental à partir de données non-alignées, les paires de données sont à grouper en des classes de distances et des classes angulaires dans le but d'obtenir une estimation de $\gamma(h)$ basée sur un nombre suffisant de paires. Dans un espace à deux dimensions, les paramètres requis pour calculer $\gamma^*(h)$ sont (DEUTSCH et JOURNEL, 1992) (fig.4) :

- la distance de l'intervalle de classe ;
- la tolérance sur l'intervalle de classe, celle-ci peut être la moitié de la distance de l'intervalle de classe ou plus petite ;
- l'angle azimutal (direction suivant laquelle $\gamma^*(h)$ est à calculer) ;
- la tolérance angulaire (pour définir des classes angulaires) ;
- la largeur de bande ou distance maximale acceptable dans la direction perpendiculaire au vecteur directeur.
- Par conséquent, $\gamma(h)$ n'est pas estimée à la distance h mais sur un intervalle $[h \pm \Delta h]$ où Δh est la tolérance sur l'intervalle de classe. Un des effets de cette procédure est de lisser le variogramme. Ce lissage augmente avec la tolérance sur l'intervalle de classe. De plus, pour éviter que les parties extrêmes du champ ne soient seules prises en compte dans le calcul, un variogramme expérimental est à estimer uniquement pour des distances inférieures à la moitié de la plus grande dimension du champ (JOURNEL et HUIJBREGTS, 1978 *in* BENCHOUK (1994)). Une bonne compréhension de l'arrangement spatial des données est donc essentielle pour prendre d'une façon intelligente des décisions à propos des paramètres de calcul des variogrammes comme l'intervalle de classe, les directions et les tolérances angulaires. En pratique, il est préférable de réaliser des cartes de position et des cartes d'iso-valeurs des données avant de choisir les paramètres de calcul des variogrammes. Ceci permet de repérer des grappes de données, des tendances, des discontinuités et d'autres particularités.

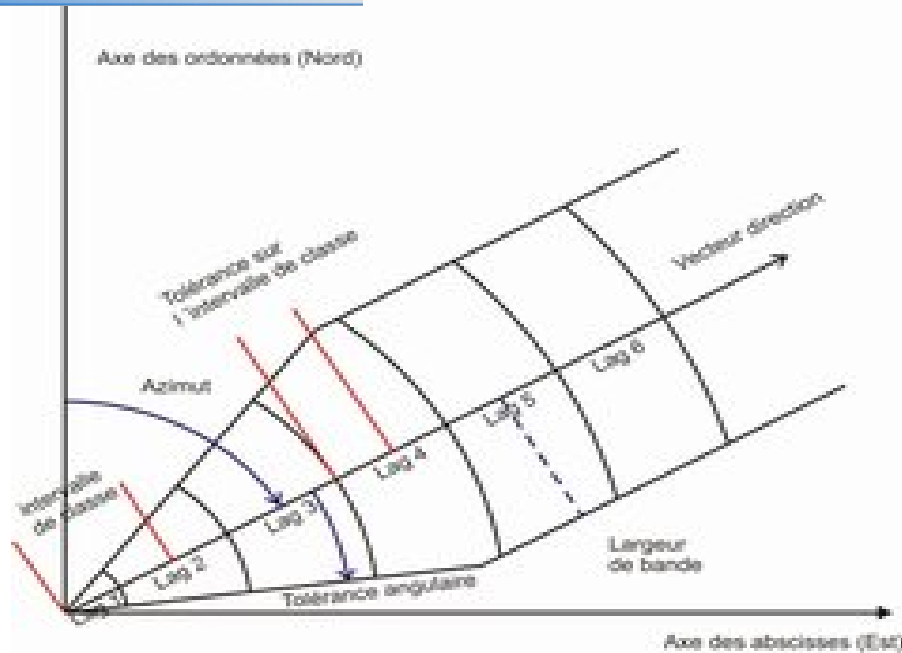


Fig. 4 : Quelques paramètres pour le calcul d'un variogramme expérimental

3.9.2. A propos de la robustesse du variogramme

Etant donné que $\gamma^*(h)$ est essentiellement une moyenne d'échantillon, il possède tous les désavantages communément associés à la moyenne d'échantillon, en particulier il est non-robuste.

Mis à part la nature non-robuste de $\gamma^*(h)$ d'autres difficultés peuvent survenir en pratique.

Dans un espace à 2 ou 3 dimensions, $\gamma^*(h)$ est fonction d'une distance r ($r = |h|$) et de directions α et φ . Dans le but d'identifier de possibles anisotropies (cf. paragraphe 3.11.1) $\gamma^*(h)$ doit être comparé pour une série d'intervalles de classes et aussi pour une série de directions. Malencontreusement $N(r, \alpha, \varphi)$ (soit le nombre de paires de données pour un intervalle de classe donné et pour une direction donné) peut s'avérer très petit pour tout choix particulier de (r, α, φ) . Ceci reste vrai même pour des grilles de données régulières. La plupart des logiciels incorporent l'utilisation de classes de distances (\bar{r}) et de fenêtres angulaires $(\bar{\alpha}, \bar{\varphi})$ pour calculer γ^* . Quand des classes de distances et des fenêtres d'angles sont utilisées, il est souvent nécessaire de rechercher les largeurs de classes et les fenêtres donnant un grand nombre de paires pour les courtes distances puisque c'est cette portion du variogramme qui est la plus critique.

Etant donné la sensibilité du variogramme expérimental aux valeurs extrêmes (puisque'il requiert des carrés de différences pour le calculer), plusieurs autres estimateurs ont été proposés. Parmi ces estimateurs, le variogramme relatif, la médiane des carrés des différences, la distance inter quartile des différences, la moyenne des différences absolues,.... Cependant, on tend de plus en plus à remplacer l'usage aveugle d'estimateurs robustes par une analyse structurale critique. Ceci nécessite l'usage du sens commun et de technique ordinaires de nettoyage des données (ARMSTRONG, 1984 *in* BENCHOUK (1994)).

Une autre alternative pour la description de la continuité spatiale, notamment pour des distributions de données très asymétriques ou contenant des valeurs extrêmes, est la possibilité d'utiliser des transformations non-linéaires des variables originales (par exemple considérer les logarithmes, les racines carrées...). Même si de telles transformations peuvent donner des variogrammes des données transformées au variogramme des données originales ou d'utiliser le variogramme des données transformées pour le processus de krigeage (technique d'estimation locale donnant un estimateur sans biais et avec une variance d'estimation minimale) (MYERS, 1986 *in* BENCHOUK (1994)).

3.10. Isotropie

Quand une fonction $\gamma(|h|, \alpha, \varphi)$ dépend uniquement du module $|h|$ et du vecteur h , le phénomène est dit « isotrope ». La variabilité de la FA tridimensionnelle $Z(x_u, x_v, x_w)$, caractérisée par le demi-variogramme $\gamma(|h|)$, est identique dans toutes les directions de l'espace.

3.11. Anisotropie

Un phénomène est dit « anisotrope » quand sa variabilité n'est pas identique dans toutes les directions. La fonction structurale $\gamma(|h|, \alpha, \varphi)$ caractérisant la variabilité spatiale en moyenne dépend donc des paramètres de direction α et φ .

En pratique, une réelle anisotropie de la fonction structurale $\gamma(h)$ correspond à l'existence de directions préférentielles au temps de la genèse du phénomène étudié. Ces directions préférentielles sont en général, connues *a priori* et le variogramme quantifie leurs variabilités respectives.

3.11.1. Anisotropie géométrique

Un demi variogramme $\gamma(h_u, h_v, h_w)$ présente une anisotropie géométrique quand sa portée change avec la direction, pendant que son palier reste constant. Cette anisotropie peut être réduite à une isotropie par une simple transformation linéaire des coordonnées (JOURNEL et HUIJBREGTS, 1978 *in* BENCHOUK (1994))

$$\gamma(h_u, h_v, h_w) = \gamma\left(\sqrt{(h'_u)^2 + (h'_v)^2 + (h'_w)^2}\right)$$

avec

$$[h'] = [A].[h]$$

Où $[A] = [a_{ij}]$ représente la matrice de transformation des coordonnées, et $[h]$ et $[h']$ sont les deux matrices colonnes des coordonnées.

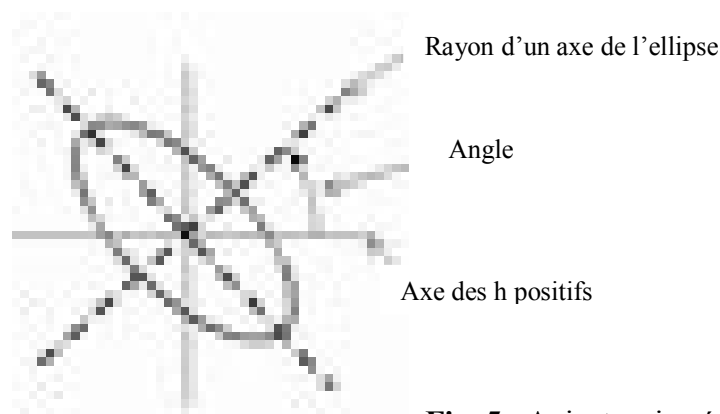


Fig. 5 : Anisotropie géométrique.

3.11.2. Anisotropie zonale

Un demi variogramme $\gamma(h_u, h_v, h_w)$ présente une anisotropie zonale, quand son palier change avec la direction, pendant que sa portée reste constante. En pratique, il est rare de trouver une anisotropie zonale pure (ISAAKS et SRIVASTAVA, 1989 *in* BENCHOUK (1994)). Il est plus commun de trouver un mélange d'anisotropie zonale et géométrique.

Programme expérimental

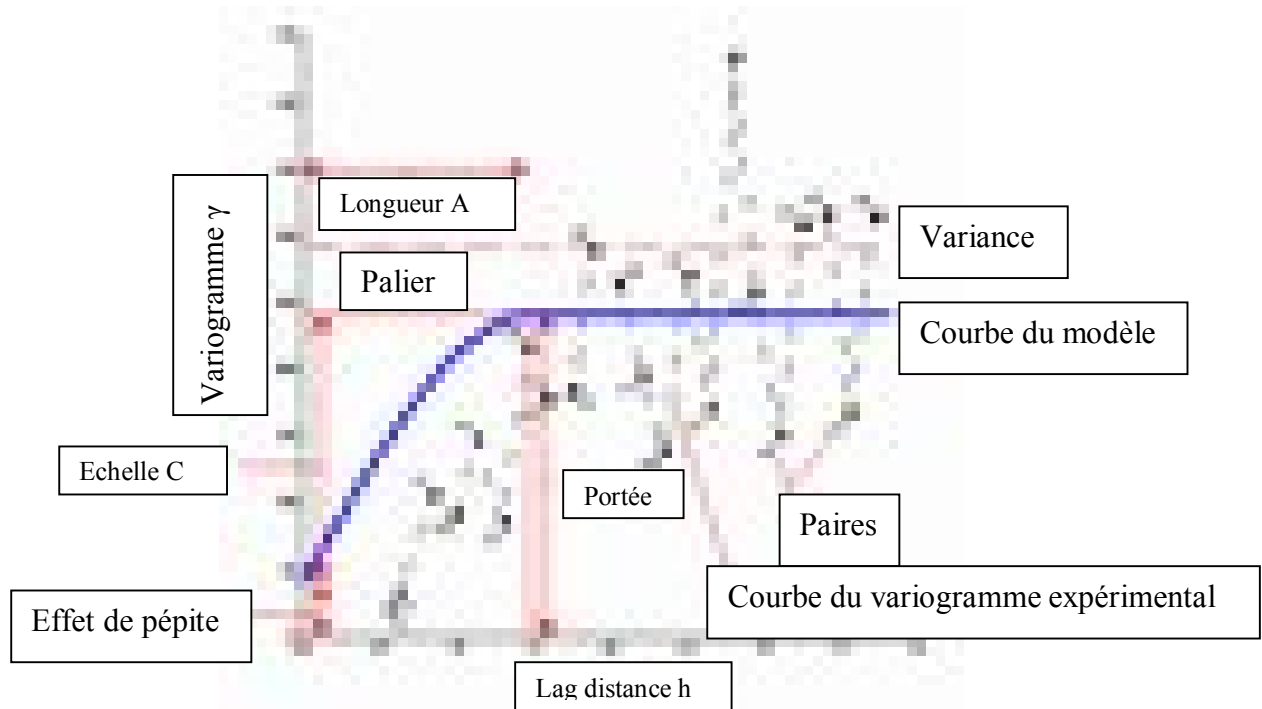


Fig. 6: Schéma représentant les différents paramètres entrants dans l'élaboration d'un variogramme.

3.12.1. Pourquoi modéliser le variogramme ?

En pratique $\gamma(h)$ n'est pas connu ; il est estimé à partir des données disponibles. Nous obtenons donc, pour différentes valeurs de h une série de valeurs $\gamma^*(h)$. On est amené à ajuster une équation à ces valeurs expérimentales. Le besoin d'un modèle pour la variogramme vient donc du fait que l'on pourrait avoir besoin d'une valeur de variogramme pour une certaine distance ou direction (fig. 6) pour laquelle on ne dispose pas de valeur expérimentale, principalement parce que les opérations géostatistiques ultérieures nécessitent un modèle pour $\gamma^*(h)$.

3.12.2. Modèles autorisés

Dans le but d'ajuster un modèle à un variogramme expérimental, on ne peut utiliser n'importe quelle fonction arbitraire. Un modèle de variogramme doit être conditionnellement défini négatif. Puisque, comme indiqué au paragraphe 3.1 la fonction de covariance $C(h)$ doit être définie positive, afin que la variance de toute combinaison linéaire de VA soit positive ou nulle.



En pratique, on n'utilise que quelques modèles autorisés connus (fig. 7). Ces fonctions sont dites « modèles de base ». Nous pouvons combiner ces fonctions définies positives pour former de nouvelles fonctions qui sont elles aussi définies positives.

On peut distinguer deux types de modèles de base de variogrammes ; ceux qui atteignent un plateau (modèles de transition) et ceux qui n'en atteignent pas (ces variogrammes continuent de croître avec h ; ces modèles souvent nécessaires quand les données présentent une dérive).

Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

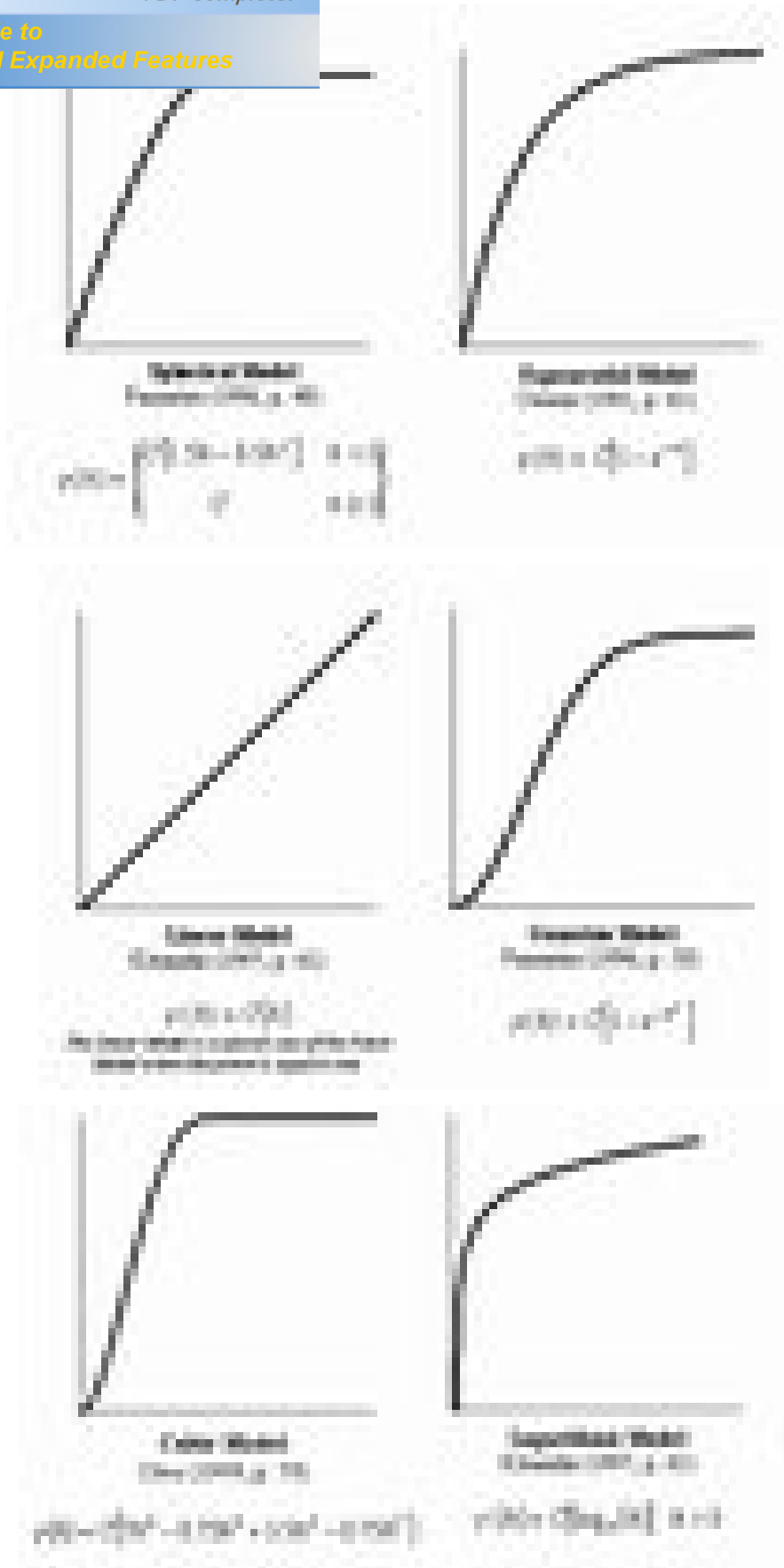


Fig.7 : Les différents modèles appliqués au variogramme.

ont été normés à l'unité ; ils correspondent à des FA de variance *à priori* égale à l'unité. Pour obtenir un modèle avec un plateau $C(0) = b \neq 1$, il suffit de multiplier les expressions données de $\gamma(h)$ ou $C(h)$ par la constante b .

- *Modèles de transition à comportement linéaire à l'origine (fig.8)*

- Modèle sphérique

$$\gamma(h) = \begin{cases} \frac{3}{2} \frac{h}{a} - \frac{1}{2} \frac{h^3}{a^3}, \forall h \in [0, a] \\ 1 = \text{palier}, \forall h \geq a \end{cases}$$

Le modèle sphérique est sans doute le plus populaire. Le départ est proche de la droite alors que la transition vers le palier se fait en douceur.

- Modèle exponentiel

$$\gamma(h) = 1 - \exp\left(-\frac{3h}{a}\right)$$

Ce modèle atteint son palier asymptotiquement, avec une portée pratique définie comme étant la distance à laquelle la valeur du variogramme équivaut à 95% de celle du palier.

La différence entre les modèles sphérique et exponentiel réside dans la distance à laquelle leurs tangentes à l'origine rencontrent le palier (fig.7) :

$h = 2a/3$, deux tiers de la portée pour le modèle sphérique ;

$h = a/3$, un tiers de la portée pratique pour le modèle exponentiel.

Le modèle sphérique atteint son palier plus rapidement que l'exponentiel.

- *Modèle de transition à comportement parabolique à l'origine :*

- Modèle gaussien :

$$\gamma(h) = 1 - \exp\left(-\frac{3h^2}{a^2}\right)$$

Le palier est atteint asymptotiquement pour une portée pratique à laquelle $\gamma(a) = 0,95$.

➤ Modèles sans palier

- Modèle linéaire (fig.7)

$$\gamma(h) = \omega h^\theta \quad 0 < \theta < 2 \text{ (linéaire : } \theta = 1 \text{)}$$

ire et ω est la pente de la droite à l'origine. C'est le modèle le plus simple et il n'a pas de palier.

En pratique, seul le modèle linéaire est couramment utilisé,

➤ Le modèle effet de pépité :

$$\gamma_0(h) = \begin{cases} 0 & h=0 \\ 1 & h>0 \end{cases}$$

L'effet de pépité est d'ordinaire utilisé en combinaison avec d'autres modèles. Il se présente comme une discontinuité à l'origine du semi-variogramme. Il peut représenter des erreurs d'analyse, de réelles microstructures, ou des structures d'une certaine taille non détectées par un échantillonnage insuffisant.

Et dans la littérature géostatistique l'effet de pépité n'est pas donné explicitement comme un modèle de base, mais apparaît plutôt comme une constante b_0 dans l'équation du variogramme, en sous-entendant que cette « constante » est nulle pour $h = 0$.

3.12.3. Structure s gigognes

Tous les modèles ci-dessus décrivent des lignes droites ou des courbes simples. Cependant, il arrive souvent de trouver le variogramme plus complexe pour qu'un modèle plus élaboré soit nécessaire pour mieux le décrire. Ceci peut être réalisé en combinant deux ou plusieurs fonctions de base. Ceci est permis parce que toute combinaison linéaire de modèles autorisés est elle-même autorisée. On pourrait donc avoir :

$$\gamma(h) = b_1\gamma_1(h)+b_2\gamma_2(h)+\dots+b_i \gamma_i(h)$$

Cette combinaison linéaire de modèles de base de variogrammes forme un modèle de « structure gigognes ».

De tels modèles gigognes caractérisent une variabilité due à plusieurs sources indépendantes se manifestant à des portées différentes de l'échelle spatiale. En prospection géochimique, on rencontre souvent un variogramme contenant deux composantes spatiales reconnaissables. A ce propos le modèle double sphérique s'est avéré très utile (OLIVER et WEBSTER, 1990 in BENCHOUK (1994)).

4. Introduction au krigeage

4.1. Krigeage

Le krigeage est une méthode d'interpolation issue de la géostatistique. Le terme krigeage, « kriging » en anglais, provient du nom de famille de l'ingénieur minier Sud-africain Daniel Gerhardus Krige. Il a été formalisé pour la prospection minière par George Matheron (1930-2000) à l'Ecole des Mines de Paris. Depuis, le domaine de ses applications a largement été étendu, touchant notamment la météorologie, les sciences de l'environnement, etc.

Le krigeage est donc une méthode d'interpolation spatiale, parfois considérée comme la plus juste d'un point de vue statistique, qui permet une estimation linéaire basée sur l'espérance mathématique et aussi sur la variance de la donnée spatialisée. A ce titre le krigeage se base sur le calcul, l'interprétation et la modélisation du variogramme, qui est une appréciation de la variance en fonction de la distance entre données.

En pratique, le krigeage est le nom donné à l'élaboration de l'estimation local, ça concerne l'estimation d'une portion bien circonscrite du champ de la variable régionalisée étudiée grâce à des données disponibles bien délimitées. Nous devons donc, définir une quantité à estimer appliquée à la variable régionalisée, l'estimateur et l'erreur d'estimation. L'erreur d'estimation est la différence entre la valeur à estimer et l'estimateur. L'estimateur serait une combinaison linéaire des données disponibles dont nous ne connaissons pas les poids, car justement, ce sont ces poids qui restent les inconnues du problème d'estimation locale. Ils seront définis grâce à la méthode classique basée sur le formalisme probabiliste, ainsi déterminés, ces poids seront par la suite affectés aux données. (CHAUVET, 1999)

Toute construction d'un système de krigeage passe par plusieurs étapes (L.A.U.O) ; ces étapes définissent la méthode de krigeage qu'il faut employer :

4.1.1. Etape 1 : contrainte de linéarité : « L »

Elle consiste à :

- s'assurer que la quantité à estimer est bien une fonctionnelle linéaire de la FA étudiée :

Exemple : $Q = \int Z(x) p(dx)$

Cette contrainte exclut les problèmes de types coupure et sélection qui font l'objet de la géostatistique non-linéaire.

- Exprimer que l'estimateur que nous voulons construire est une combinaison linéaire des données disponibles

$$Q^* = \lambda^a Z\alpha$$

4.1.2. Etape 2 : contrainte d'autorisation : « A »

C'est-à-dire que l'erreur d'estimation faite d'une combinaison linéaire basée sur la FA doit être contrainte à être autorisée.

Les manipulations à l'ordre 2 en géostatistique de l'espérance et la variance, nous assurent cette possibilité puisque dans le modèle stationnaire d'ordre 2, toutes les combinaisons linéaires sont autorisées.

4.2.3. Etape 3 : contrainte d'universalité : « U »

Ou contrainte de non-biais, consiste à exprimer l'erreur d'estimation Q^*-Q est d'espérance nulle

$$E[Q^*-Q] = 0$$

Une telle formule peut être écrite seulement si les 2 contraintes précédentes sont satisfaites.

4.1.4. Etape 4 : contrainte d'optimalité. « O »

L'optimisation n'est formulée que sur des combinaisons satisfaisant déjà à la contrainte d'universalité. (Il s'agit cette fois d'une contrainte de bon sens : la construction d'un estimateur biaisé est possible mathématiquement, mais elle risque fort de ne présenter aucun intérêt pratique...) (CHAUVET, 1999)

Le krigeage effectue le calcul de la variance d'estimation minimale pour tout estimateur linéaire. Dans le cadre stationnaire, il y a deux formes particulières de krigeage, selon que la moyenne du processus est connue ou non : soit le krigeage simple et le krigeage ordinaire. Ce dernier est, de loin, le plus fréquemment utilisé. (Marcotte, 2003)

4.2.1. Le krigeage ordinaire

Supposons que l'on veuille estimer un bloc v centré au point x_0 . Notons Z_v la vraie valeur (inconnue) de ce bloc et Z_v^* l'estimateur que l'on obtient.

L'estimateur est linéaire, i.e.:

$$Z_v^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z_i$$

où les Z_i désignent les V.A. correspondant aux points échantillons.

On veut minimiser:

$$\sigma_e^2 = Var[Z_v - Z_v^*] = Var[Z_v] + Var[Z_v^*] - 2Cov[Z_v, Z_v^*]$$

Substituant l'expression de l'estimateur dans cette équation, on obtient:

$$\sigma_e^2 = Var[Z_v] + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j Cov[Z_i, Z_j] - 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i Cov[Z_v, Z_i]$$

Pour que l'estimateur soit sans biais, il faut que:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \text{ (Contrainte d'universalité)}$$

En effet, dans ce cas, $E[Z_v^*] = \sum_i \lambda_i E[Z_i] = \sum_i \lambda_i m = m$

On a un problème de minimisation d'une fonction quadratique (donc convexe) sous contrainte d'égalité que l'on solutionne par la méthode de Lagrange. On forme le lagrangien:

$$\begin{aligned} L(\lambda, \mu) &= \sigma_e^2 + 2\mu \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i - 1 \right) \\ &= Var[Z_v] + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j Cov[Z_i, Z_j] - 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i Cov[Z_v, Z_i] + 2\mu \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i - 1 \right) \end{aligned}$$

Où μ est le multiplicateur de Lagrange. Le minimum est atteint lorsque toutes les dérivées partielles par rapport à chacun des λ_i et par rapport à μ s'annulent. Ceci conduit au système de krigeage ordinaire:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j Z_j + \mu = Cov[Z_v, Z_i] \forall i = 1 \dots n$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$$

La variance d'estimation minimale, appelée variance de krigeage, est obtenue en substituant les équations de krigeage dans l'expression générale pour la variance d'estimation:

$$\sigma_{ko}^2 = Var[Z_v] - \sum_{i=1}^n \lambda_i Cov[Z_v, Z_i] - \mu$$

Note: Cette variance de krigeage ne dépend pas des valeurs observées, elle ne dépend que du variogramme et de la configuration des points servant à l'estimation par rapport au point (ou bloc) à estimer. (MARCOTTE, 2003)

4.2.2. Krigeage simple

Parfois on connaît la moyenne "m" du champ à estimer ou du moins on en possède un estimé fiable. On peut alors former un estimateur sans biais sans imposer la contrainte que la somme des poids soit égale à 1.

Tout comme pour le krigeage ordinaire, on écrit la variance d'estimation et on substitue l'expression précédente pour l'estimateur Z_v^* . On trouve:

$$\sigma_e^2 = Var[Z_v] + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j Cov[Z_i, Z_j] - 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i Cov[Z_v, Z_i]$$

On dérive cette expression par rapport à chacun des λ_i . On trouve alors le système de krigeage simple:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j Cov[Z_i, Z_j] = Cov[Z_v, Z_i] \quad \forall i = 1 \dots n$$

et la variance d'estimation, appelée variance de krigeage simple s'écrit:

$$\sigma_{ks}^2 = Var[Z_v] - \sum_{i=1}^n \lambda_i Cov[Z_v, Z_i]$$

Note: - La variance de krigeage simple est toujours inférieure à la variance de krigeage ordinaire car on n'a pas besoin d'imposer de contrainte sur les poids λ . Toutefois, elle requiert la connaissance de la moyenne "m". De plus, l'hypothèse de stationnarité requise est plus forte que dans le cas du krigeage ordinaire. Dans le cas du krigeage ordinaire, seule l'hypothèse

krigeage simple, la stationnarité est nécessaire. Ainsi, il est simple si le variogramme ne présente pas de palier.

- Le système de krigeage simple (KS) ne peut s'écrire directement en termes de variogrammes puisqu'on n'a pas $\sum \lambda_i = 1$.

- En termes pratiques, les estimés obtenus par krigeage ordinaire (KO) et simple (KS) sont très similaires lorsqu'on effectue le krigeage à courte distance par rapport aux points connus et par rapport à la portée du variogramme et que le variogramme montre une structure importante. Lorsqu'on effectue l'estimation à grande distance ou si le variogramme montre un effet de pépite plus important, alors l'estimation KO consistera essentiellement en une moyenne des points du voisinage et l'estime KS sera simplement la moyenne supposée connue, i.e. "m".

- Règle générale, le KO est préférable au KS. Dans certaines applications telles le krigeage d'indicatrices et les simulations, il est préférable de recourir au KS.

4.2.3. Krigeage universel

L'hypothèse de stationnarité de la FA est malheureusement difficile à satisfaire dans la réalité. De fait, beaucoup de phénomènes naturels manifestent une dérive, c'est-à-dire une fluctuation de la moyenne que l'on prend en considération dans la cadre du krigeage universel en écrivant :

$$E[z(x)] = m(x)$$

Où la valeur réelle $z(x)$ est décomposée en :

$$z(x) = m(x) + R(x)$$

La moyenne $m(x)$, qui décrit la tendance générale de la FA charge hydraulique, est déterminée à partir d'une combinaison de fonctions de base qui peuvent être aussi bien des polynômes que des fonctions trigonométriques ou des logarithmes... :

$$Z(x) = \sum \lambda_i z_i(x)$$

Pratiquement, cette dérive se révèle par la fluctuation de la moyenne dans l'espace.

Elle peut être due à l'existence d'un gradient hydraulique, d'un champ de puits en activité, ...ou encore d'autres causes.

Elle se traduit par un variogramme sans plateau qui croît plus rapidement que le carré de la distance d entre le point à estimer et les points de mesure. Lorsque cette distance est supérieure à la portée, l'estimation par krigeage coïncide avec la dérive.

- Krigeage avec dérive induite par un gradient hydraulique

is un champ sous gradient régional, peut être estimée à l'ordre 1 :

$$z(x,y) = h_i + (\partial z/\partial x) \Delta x + (\partial z/\partial y) \Delta y$$

Pour autant, bien sûr, que la charge z soit assimilable à une fonction continue et dérivable jusqu'à l'ordre 2.

Les poids λ_i sont déterminés en faisant droit à la contrainte d'universalité :

$$\sum \lambda_i = 1$$

Et en imposant aux composantes du gradient régional les contraintes :

$$\sum \lambda_i x_i = x_0$$

$$\sum \lambda_i y_i = y_0$$

➤ Krigeage avec dérive induite par des puits de pompage

Sous les conditions de Dupuit et en présence d'un gradient d'écoulement régional, la charge hydraulique en un point (x, y) , situé à l'intérieur de l'aire d'influence d'un puits pompant dans une nappe captive en régime permanent, est donnée par l'expression de Bear et Jacobs :

$$z(x,y) = z_w + (\partial z/\partial x) \Delta x + (\partial z/\partial y) \Delta y - (Q/4\pi T) \text{Log} [(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 / r^2]$$

Où $\Delta x = x - x_w$, $\Delta y = y - y_w$, (x_w, y_w) sont les coordonnées du puits de pompage, Q son débit, r_w son rayon effectif et z_w la charge hydraulique à l'endroit du puits.

L'estimation de la charge hydraulique nécessite alors d'apporter des modifications aux systèmes d'équations du krigeage afin d'assurer le non biais de l'estimation.

A la condition de non biais du krigeage ordinaire :

$$\sum \lambda_i = 1$$

Il faut rejoindre celles dues à l'existence d'un gradient d'écoulement régional :

$$\sum \lambda_i x_i = x_0$$

$$\sum \lambda_i y_i = y_0$$

Ainsi que celle due à l'effet des puits pompants :

$$\sum \lambda_i \sum Q_k \text{Log} (r^2_{ik}) = \text{Log} (r^2_{0k})$$

Que l'on peut dissocier en autant de contraintes qu'il y a de plages de transmissivités constantes.

fonction de covariance de la charge hydraulique en un point linéaire et radial trouve une réponse dans la littérature spécialisée (CHILES et DELFINER, 1999). La forme dite de Cauchy y est souvent invoquée et justifiée. Elle restituerait particulièrement bien les propriétés de la charge hydraulique dans un tel contexte.

4.3. Validation croisée

Une pratique intéressante pour valider le modèle de variogramme et le voisinage utilisé pour le krigeage consiste à effectuer une validation croisée. Le principe est d'éliminer à tour de rôle chaque observation et de l'estimer à l'aide de ses voisins. En chaque point, on obtient donc une valeur vraie et une valeur estimée que l'on peut comparer pour déterminer si le modèle fournit des estimations se comportant comme prévu, si le voisinage utilisé est adéquat, etc.

Plus précisément, soit Z_i^* l'estimation obtenue par krigeage au point "i" (en enlevant la valeur observée Z_i) ainsi que la variance de krigeage. On peut définir un résidu $e_i = Z_i - Z_i^*$ et un résidu normalisé. Un modèle et un voisinage adéquats devraient fournir:

$$i. \sum_i e_i \approx 0 \text{ et } \sum_i n_i \approx 0$$

$$ii. \sum_i |e_i| \text{ min ou } \sum_i e_i^2 \text{ min}$$

$$iii. \left(\frac{1}{n} \sum_i n_i^2 \right)^{0.5} \approx 1$$

iv. Il faut aussi examiner l'histogramme des e_i et des n_i , de même que leur disposition spatiale pour vérifier si les statistiques précédentes pourraient être causées par 1 ou 2 données extrêmes et vérifier si les résidus sont spatialement homogènes.

Remarques:

Dans le krigeage pour la validation croisée, il faut chercher à reproduire autant que possible un contexte d'estimation semblable à celui qui sera utilisé au moment du krigeage proprement dit. Ainsi, si les données proviennent de forages, on n'utilisera pas tous les voisins du point à estimer car lorsqu'on estimera un bloc, les observations montreront des distances supérieures, par rapport au bloc, à celles rencontrées le long d'un forage. On devrait donc, pour estimer un point d'un forage, éviter d'utiliser des observations du même forage. Également, on devrait éviter d'inclure les points de la périphérie qui se trouvent alors estimés

es repérer assez facilement à l'aide des variances de
; points.

Les statistiques précédentes sont assez peu sensibles à des changements mineurs de voisinage ou de modèle de variogramme. Il faut les utiliser en conjonction avec le variogramme expérimental.

Pour choisir entre 2 modèles, les statistiques des erreurs brutes sont préférables. On peut ensuite ajuster ce modèle, par exemple en multipliant le variogramme par une constante (C_0 et C). Dans ce cas les estimations ne changent pas mais les variances de krigeage sont multipliées par cette constante. Si la statistique des résidus normalisés, en (iii), est trop élevée, alors on doit utiliser un variogramme montrant moins de structure (i.e. fournissant une plus grande variance de krigeage). (MARCOTTE, 2003)

En résumé, les bases conceptuelles de la méthode de krigeage sont les notions de :

- variables régionalisée (V.A) c'est-à-dire une variable qui manifeste une certaine structure en dépit d'un comportement erratique et de :
- réalisation d'une fonction aléatoire c'est-à-dire le résultat d'un tirage dont il s'agira de faire l'inférence statistique à partir d'une réalisation unique.

La méthode s'est d'abord développée sur la base de l'hypothèse contraignante de stationnarité de la FA puis sur celle, plus souple, de stationnarité des accroissements d'ordre k ainsi sur l'hypothèse d'ergodicité qui permet de faire l'inférence statistique de la FA à partir d'une réalisation unique.

CHAPITRE II

Etude géologique & hydrogéologique

Le bassin du Bas Chélif est un bassin néogène intra-montagneux, entouré de massifs crétacés. Ainsi, vers le Nord, il est limité par les massifs côtiers oranais, les Dahra et les Béni Menacer. Au Sud par les Tessala, les Ouled Ali et les Beni Chougrane.

Le bassin du Bas Chélif qui s'allonge d'Est en Ouest comprend trois types de pays définis par leurs caractères hypsométriques. Les collines représentant une altitude moyenne de 500 à 700mètres, les plateaux qui s'étagent entre 100 et 200m et enfin les plaines qui s'étalent entre 0 et 200m.



Fig. 8a : Situation de Mostaganem

le Miocène inférieur n'affleure pas en surface. Il a été (EPAL, 1952) notamment dans la région de l'Akboube

où le substratum oligocène ou crétacé a été atteint. C'est sur ce substratum que se déposent les niveaux de base du Miocène inférieur représentés principalement par des conglomérats versicolores à ciment argileux de 120m d'épaisseur sur lesquels viennent se déposer des marnes grises à lentilles sableuses à niveaux cinéritiques vers le sommet de 500m d'épaisseur.

Notons que ces conglomérats de base disparaissent latéralement vers le Sud-Ouest (travaux de sondage de la S.N. REPAL 1952). Le Miocène inférieur est absent des structures de Bsibissa, de Berercha et dans la partie axiale de l'anticlinal de Berercha (fig. 9).

1.1. Le Miocène supérieur

Les terrains sont visibles le long de la bordure Sud-Ouest du plateau de Mostaganem. Mais tous les sondages effectués font ressortir la totalité du Miocène supérieur sur toute l'étendue du plateau.

La base du Miocène supérieur est constituée de marnes bleues. Cette formation affleure au cœur des structures de l'Akboube, de Bouguirate et d'Ain Nouissy montrant un faciès constant. Ce sont des marnes bleues ou grises, plus ou moins pyriteuses contenant de très minces passées calcaires ou gréseuses et dont l'épaisseur est variable allant de 800m à l'est à 200m dans la région de Lalla Okba, Berecha, Bsibissa et Mouzaïa. (DALLONI, 1939)

Des niveaux sableux lenticulaires s'intercalent au sein de cette formation et sont bien développés dans les structures de l'Akboube et de Milar.

Le passage aux marnes diatomitiques se fait de manière progressive. Cette dernière formation se retrouve en sondage sur tout le plateau de Mostaganem.

Elle est visible sur les flancs des structures de Bouguirate, de l'Akboube et de Noisy-les-Bains et dans le cœur de l'anticlinal de Mouzaïa. Son épaisseur est variable (60 à 200m) et augmente globalement du Nord-Ouest au Sud-Est.

Dans Djebel Belhacel, cette formation est chapoté par des calcaires à lithothamniées (80m).

Une formation gypseuse termine ce cycle du Miocène supérieur. Elle est visible sous le flanc Nord Ouest des anticlinaux de Mouzaïa et de Bouguirate (150 à 200m) et elle est représentée par des bancs de gypses massifs, parfois en alternance avec des sables limoneux

s d'épaisseur (Milar, Lalla Okba, Berercha, Bsibissa et

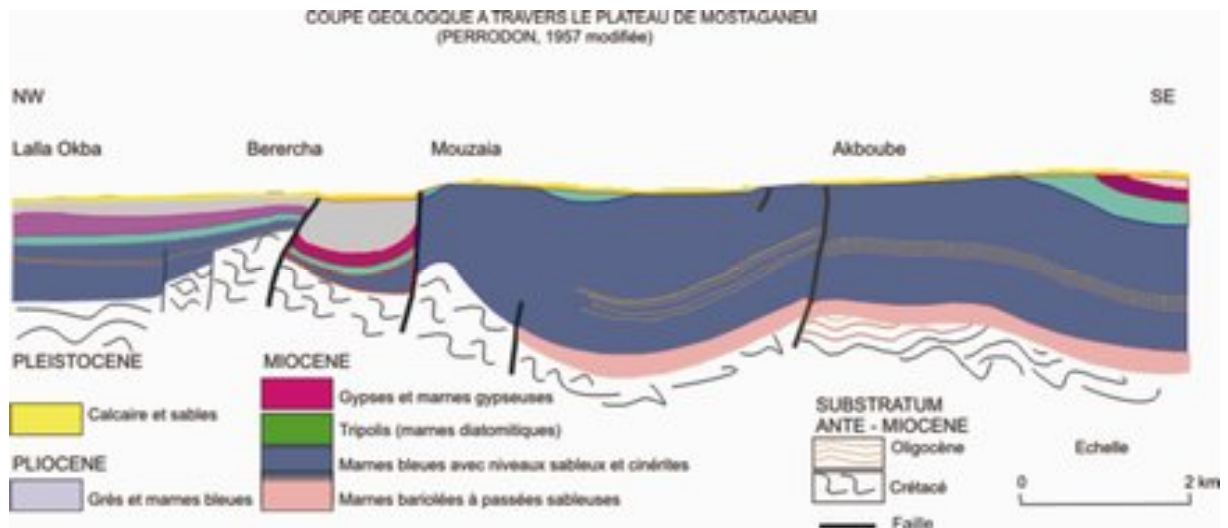


Fig. 9 : Coupe géologique à travers le Plateau de Mostaganem. (PERRODON, 1957 traitée).

1.2. Le Pliocène

Les formations appartenant à cet étage sont bien visibles sur les marges du plateau de Mostaganem. Particulièrement sur sa bordure Nord et sur les flancs des anticlinaux de Belhacel, Bouguirates et de Milar.

Dans la région de Belhacel les marnes bleues Pliocène atteignent 500mètres d'épaisseur reposant sur des conglomérats de base sableux d'environ 10mètres d'épaisseur. Vers l'Ouest et le Sud-Ouest, ces marnes bleues diminuent d'épaisseur et n'atteignent plus que 160 à 180mètres respectivement, sur les flancs de Milar et de Bouguirate.

Une formation marno-gréseuses de 100mètres d'épaisseur lui succède et révèle des niveaux fossilifères, à *ostrea* et Pectinidés. Signalent que des épisodes lacustres matérialisés par des calcaires lacustres où l'on retrouve des moules internes d'Hélix s'intercalent dans la formation des grès marins permettant ainsi le passage au Pliocène continental épais d'environ 300m.

...ée de limons gris en alternance avec des grès et des
...ève par une formation grès-argileuse du pliocène
supérieure, à nodule de teinte rouge caractérisée par son aspect noduleux.

Le «Calabrien», transgressif sur les différentes unités du Néogène du substratum, constitué d'une formation lumachellique montre une épaisseur variable (quelques décimètres à quelques mètres (Laffitte in SN REPAL, 1952). Depuis, on a montré que ces terrains supposés calabriens font en réalité partie du Pliocène supérieur (BAICHE, 1994). Il forme une sorte de carapace ondulée du plateau de Mostaganem s'étendant à l'Ouest et au Nord Ouest de Belhacel des sables probablement Quaternaire la recouvrent.

1.3. Le Quaternaire

Les terrains quaternaires (voir tableau n°1), de faible épaisseur, sont essentiellement constitués de dépôts dunaires côtiers et de sédiments qui s'accumulent depuis au moins le Villafranchien (BOULAIN, 1957).

Cycles	Régions		Epaisseur	REGION DE MOSTAGANEM	Epaisseur
	Etages				
BAS CHELIF					
QUATERNAIRE	QUATERNAIRE	Discordant : -Croûte calcaréo-gréseuse -Grès argileux rougeâtres -Grès dunaires à hélix	2 à 5m 25m 45m	-Croûte calcaréo-gréseuse -Dunes consolidées, sols rouges -Discordant ; grès vacuolaires, sables à hélix	2 à 5m 50m 25m
		Villafranchien : Faciès lacustres : dépôts argileux, blancs limons et grès grossiers	80m	-Lacune	
	CALABRIEN PLIOCENE SUP.	-Grès calcaires lumachelliques, cette lumachelle disparaît vers l'Ouest	45m	-Grès lumachellique qui disparaît vers l'Ouest -Micro poudingues	65m 15m
PLIOCENE	CONTINENTAL	-Dépôts fluviatiles et lacustres (sables roux et grès à hélix)			
	ASTIEN	-Grès jaunes à ciment calcaire, devenant localement calcaire gréseux	100m	Lacune	
	PLAISANCIEN	-Marnes bleues fossilifères sableuses -Marnes bleues à 3niveaux détritique (sable ou conglomérats)	620m 30m	-Marnes bleues sableuses fossilifères. -Grès et sable à huîtres.	180m 20m
MIOCENE	MIOCENE SUPERIEUR	Formations sommitales { Série de gypse (gypse à intercalation de marnes sableuses Série de tripolis (alternance de Tripoli, marnes bleues, et calcaires	150m 150m	-Marnes bleues sableuses	100m
		Formations médianes { Marnes à passées cinéritiques, calcaires récifaux à lithothamniées passant à des formations sableuses d'El Bordj	270m	-Marnes à Tripolis passant à des marnes à gypse	150m 120m
		Formations de base { Continentales : alternance de poudingues, de grès, de sables et d'argile jaune ou rouge Marines : grès, calcaires à niveaux cinéritiques, marnes à passées sableuses, calcaire glauconieux lumachellique.	400m 420m	-Lacune -Lacune	
	MIOCENE INFERIEUR	-Episodes détritiques : sable gris grossier. -Marnes bleues à gypse, bèches. -Conglomérat, sable et marnes.	50m 700m 150m	Marnes bleues à cinérites. Conglomérat, sable et marnes.	75m 25m

Tableau n°1 : Tableau stratigraphique du plateau de Mostaganem. (BAICHE, 1994)

A la suite des travaux d'Anderson in SN REPAL, 1952, le plateau de Mostaganem peut être considéré globalement comme une aire anticlinale. C'est le cas d'ailleurs pour les Dahra qui ceinturent le plateau au Nord, du plateau de Saint-Louis, de l'Ouarsenis et de Beni Chougrane.

Le flanc Sud du Dahra s'enfonce sous le plateau de Mostaganem. Le Pliocène supérieur «ex. Calabrien» (THOMAS, 1985) est discordant sur le Néogène qu'il masque surtout dans sa partie Nord. Là où le Néogène apparaît, le plateau de Mostaganem nous révèle plusieurs structures anticlinales qui s'échelonnent dans une direction Nord-Est. Elles sont matérialisées du Nord-Ouest au Sud-Est par :

➤ La structure de Mouzaïa qui constituait certainement un haut-fond pendant le Miocène inférieur (idem pour Berercha) est représenté par une partie de la formation diatomitique redressée sur son flanc Nord-Ouest et parfois faillée.

Cette structure se continue vers le Sud Ouest par le Djebel Milar qui forme un dôme traversé par le diapir gypseux à ophites du Trias. Ce tout forme une ligne anticlinale.

➤ La structure anticlinale de l'Akboube est séparée de l'ensemble précédent par une aire synclinale. Une faille parcourant toute la largeur du plateau sur 35km limite l'anticlinal de l'Akboube.

➤ La marge Sud est du plateau de Mostaganem est constituée de plusieurs structures anticlinales :

- Celui de Belhacel situé en bordure de la plaine du Chélif forme un pli simple symétrique en surface mais parcouru de petits décrochements.
- La modeste structure de Tahmada relie BelHacel à l'anticlinal de Bouguirate, beaucoup, plus complexe, et qui limite la plaine de la Macta.

Au Sud de Mostaganem, une manifestation diapirique se remarque dans la région d'Ain Nouissy.

Les principales failles se situent au Sud et au Nord du plateau de Mostaganem. Elles sont essentiellement décrochantes dextres orientées sensiblement E-W.

La mise en évidence de deux failles transversales (N 10°E et N 50W) par L. GLANGEAUD (1932, in BAICHE (1994)) suscita un débat quant à leur âge et à leur mode de fonctionnement (J. DELTEIL (1974), in BAICHE (1994)).

Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

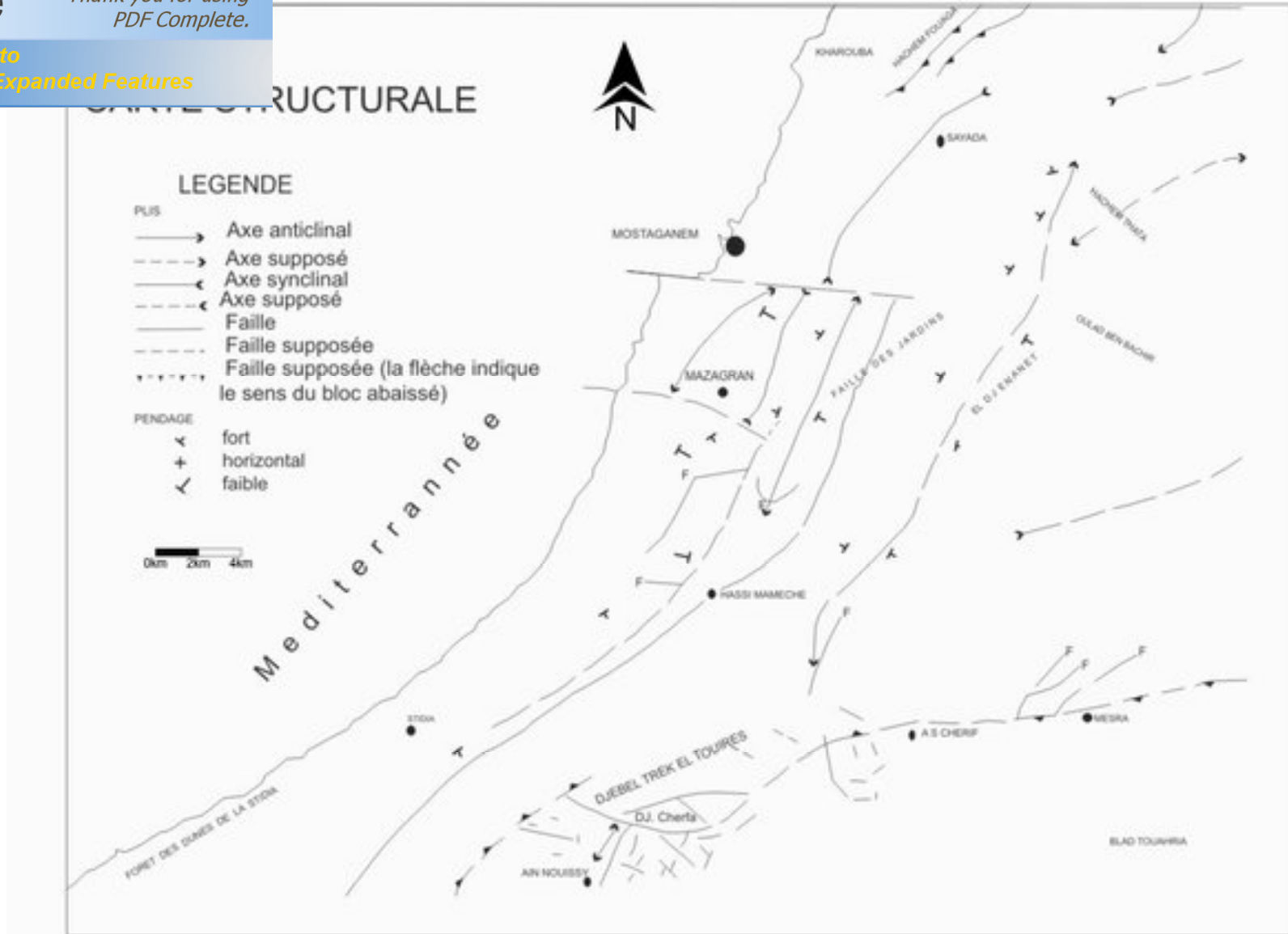


Fig. 10 : Carte structurale du plateau de Mostaganem (BAICHE, 1994)

En définitif, ces différentes failles constituent un système de relais vis-à-vis des différents plis qui structurent la région.

III. hydroclimatologie

L'hydrographie du plateau de Mostaganem reste très modeste due aux deux petits Oueds permanents, l'Oued Sefra et l'Oued Kheire, et à l'assortiment de dépressions peu profondes qui collectent les eaux pluviales, s'étalant ainsi d'Ouest en Est à des altitudes comprises entre 150 et 200m.

Il a été observé que le régime climatique de la région étudiée est de type méditerranéen, doux et humide en hiver, sec et chaud en été. La pluviométrie annuelle du Plateau de Mostaganem est fortement irrégulière.

Nous avons remarqué que le mois de novembre reste le plus pluvieux et de juillet le plus sec, et ceci pour la majorité des stations ; d'où les indices saisonniers résumés en HAPE. La période déficitaire peut être définie entre mars et octobre, le reste de l'année reste tempéré.

L'indice de De Matronne $I=11.58$ témoigne d'un climat semi-aride. L'incidence sur le niveau de l'évaporation est tangible. En cela, l'évaporation est bien sur très importante en été (171,9mm en juillet) qu'en hiver (64,5mm en février).(DAHMANI, 2005)

Il a été admis que la lame d'eau tombée est de l'ordre de 285 mm/an.

Pour l'évapotranspiration réelle, sa moyenne parvenue à 315.90mm grâce aux différentes méthodes d'hydro climatologie.

Les études portées sur la lithostratigraphie du plateau de Mostaganem ont révélées l'existence de trois types de formations : Miocènes supérieur, Pliocène inférieur et Quaternaire.

Le Mio-Pliocène formé de couches imperméables compose le substratum (fig. 11) du Calabrien. Les grès du Calabrien abritent l'aquifère.(BOUZRRA et SAIBI, 2000)

Il y a onze niveaux de perméabilité qui sont de bas en haut :

- 1) Micropouding de base.
- 2) Grès et sable jaunâtre très argileux.
- 3) Grès jaunâtre à ciment calcaire, à éléments grossiers, vacuolaires, à débris de coquilles et à passées de lumachelle (bonne perméabilité).
- 4) Sable ou grès très argileux.
- 5) Grès jaunâtre à ciment calcaire et à passées argilo-sableuses jaunâtres.
- 6) Grès blanchâtre à ciment calcaire et à passées sablo-argileuses jaunâtres.
- 7) Sable argileux rougeâtre (peu perméable).
- 8) Grès blanchâtres à ciment calcaire, à passées argilo-gréseuses jaunâtres.
- 9) Grès jaunâtres à ciment calcaire, à passées argilo-sableuses jaunâtres.
- 10) Croûte calcaréo-gréseuse blanchâtre.
- 11) Sables, dunes.

Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

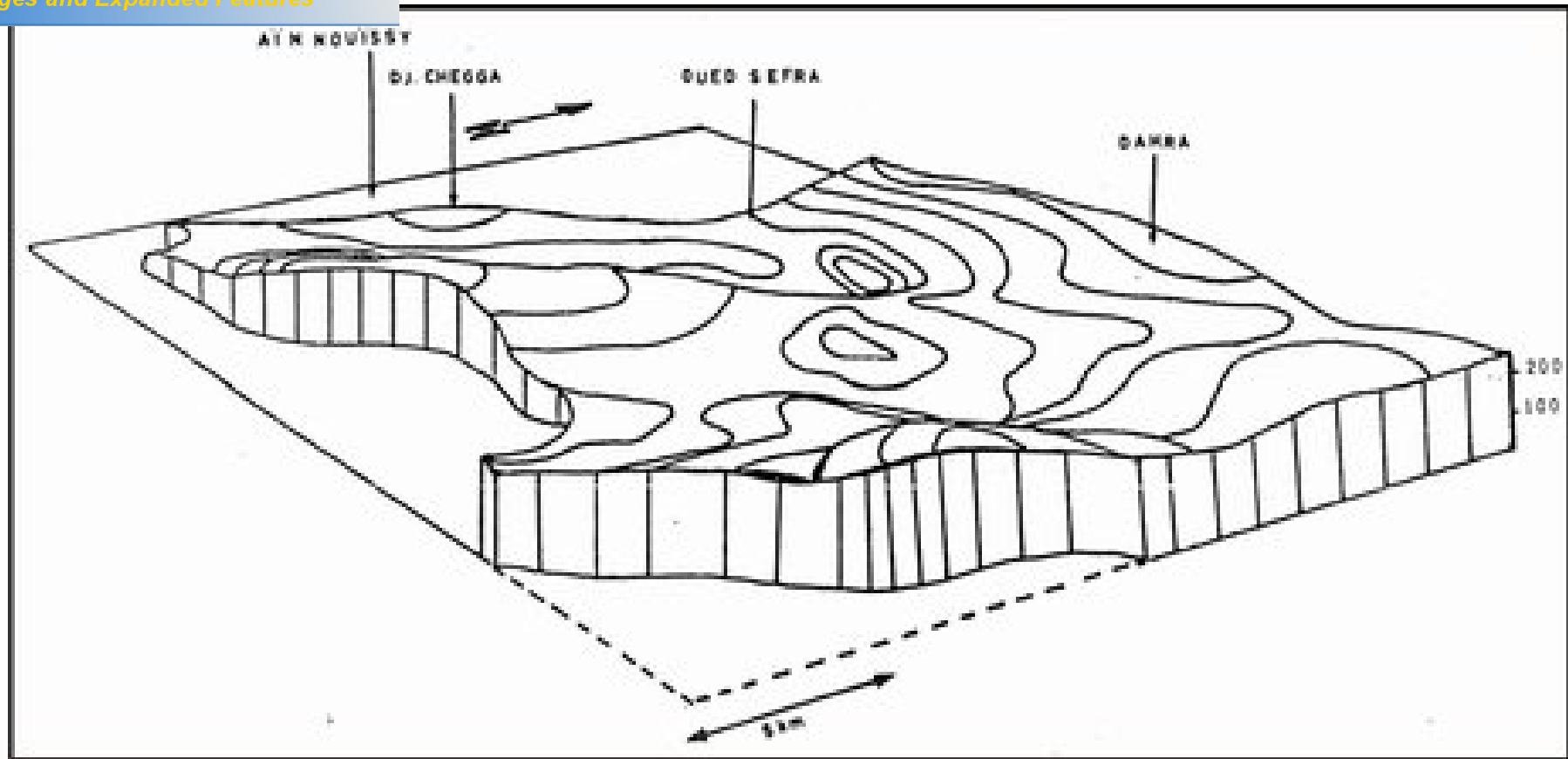


Fig. 11 : Bloc diagramme du substratum de la région de Mostaganem (réalisé par BAICHE, 1994)

IV.1. Les aquifères de la région de Mostaganem

IV.1.1. L'aquifère principal

C'est l'aquifère du plateau de Mostaganem auquel nous nous intéressons. Et qui, rappelons-le, est constitué principalement du Calabrien transgressif est discordant sur les dépôts marins et continentaux du Mio-Pliocène.

IV.1.2. L'aquifère de la plaine de Bordjias

C'est une nappe semi-captive constituée de séries grésos-sableuses recouvertes d'alluvions. Elle draine les eaux de la nappe du plateau de Mostaganem vers son exutoire Sud.

IV.1.3. L'aquifère côtier

C'est au fait, une nappe phréatique se trouvant dans la zone côtière. Elle est alimentée partiellement par la nappe du plateau et essentiellement par les précipitations.

IV.2. Les limites de la nappe du plateau de Mostaganem

Elle est limitée :

Au Nord, par l'affleurement des marnes bleues du miocène. Au contact avec les sables, il y a émergence de sources.

Au Sud ces marnes bleues apparaissent du côté de Djebel Trek El Touires, où se produisent des échanges entre elle et la nappe de la plaine des Bordjias.

A l'Est, par les marnes du Miocène qui affleurent au niveau de la forêt domaniale d'Ennaro et de l'Akboub.

A l'Ouest, par les marnes du Plaisancien et du Miocène supérieur.

La carte piézométrique résultant des travaux de Gauchez (1981), a été réalisée à partir de 440 puits. Elle recouvrait 604 Km² soit un puits tout les 2km². La carte obtenue des isopièzes est celle de valeurs mesurées en basse eau.

Gauchez (1981) écrivit dans son étude que « les zones d'alimentation de la nappe du plateau de Mostaganem comprennent les différents djebels et bombements affectant le plateau ainsi que sa bordure Nord-Ouest. Dans ces zones, le gradient hydraulique est élevé (20 à $100 \cdot 10^{-3}$). Les axes principaux de convergence de l'écoulement de la nappe ont des directions divergentes. Dans deux bassins hydrogéologiques (Oued Sefra et Mesra), ils correspondent plus ou moins au réseau de drainage. Le centre du plateau est séparé de la région Hassi Mamèche par un seuil affectant le substratum imperméable. Ce qui se traduit par une augmentation du gradient hydraulique ($19,5 \cdot 10^{-3}$) ainsi que par l'existence d'une ancienne source captée de l'Oued Sefra (source de seuil). Ce seuil est affecté d'un passage et l'axe principal de convergence correspondant aboutit aux sources du citronnier de Mostaganem. Un autre seuil sépare le centre du plateau de la plaine des Bordjas. Il est situé au Nord de Mesra. » (fig. 12)

La carte représentée dans la figure 13 a été construite à partir des données utilisées par Gauchez, vient soutenir sa description.

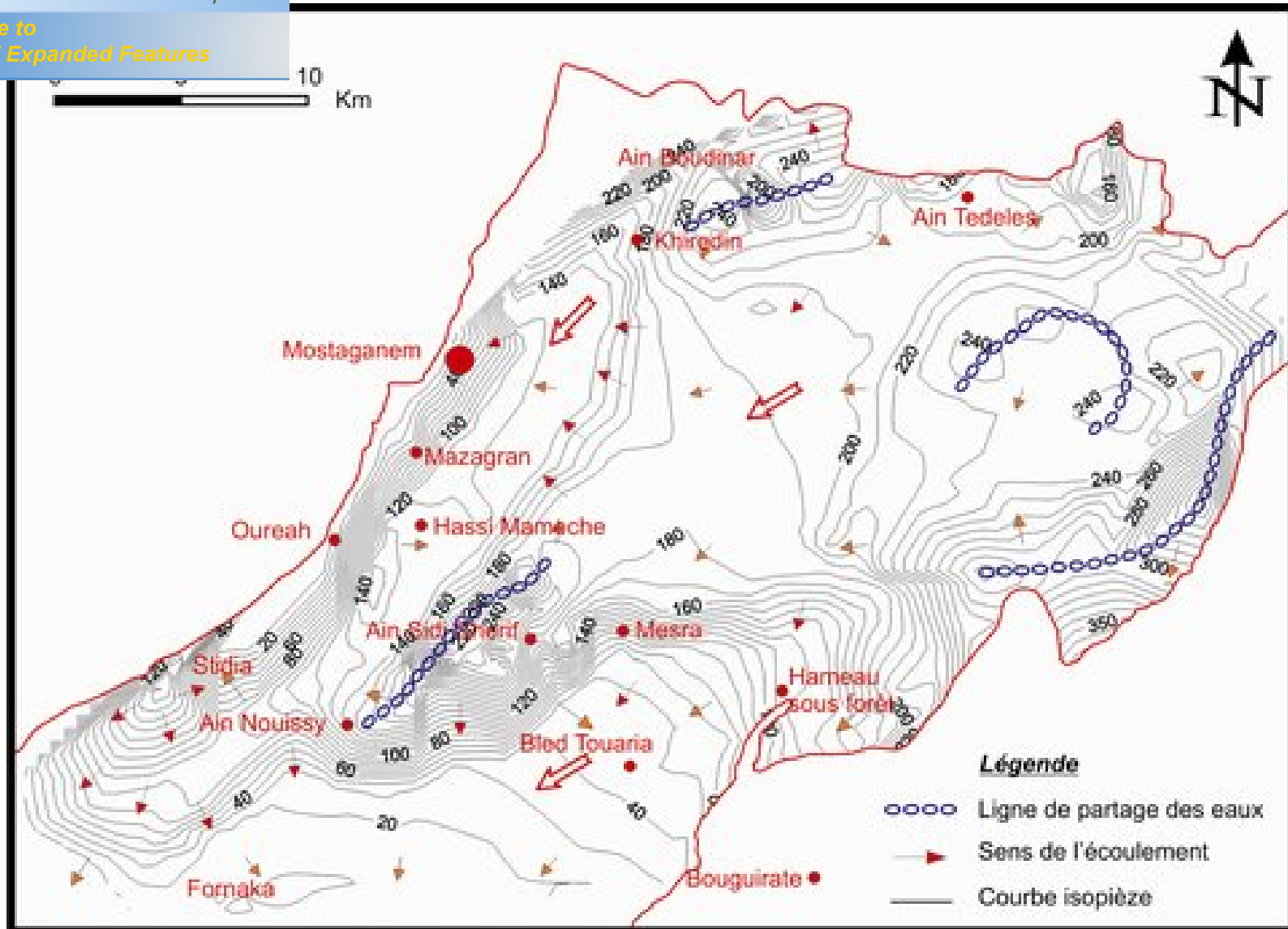


Figure n°13 : Carte piézométrique du Plateau de Mostaganem (données de 1970).

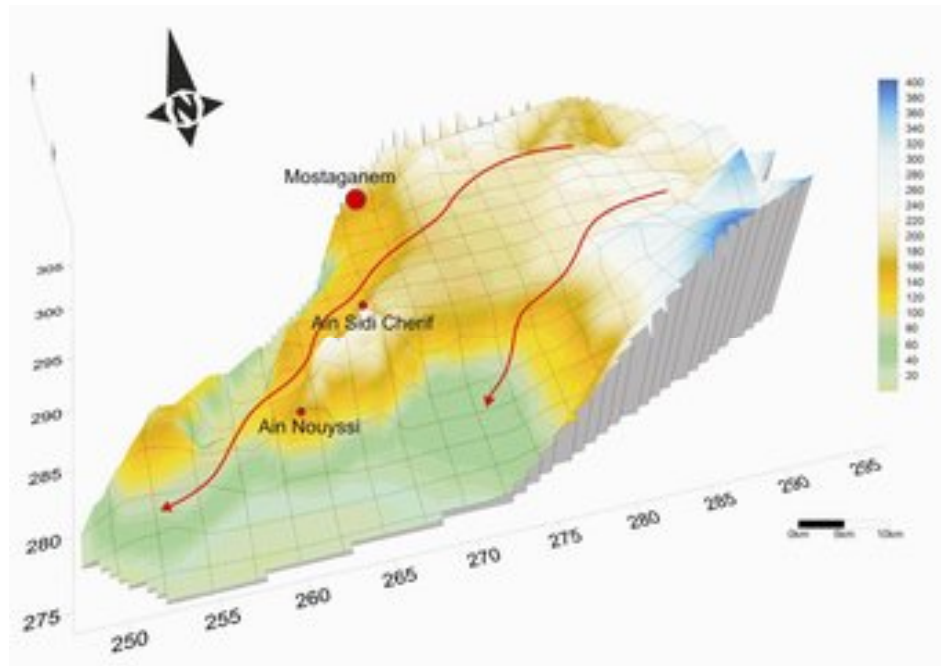


Fig. 14 : Bloc diagramme 3D représentant le niveau piézométriques, données de 1970.

Aussi dans la figure 14, nous remarquerons une élévation centrale (une ligne de crête) d'où se fait le partage des eaux vers l'Ouest et le Sud. La direction Nord-Est Sud-Ouest coïncide avec l'orientation des principales structures du Plateau de Mostaganem. Pour réaliser le variogramme nous prendrons en compte cette orientation (45°).

Bassins hydrogéologiques	Superficie en Km ²	Zones d'alimentation	Ecoulement	Gradient hydraulique dans le sens de l'écoulement	Exutoires
Ain Soltane	70.1	Forêt de l'Akboub DJ.Kharouba Nord du Dj. d'Annaro Est du Dj. Djazzar	Sud-Nord	16.10^{-3} , 50.10^{-3} 33.10^{-3} $4,5.10^{-3}$	Ain Soltane
Oued Kheir	17.15	Ouest du Dj. Djazzar Nord-est du Dj. De la Kouba Bel Rhazali	Sud-Nord	$2,9.10^{-3}$	Ain Hallouf
Ain Tédèles	23.25	Nord du Dj. De la Kouba Bel Rhazali	Sud-Nord	3.10^{-3}	Sources d'Ain Tédèles
Souk Kelmitou	28.15	Nord du Dj. De la Kouba Bel Rhazali	Sud-Nord	$11,9.10^{-3}$	Sources de Souk Kelmitou
Oued Sefra	199.97	Régions des Hachem, zones Ain Boudinar, Ain Tédèles, versant Sud du Dj.de la Kouba Bel Rhazal, Ouest du Dj. De la Kouba Bsibissa	Est-Ouest Nord-Est-Sud-Ouest	26.10^{-3} $1,5$ à 4.10^{-3} $19,5.10^{-3}$ $1,5$ à 4.10^{-3}	Oued Sefra sources de Mostaganem
Mazagran	40	Nord-Ouest du Dj. Trek el Touires Est du bombement dominant Hassi Mamèche	Sud-Nord Sud-Est-Nord-Ouest	34 à 40.10^{-3} 4 à 5.10^{-3}	Sources de Mazagran
Ouréah la Stidia	19.5	Ouest du bombement dominant Hassi Mamèche Sud du bombement dominant Hassi Mamèche lieu dit « La Montagne »	Nord-Est-Sud-Ouest	$62,5.10^{-3}$ 25.10^{-3}	Sources d'Ouréah
Forêt de la Macta	51.2	Forêt de la Mecta	Nord-Est-Sud-Ouest	$26,7.10^{-3}$	Oued Tinin
Ain Nouissy	30.8	Ouest du Dj.Trek el Touires Sud-Est du bombement dominant Hassi Mamèche Est du lieu dit « La Montagne ».	Nord-Est-Sud-Ouest	58.10^{-3} 43.10^{-3} 3.10^{-3}	Ain Nouissy
Mesra	54.37	Nord-Est du Dj.Trek el Touires Ouest du bombement situé au Nord Ouest du Hameau de Blad Touahria	Nord-Est-Sud-Ouest	$37,5.10^{-3}$ 4.10^{-3} 60.10^{-3}	Nappe captive et nappe libre de la plaine de Bordjias-sources de Mesra
Blad Touahria	69.65	Sud-Ouest du Dj.Djazzae, Est du Dj. De la Kouba Bsibissa, Est du bombement Hameau de Blad Touahria, Ouest de la forêt dominale d'Ennaro.	Nord-Est-Sud-Ouest	33 à 100.10^{-3} 2.10^{-3} 17 à 25.10^{-3} $11,4.10^{-3}$	Nappe captive et nappe libre de la plaine de Bordjias.

Tableau n°2 : Les bassins hydrogéologiques du Plateau de Mostaganem d'après Gauchez (1981).

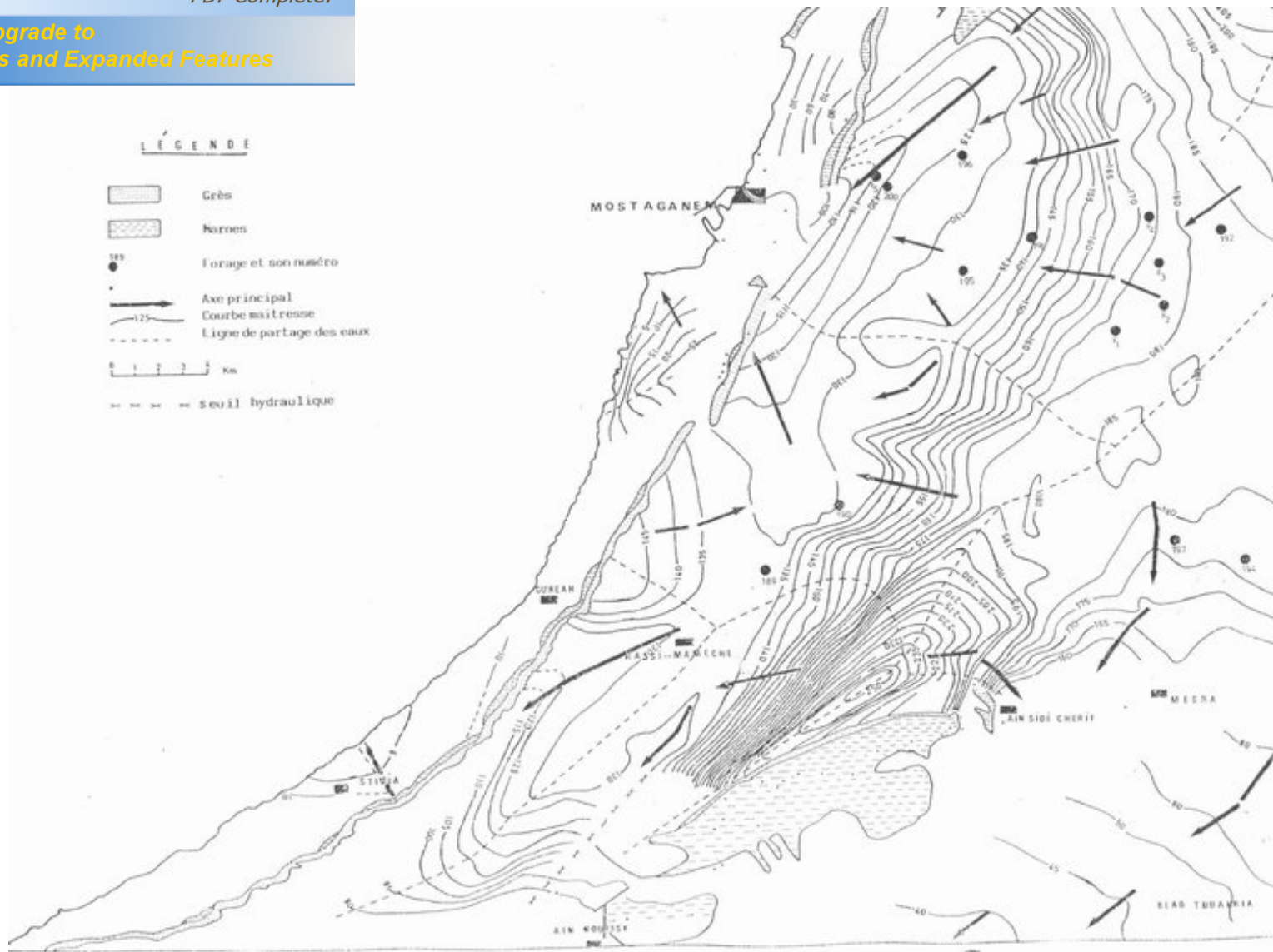
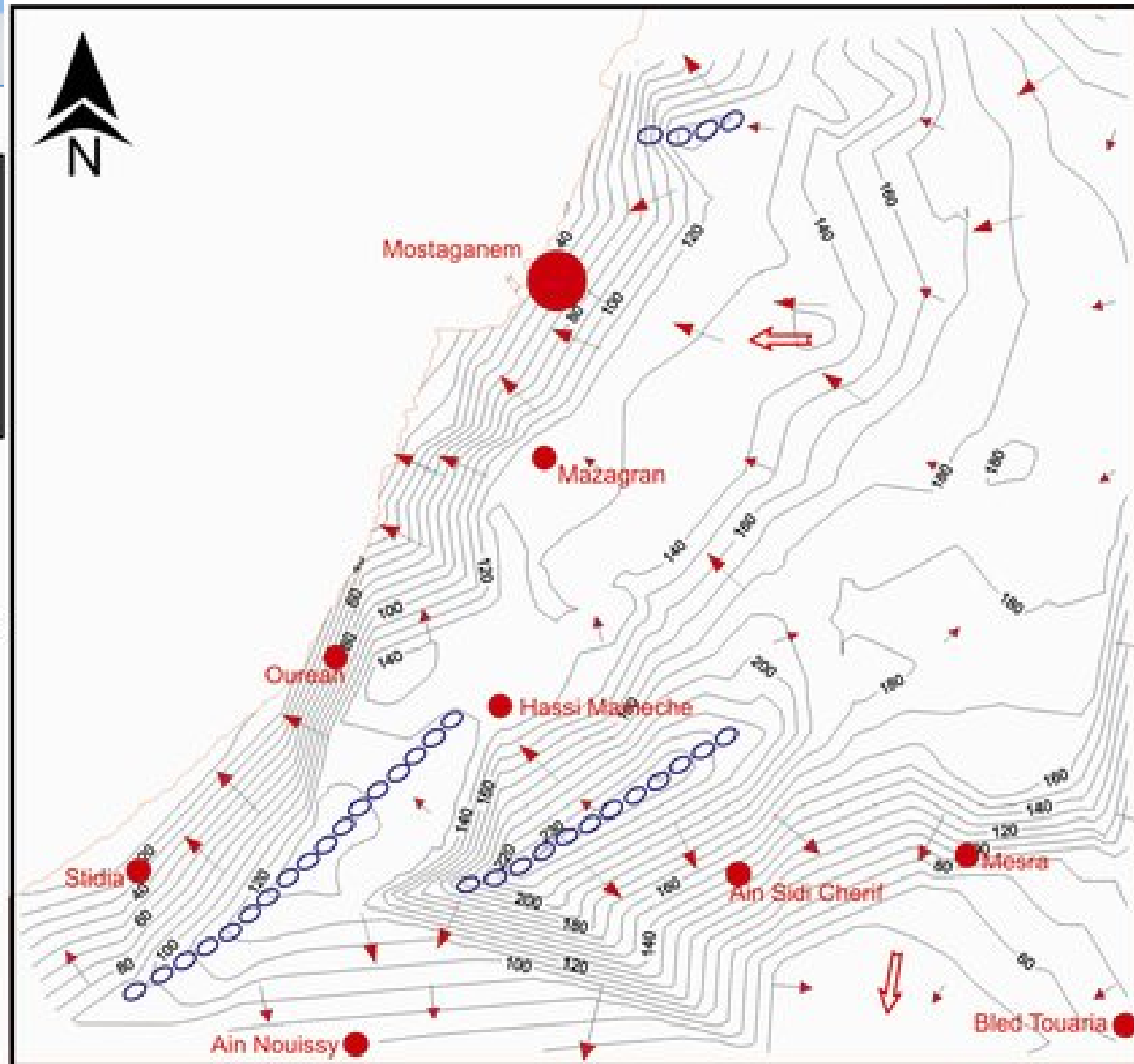


Fig. 15 : Carte représentant les niveaux piézométriques, données de 1990 (BAICHE, 1994).



Figure n°15 : Carte piézométriques de la nappe du Plateau de Mostaganem (données de 1990).



Suite à ses travaux, Baïche (1994) élaborera une carte piézométrique à partir (fig. 15) de 175 points de mesures parmi ceux étudié par Gauchez. Les données ont été mesurées en 1990. Les conclusions de Baïche, concernant la représentation des bassins hydrogéologiques, divergent en leurs configurations de ceux présentés par Gauchez.

Baïche considéra que le seuil du Djebel Trek El Touires sépare deux nappes :

- Nappe du Nord du Djebel Trek El Touires (nappe du Plateau)
- Nappe du Sud du Djebel Trek El Touires
 - Nappe du Nord du Djebel Trek El Touires :

La ligne de partage des eaux souterraines la subdivise en cinq bassins hydrogéologiques (fig. 14), ceux là mêmes que cite Gauchez (1981) :

- Bassin de l'Oued Sefra.
- Bassin de Mazagran
- Bassin de Stidia-Ouréah.
- Bassin d'Ain Nouissy.
- Bassin d'Ain Sidi Chérif-Mesra.

- Nappe du Sud du Djebel Trek El Touires

C'est le prolongement de la nappe du Nord du Djebel Trek El Touires, la limite reste floue du côté de la Mecta à cause de l'inexistence de points d'eau. Elle est constituée de deux bassins :

- Bassin de la Mecta.
- Bassin de Blad Touahria. (*in* DAHMANI, 2005)

La nappe est alimentée au Nord-Est à Oued el Kheir, l'axe de drainage trouve son exutoire à la côte près de la ville de Mostaganem. La carte est divisée en cinq sous bassins. La moitié Sud montre un écoulement Nord-Est Sud-Ouest, l'exutoire se trouvant vers Fornaka et Bled Touhria.

Nous avons réalisé (fig. 16), grâce à la méthode de triangulation, une carte en isopièze des données de 1990. Nous avons constaté un sens d'écoulement allant principalement selon la direction 45° (Nord-Est Sud-Ouest) de part et d'autre de la crête (fig.17). Dans ce sens la charge hydraulique a des valeurs élevées dues aux zones d'alimentation. Celles-ci correspondent aux différents djebels et hauteurs qui se trouvent entre Ain Sidi Cherif et Ain Nouissy.

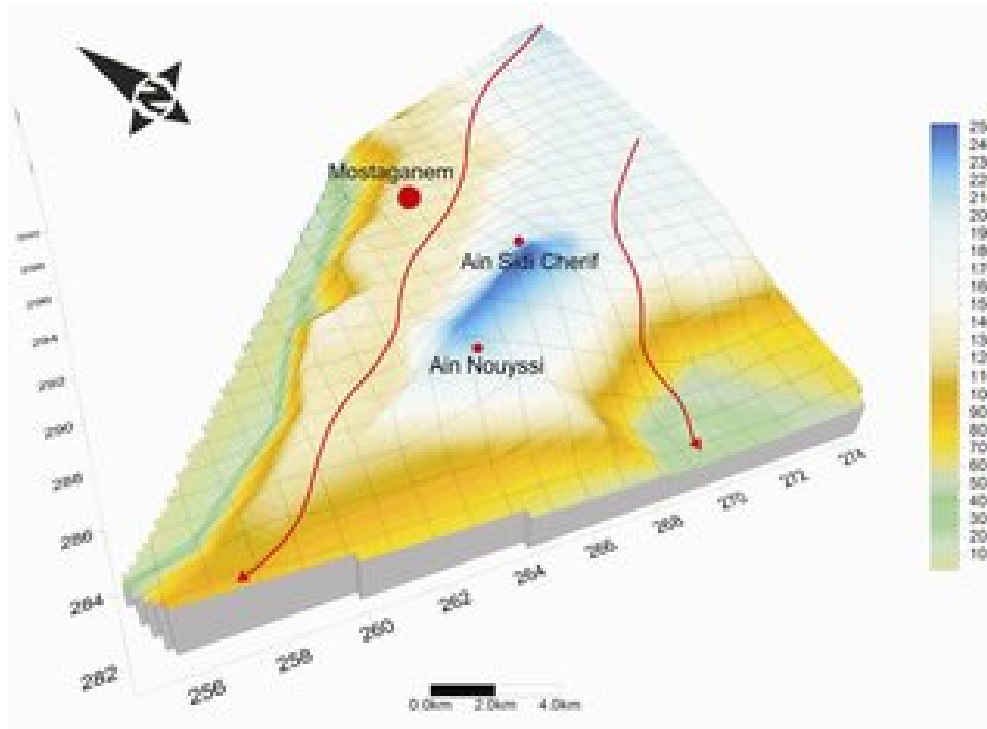


Fig. 17 : bloc diagramme de la piézométrie de 1990 en 3D.

Sur cette figure est représenté les données prises par Baïche (1994). Ainsi que nous pouvons le constater le dôme situé entre Ain Sidi Chérif et Ain Nouyssi est significatif. Ainsi que le sens de l'axe principal d'écoulement qui va du Nord-est au Sud-Ouest.



Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

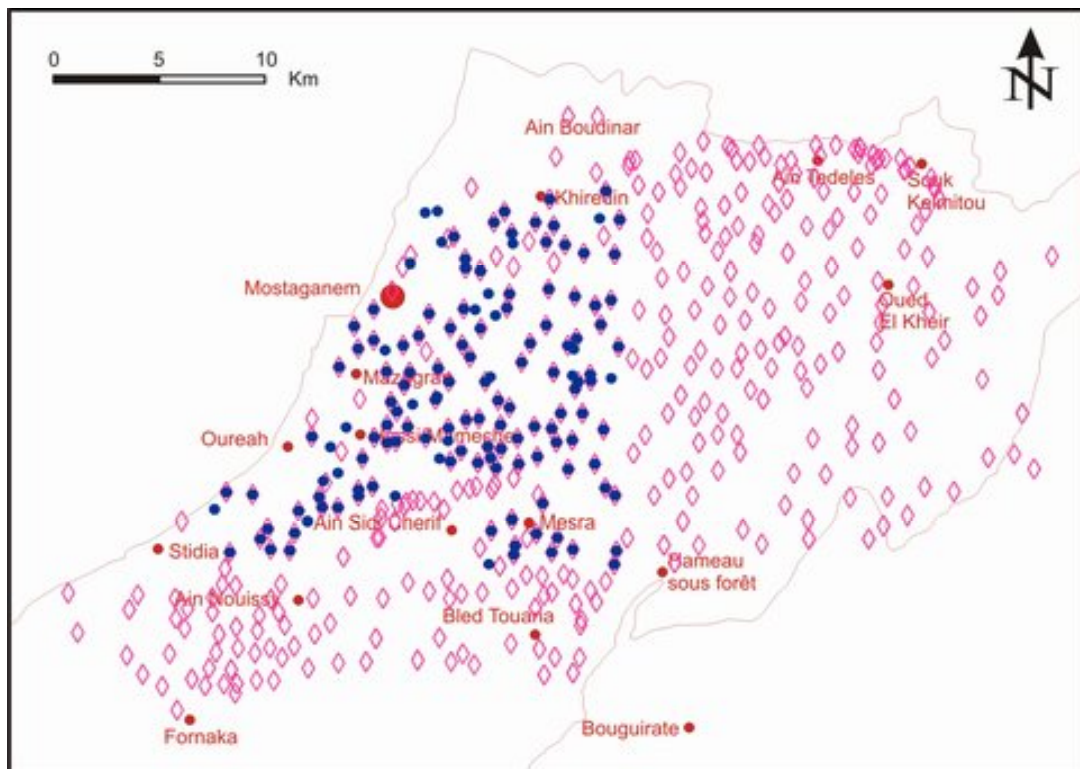
[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

CHAPITRE III

Résultats & interprétations

Le plateau de Mostaganem a une superficie de 692km². Son aquifère est contenu dans les complexes dunaires quaternaires. La nappe est très importante de par ses dimensions et sa fonction.

Dans son étude, Gauchez (1981) releva, en 1970, 440 puits dont 410 que nous avons pu utiliser. Ces points sont répartis de manière uniforme recouvrant pratiquement la zone d'étude. Baïche (1994) utilisa 175 puits mesurés en 1990, nous n'avons pu utiliser que 143 représentants la partie se trouvant sur la côte du plateau. La figure 18 montre la position des points de mesures utilisés par Gauchez par rapport à ceux utilisés par Baïche.



- ◇ Losanges représentant les positions des données relevées en 1970.
- Points représentant les positions des données relevées en 1990.

Fig. 18 : Carte représentant les positions des données utilisées pour l'étude géostatistique.

Toutes les figures illustrées dans ce chapitre ont été réalisées à l'aide du logiciel SURFER (2004). Les données utilisées sont celles de Gauchez (1981) et Baïche (1994) dans leurs travaux.

egrés selon les axes utilisés en trigonométrie ; c'est-à-dire c'est par rapport à ces axes que nous avons indiqué la direction du comportement de la charge hydraulique.

Nous illustrons dans ce chapitre, des cartes mesurées qui sont les cartes représentatives des données piézométriques prises sur le terrain, et des cartes de valeurs krigées qui sont représentatives des valeurs calculées par interpolation à partir des données de terrain, obtenues après modélisation des variogrammes, selon la méthode de krigeage.

Les données mesurées représentent le niveau piézométrique. Dans l'étude que nous avons faite, ces mêmes mesures vont nous permettre d'évaluer la charge hydraulique de par son comportement et son évolution dans l'espace. La méthode de krigeage saura en cela à la décrire et l'interpréter.

Compagne piézométrique 1970

Etude statistique :

Données	Valeurs
Nombre de points de mesures	410
Etendue	408,8m
Minimum	0,38m
1 ^{er} quartile	79,3m
Médiane (2 ^{ème} quartile)	178,79m
Moyenne	152,16m
3 ^{ème} quartile	208,08m
Maximum	409,18m
Ecart type	87,175m
Variance	7599,5m ²
Coefficient de variation	0,573%
Coefficient d'asymétrie	-0,05
Coefficient d'aplatissement	2,628

Tableau n°3 : étude statistique des valeurs mesurées en 1970.

Pour 410 points de mesures, nous avons une étendue de 408,8m, c'est-à-dire une valeur minimale de 0,38m et une valeur maximale de 409,18m. Nous avons une différence entre la médiane (valeur centrée) (178,79m) et la moyenne (152,16m). Le coefficient de variance traduit une dispersion relative de 0,573%, alors que l'écart type une dispersion absolue de 87,175. Nos données présentent une légère asymétrie négative de -0,05 plus marqué vers les faibles valeurs. Notre distribution marque un léger coefficient d'aplatissement de 2,628.

Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

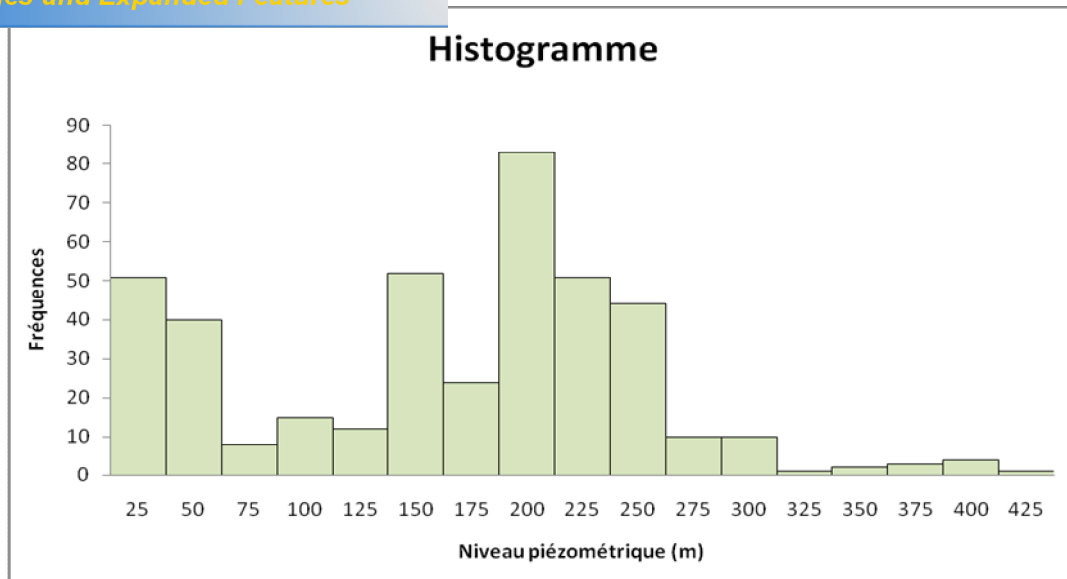


Fig. 19 : Histogramme des fréquences des données piézométriques

La figure 19 est un diagramme représentatif de la distribution de fréquences par intervalle de classes des données du niveau piézométrique mesurées en 1970. L’effectif n’est pas régulier, on remarquera, un nombre élevé de puits ayant un niveau piézométrique de 200m. Les profondeurs supérieures sont en petit nombre. Les puits à faible profondeur piézométriques sont représentés en points rouges sur la figure 20.

Sur la figure suivante, nous avons classé les valeurs des niveaux piézométrique par quartile cela même énoncé dans le tableau n° 3. Même si la répartition des points est dense, elle reste irrégulière de par la divergence des valeurs piézométriques. Au centre, nous remarquons que les quatre types de valeurs sont proches.

Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

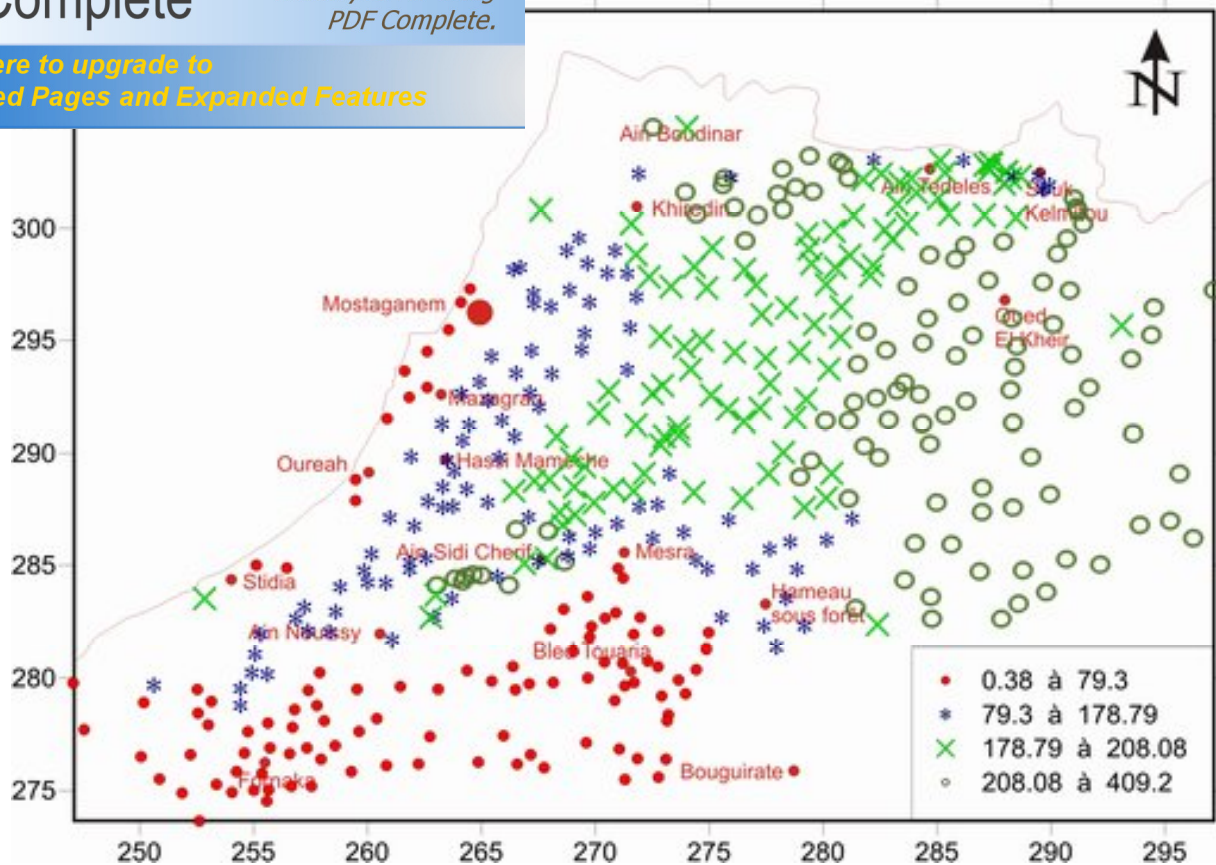


Fig. 20 : Carte des données en quartiles (1970)

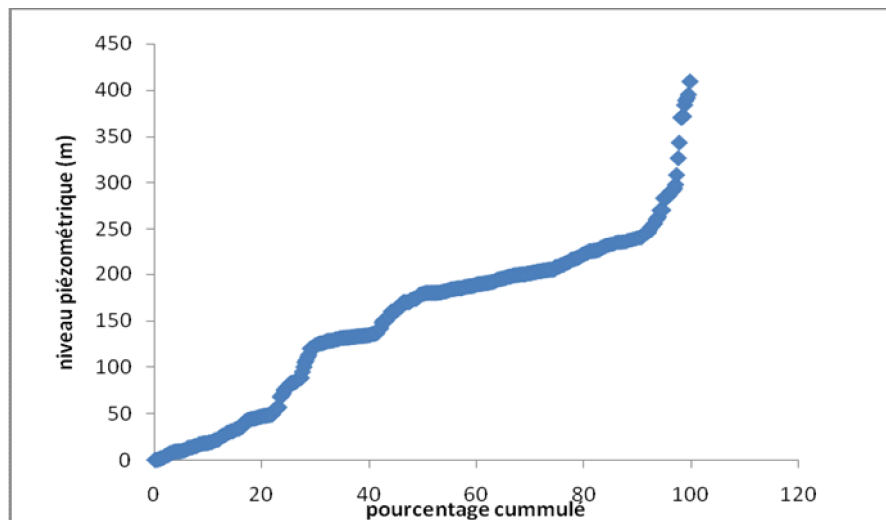


Fig. 21 : Courbe des effectifs cummulés.

La répartition des valeurs du niveau piézométrique ne suit pas une loi normale. L'allure des points n'est pas linéaire.

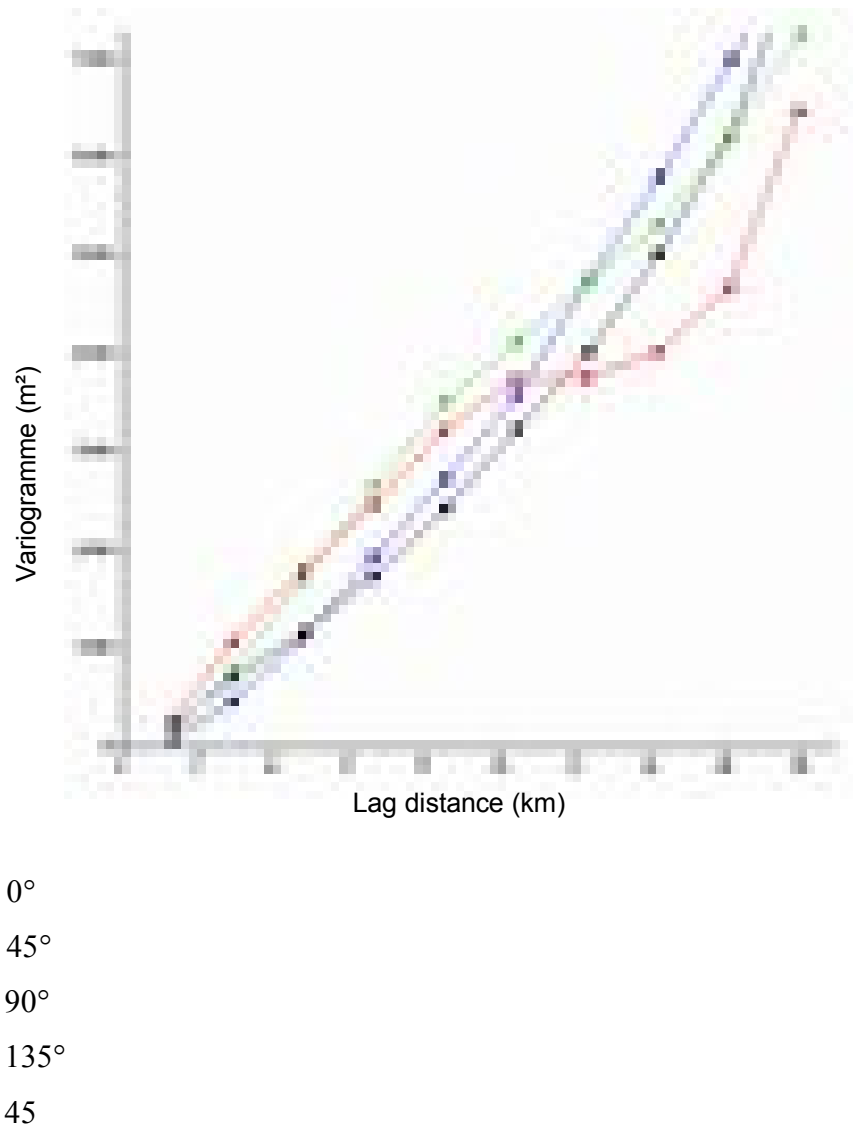


Fig. 22 : Variogrammes de la charge hydraulique (de 1970), démontrant l'anisotropie.

En hydrogéologie, l'anisotropie est reconnue puisque les fluctuations de la charge hydraulique ne se font pas dans le même sens et ceci dans toutes les directions (à cause de la nature des terrains que l'eau traverse, la structure, l'effet de pompage, etc.). La figure 22 confirme cette vérité de par l'allure différente de chacune des courbes pour les quatre directions (0°, 45°, 90°, 135°). Ces courbes ne présentent pas d'effet de pépite et elles se démarquent les unes des autres

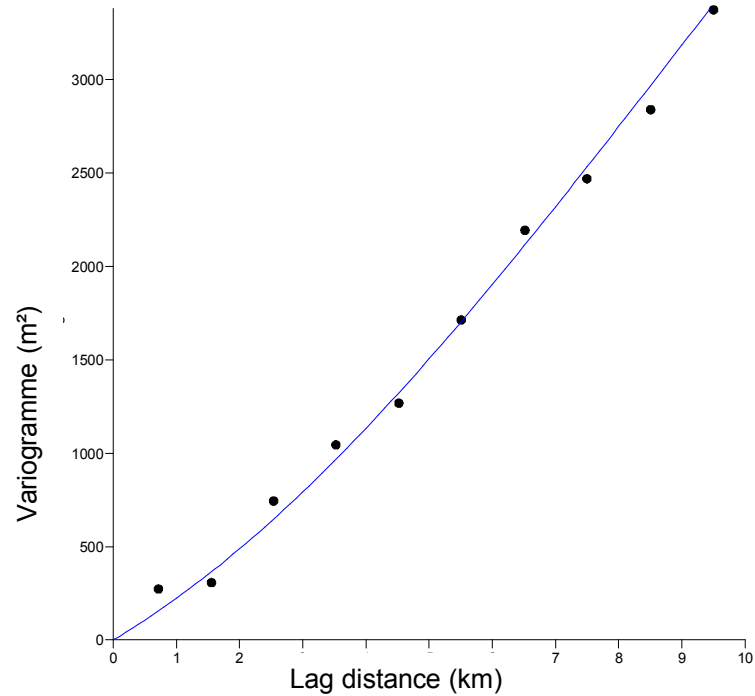


Fig. 23 : variogramme de la charge hydraulique modélisé.(données de 1970)

L'étude variographique a été réalisée en combinant les trois modèles mathématiques : gaussien, linéaire et sphérique. Le comportement de la courbe à l'origine nous montre l'absence de l'effet de pépité. La courbe (fig. 23) présente une allure parabolique à croissance constante, qui nous oblige à considérer la dérive, en interpolant nos valeurs mesurées sous le système du krigeage universel.

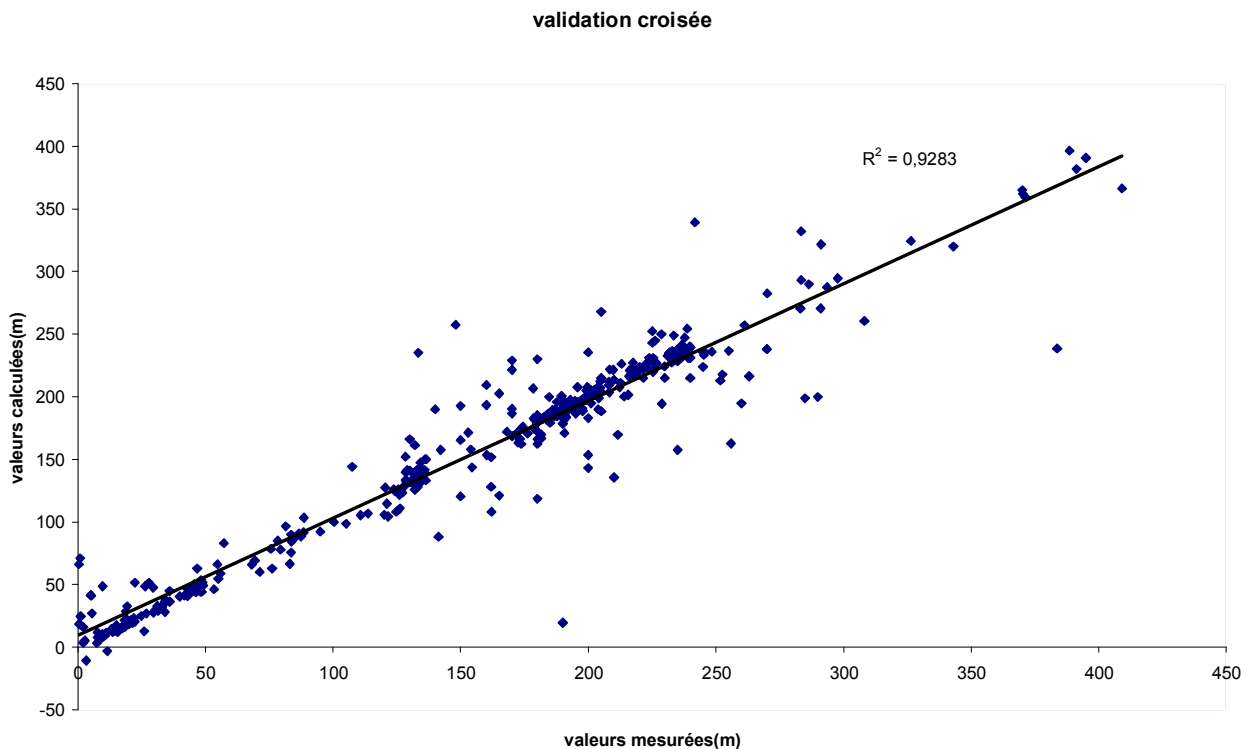


Fig. 24 : Validation croisée des cartes de 1970.

$$R^2 = 0,9283 \Leftrightarrow \sqrt{R^2} = 0,96 \approx 1$$

Les valeurs estimées obtenues, à partir du variogramme que nous avons réalisé, et les valeurs mesurées sont représentées grâce au graphique de la figure ci-dessus.

Le coefficient de corrélation obtenu grâce à la validation croisée est proche de 1. Notre carte s'avère être le résultat d'une bonne interpolation.

Carte interpolée par krigeage

Nous pouvons remarquer (fig. 25) différents bombements, à Ain Boudinar, Souk Kelmitou et entre Ain Sidi Cherif et Ain Nouissy. De ces zones d'alimentation, les axes de drainage convergent respectivement vers la ville de Mostaganem, au centre du plateau et enfin vers Fornaka, où se trouve l'exutoire.

Nous apercevons aussi que les courbes isopièzes ont pratiquement la même allure que sur la carte réalisée par Gauchez (1981). Le gradient hydraulique est élevé vers le Nord et le Sud-Est et faible dans le Nord-Ouest et le centre.

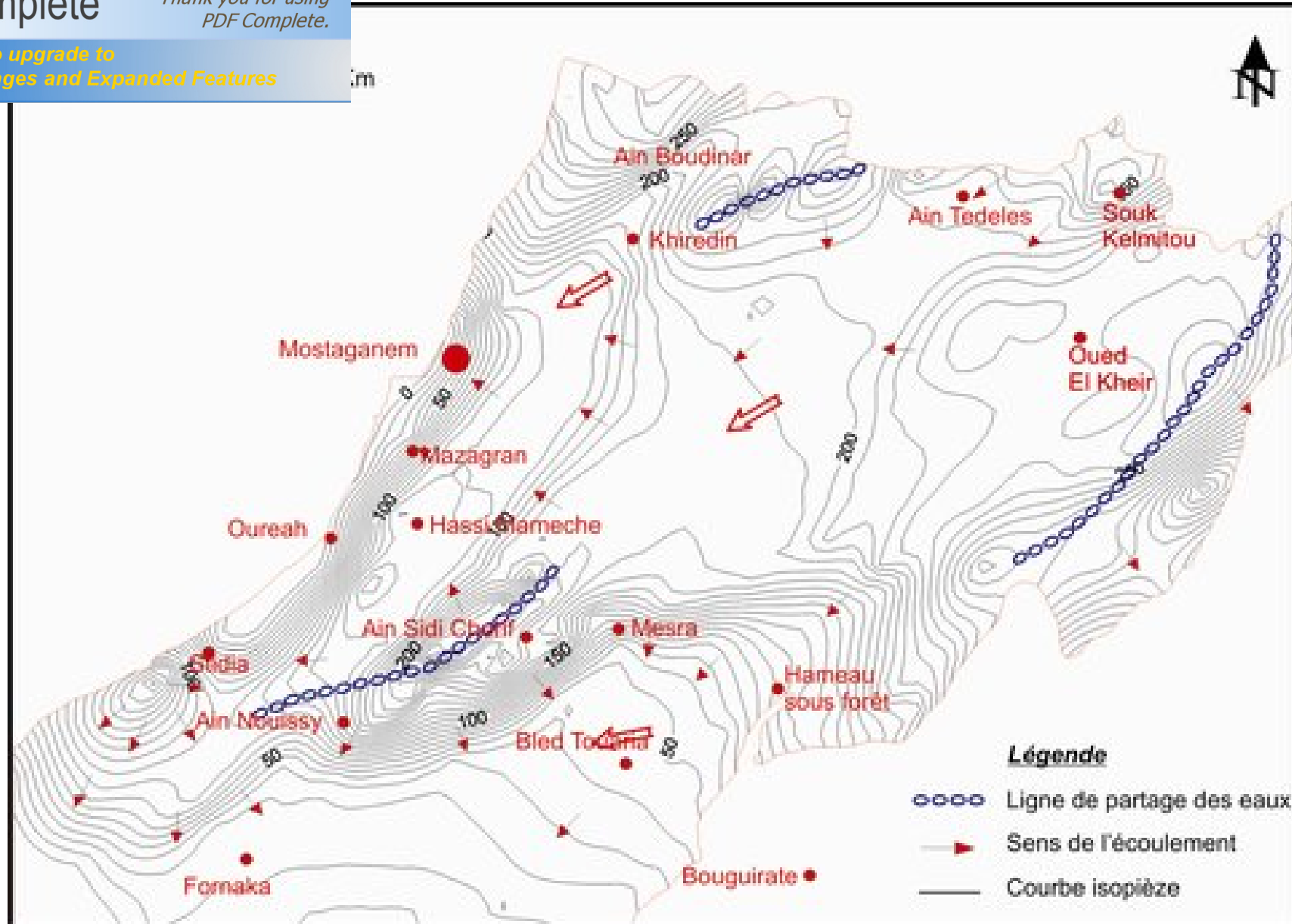


Figure n°25 : Carte des valeurs piézométriques krigées à partir des données de 1970

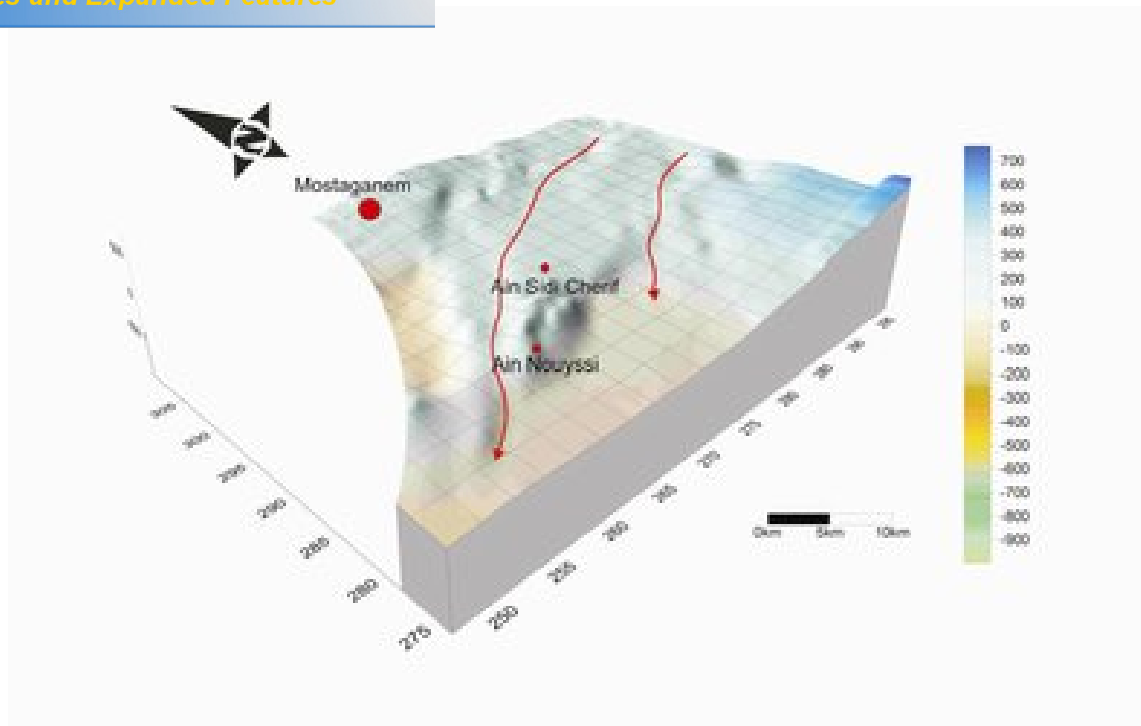


Fig. 26 : Bloc diagramme des valeurs de la charge hydraulique krigées de 1970 en 3D.

Le but de ce bloc diagramme (fig. 26) est de visualiser la charge hydraulique de la nappe de Mostaganem. Le relief montre clairement les zones d'alimentation, ainsi que les fluctuations de la charge. Comme sur la carte piézométrique, l'axe principal d'écoulement est du Nord-Est vers le Sud-Ouest. Aussi nous remarquerons la présence d'une ride structurale située entre la côte et Ain Nouyssi. Cette ride génère une ligne de partage des eaux (écoulement entre Oureah et Stidia, et un autre vers Ain Nouyssi). (ZEROUALI et El MESLOUHI, 1994)

Carte des écarts réduits

Cette carte (fig. 27) a été construite à partir des erreurs d'estimation suite au calcul du krigeage des données de 1970. L'intervalle des écarts réduits est de ± 2 . Sur cette carte, l'écart réduit tend vers 0, traduisant des erreurs nulles dans l'interpolation que nous avons réalisée, sauf pour les zones d'alimentation où nous trouvons des valeurs négatives à -0,02.

Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

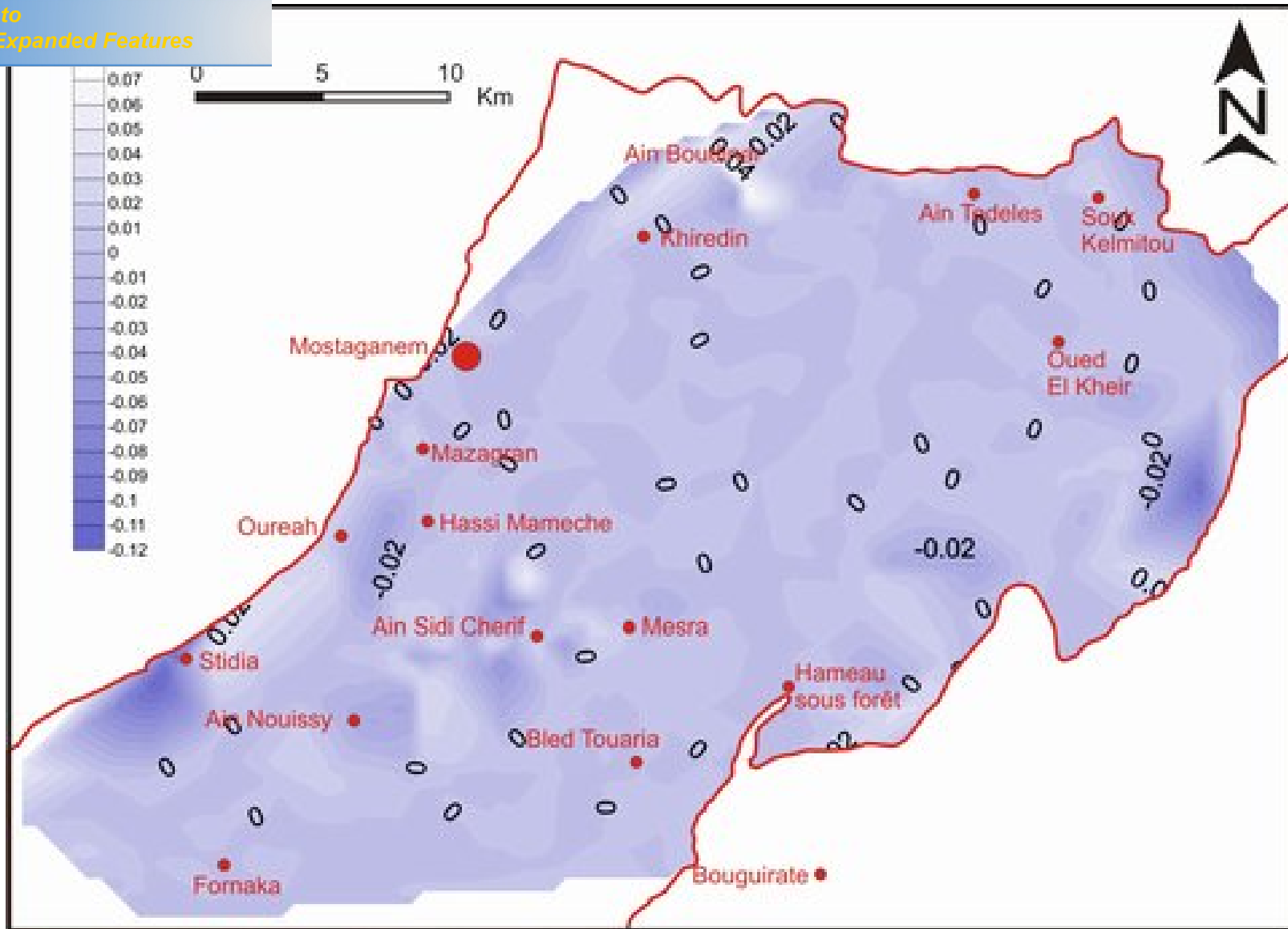


Fig. 27 : Carte des écarts réduits.(1970)

e

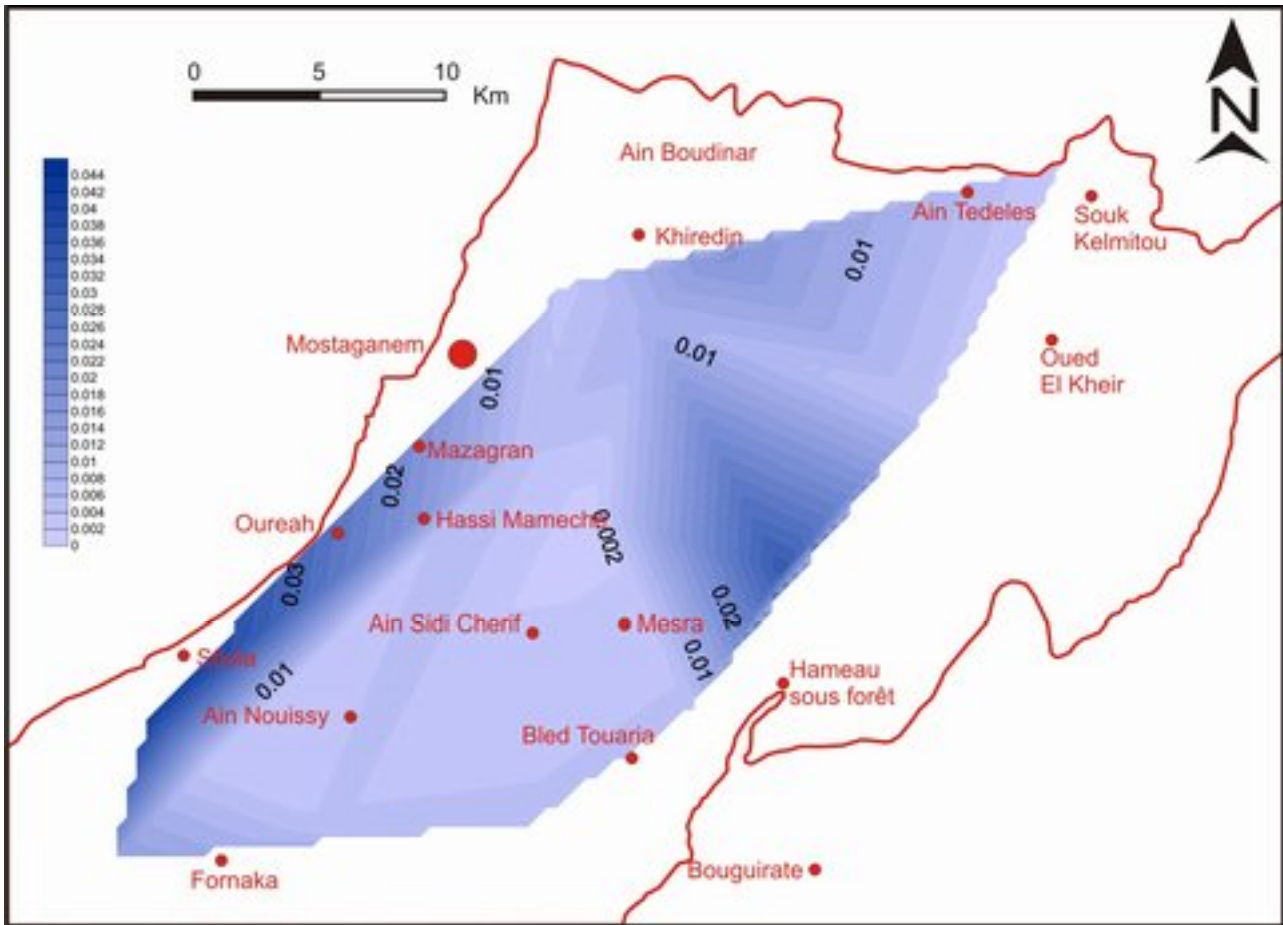


Fig. 28 : Carte des gradients hydrauliques (1970)

Cette zonation (fig. 28) a été effectuée à partir de la carte des valeurs de la charge hydraulique krigées. Nous distinguerons les valeurs élevées ($40 \cdot 10^{-3}$) du gradient hydraulique correspondent aux zones d'alimentations du plateau, et ceci à l'Est et à l'Ouest. Les faibles valeurs se trouvant au centre voir au Sud-Ouest, sont de l'ordre de ($30 \cdot 10^{-4}$)

990

Etude statistique

Données	Valeurs
Nombre de points de mesures	143
Etendue	253,29m
Minimum	1,03m
1 ^{er} quartile	119,695m
Médiane (2 ^{ème} quartile)	132,47m
Moyenne	134,98m
3 ^{ème} quartile	180,015m
Maximum	254,32m
Ecart type	56,7m
Variance	3215,59
Coefficient de variation	42%
Coefficient d'asymétrie	-0,65
Coefficient d'aplatissement	-0,095

Tableau n°4 : Données statistiques des valeurs piézométriques de 1990.

Nos données sont au nombre de 143, répartie régulièrement, près de la cote de Mostaganem. Le niveau piézométrique est réparti sur une étendue de 253,59m, à partir du premier mètre de profondeur. La valeur de la médiane et de la moyenne est quasi-identique, à 2m près. L'écart type représentatif des valeurs est de 56,7m. Nous avons obtenu une dispersion relative des données de 42%. L'allure de cette dispersion présente une légère asymétrie négative de -0,65. Le coefficient d'aplatissement est perceptible à -0,095.

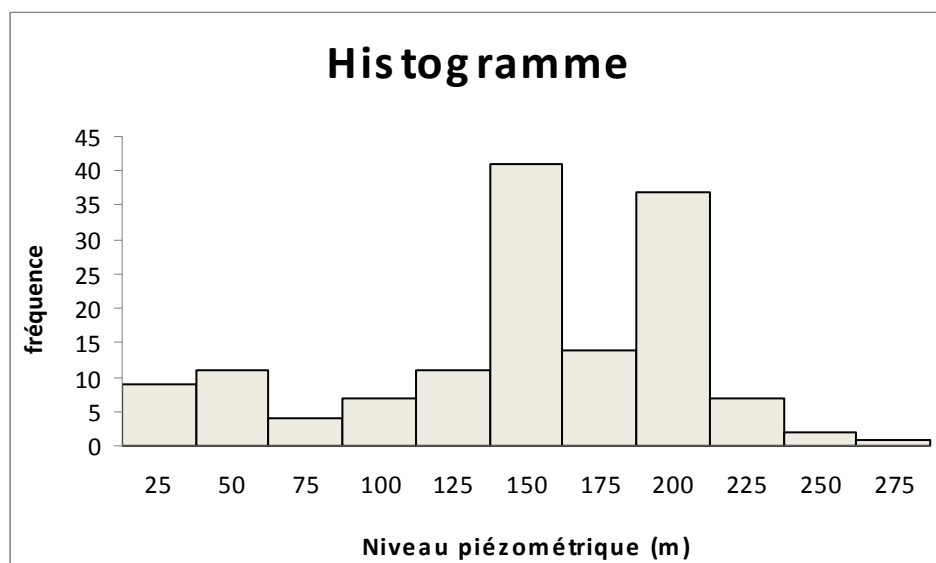


Fig. 29 : Histogramme des fréquences des données du niveau piézométrique de 1990.

Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

À partir d'un histogramme de fréquence (fig. 29), nous pourrions conclure que la répartition des données de 1990, montrant un nombre élevé de puits en 1990, où l'eau est

puisée à une grande profondeur.

La répartition de ces points de mesure est représentée dans la figure 30. Elle est relativement régulière. Si le premier quartile inclus des niveaux compris entre 1m et 120m, c'est dû au nombre de puits divisés en part égale.

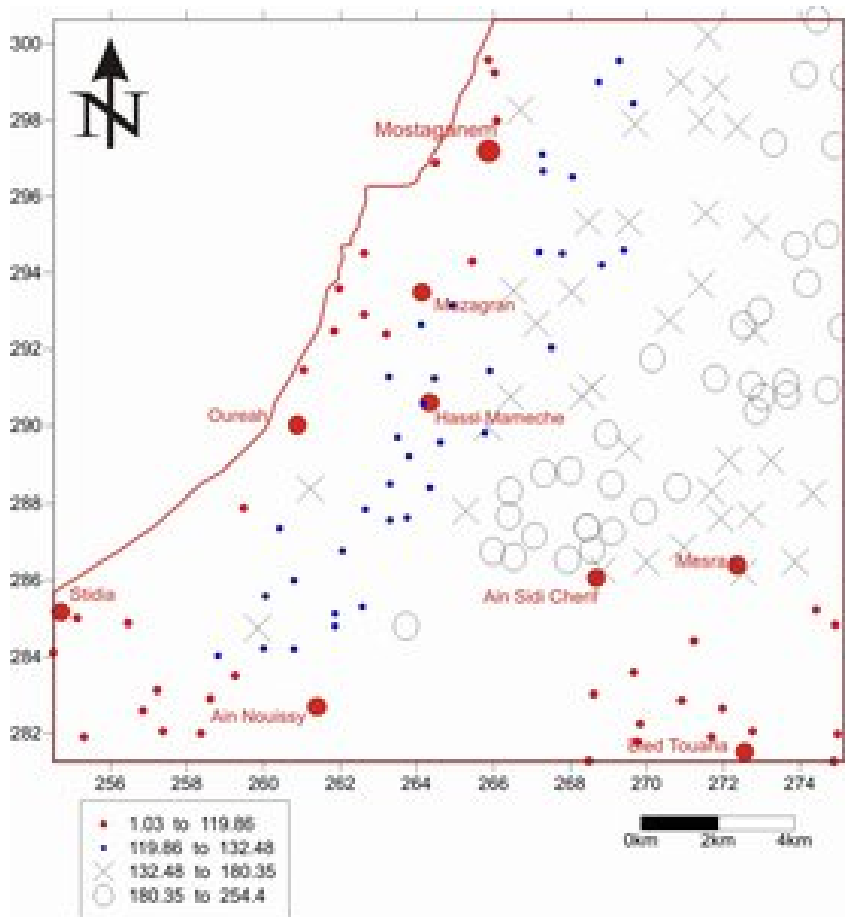


Fig. 30 : Position des puits répartis en quartiles

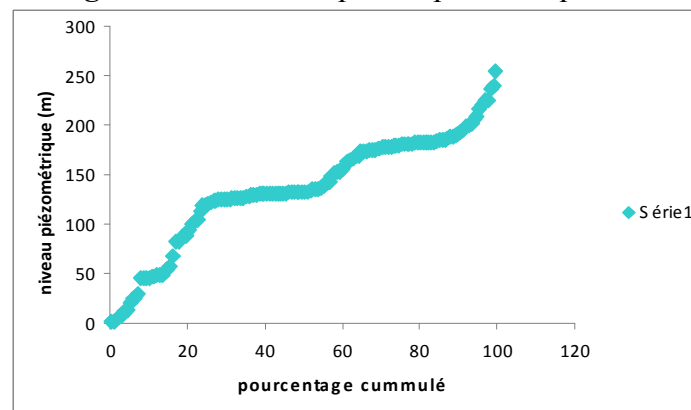
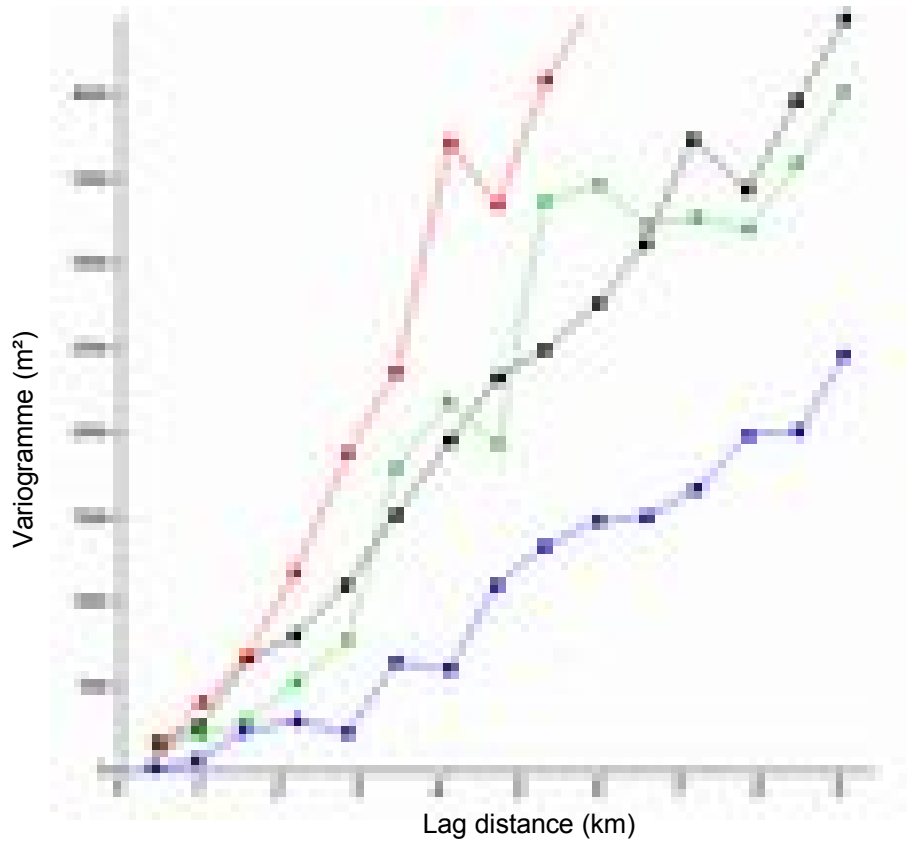


Fig.31 : Courbe de distribution des données de 1990.

La courbe de distribution ne suit pas une loi normale.

Anisotropie



- Direction 0°
 - Direction 45°
 - Direction 90°
 - Direction 135°
- Tolérance 30

Fig.32 : Variogrammes de variabilité de la charge hydraulique (de 1990), démontrant l'anisotropie.

Nous remarquons que l'anisotropie est bien démontrée par l'allure des courbes qui se démarquent les une des autres. Nous remarquons l'absence de l'effet de pépité. (Fig.32)

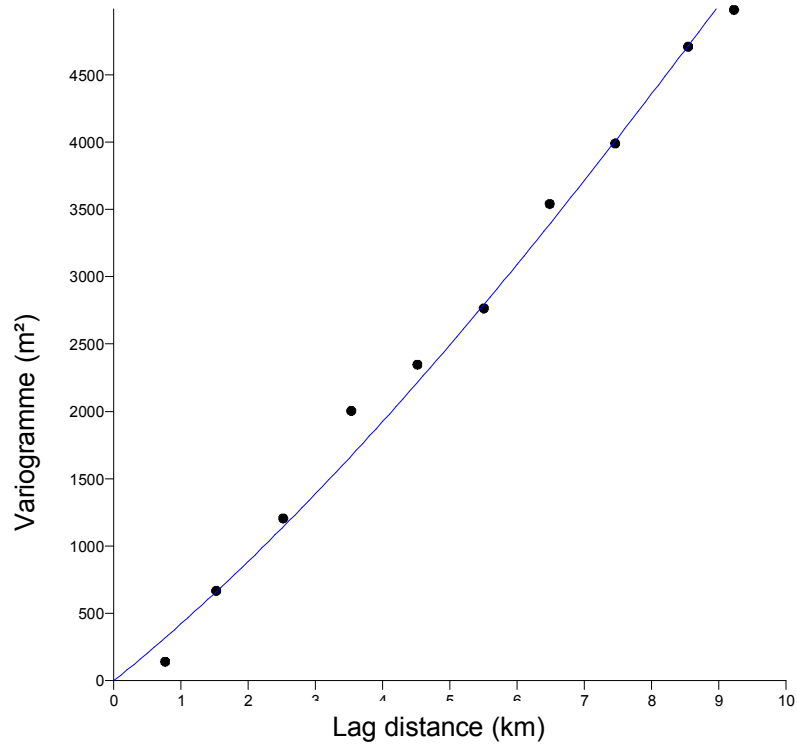


Fig.33 : variogramme de la charge hydraulique modélisé.

Le meilleur ajustement du variogramme, selon la tolérance 30 pour la direction préférentielle 45° , a été obtenu grâce au modèle combiné gaussien-linéaire-sphérique (fig. 33). Nous remarquons, qu'il n'y a pas d'effet de pépite, que la courbe commence donc à partir de l'origine. L'allure de la courbe est parabolique, continue, et elle est très représentative des points mesurés. Cette courbe présente, elle aussi une dérive linéaire, car elle continue de croître régulièrement. Nous l'étudierons donc avec le système de krigeage universel.

validation croisée

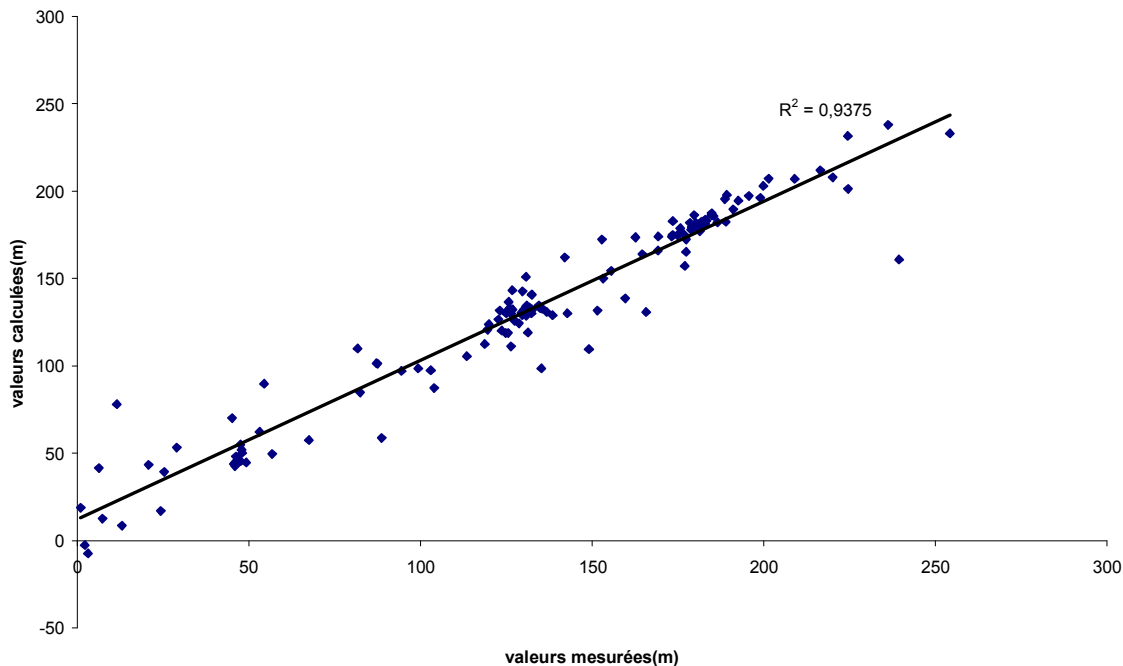


Fig.34 : validation croisée pour les cartes de 1990.

$$R^2=0.9375 \Rightarrow \sqrt{R^2} = 0,96 \approx 1$$

Sur cette figure, nous remarquons que le nuage de points est uniforme et suit une droite. Le coefficient de corrélation calculé est de $0,96 \approx 1$. La carte obtenue ainsi calculée est pratiquement parfaite.

Carte interpolée par krigage

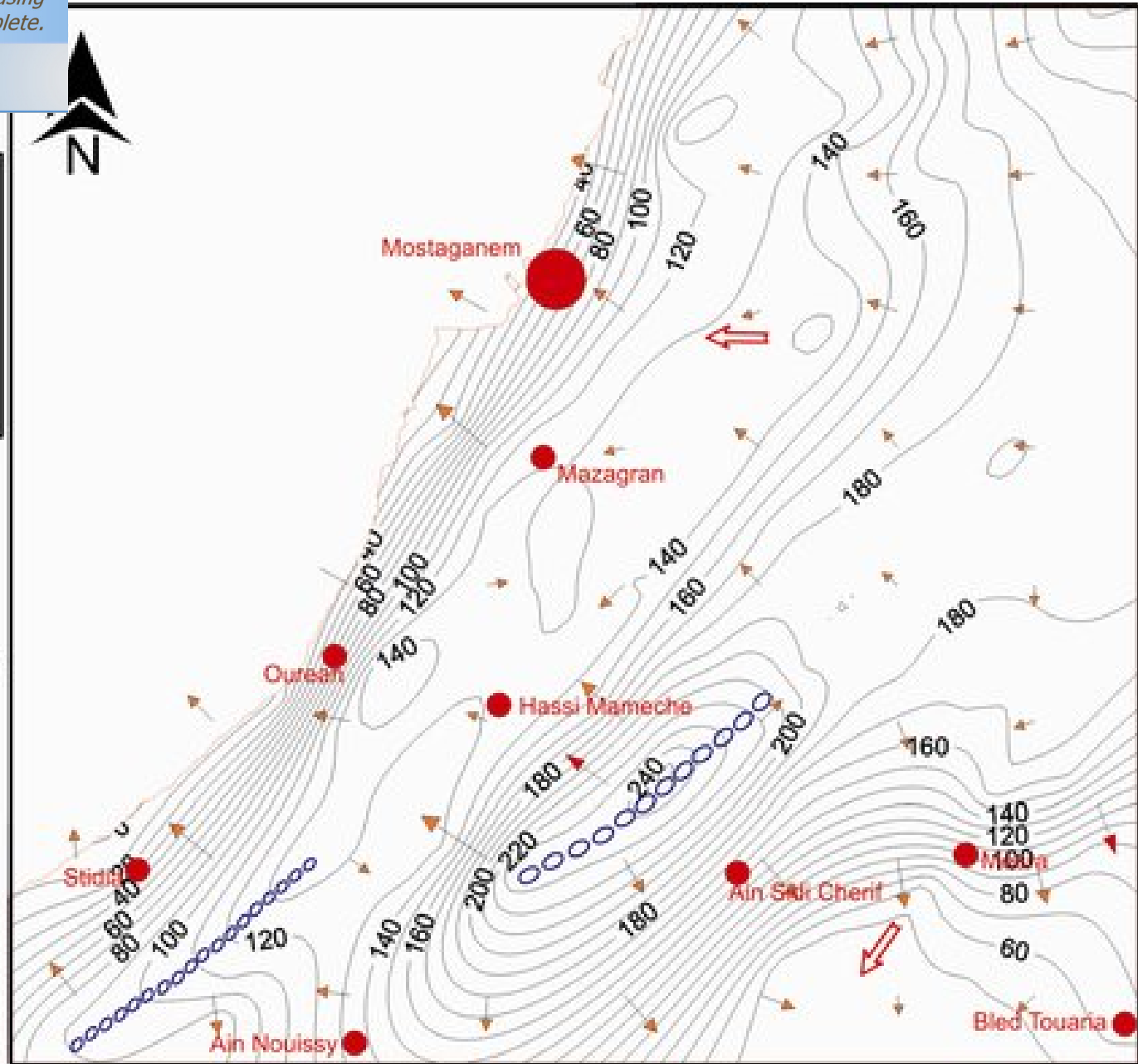
La carte piézométrique krigée (fig. 35) présente une seule élévation qui se trouve entre Ain Sidi Chérif et Ain Nouissy. L'axe de drainage va de l'est de la ville de Mostaganem au Sud vers la ville d'Ain Nouissy. Nous pouvons remarquer aussi un écoulement d'Ain Sidi Chérif qui trouve son exutoire vers la mer.

Quelques cônes de dépression peuvent être observés, près de la ville de Mostaganem, de Hassi Mamèche, et vers l'Est de Mazagan. Ces dépressions sont de l'ordre de quelques mètres.

Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features



Figure n°35 : Carte des valeurs piézométriques krigées de la nappe du Plateau de Mostaganem (données de 1990).



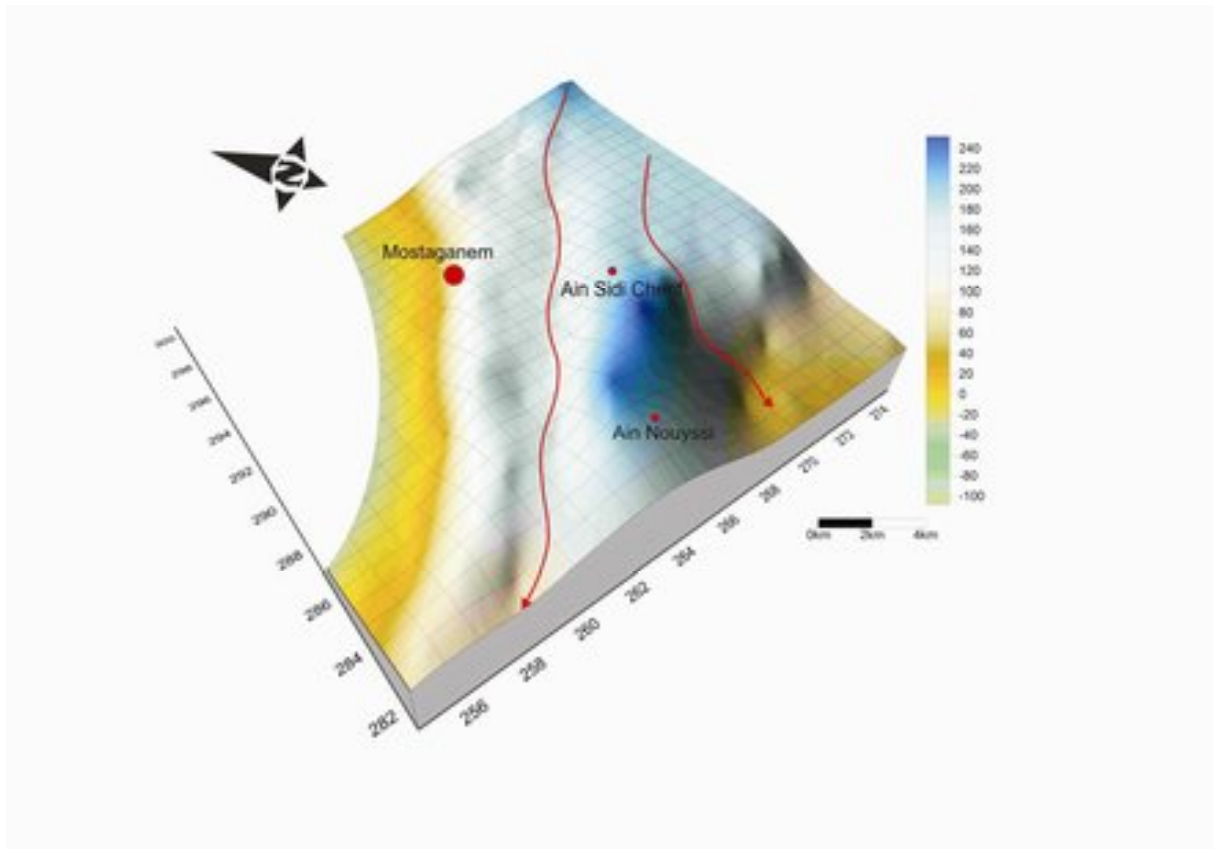


Fig. 36 : Bloc diagramme des valeurs de la charge hydraulique krigées en 3D (1990).

Le relief représentant la charge hydraulique décrit la dynamique de la nappe. Là aussi, la ride structurale, est mise en relief, la ligne de partage des eaux marque l'axe d'écoulement principal dont l'orientation est Nord-Est Sud-Ouest.

Carte des écarts réduits

La carte des écarts réduits des données de 1990, nous renseigne sur les valeurs de l'erreur d'estimation. (fig. 37)

Ainsi, nous pourrions remarquer les valeurs nulle au centre, les valeurs négatives de l'ordre de -1 sont situés au niveau de Djebel Trek El Touires. Ceux de -0,2, sont au Nord de la ville de Mostaganem. Ils représentent les zones d'alimentation.

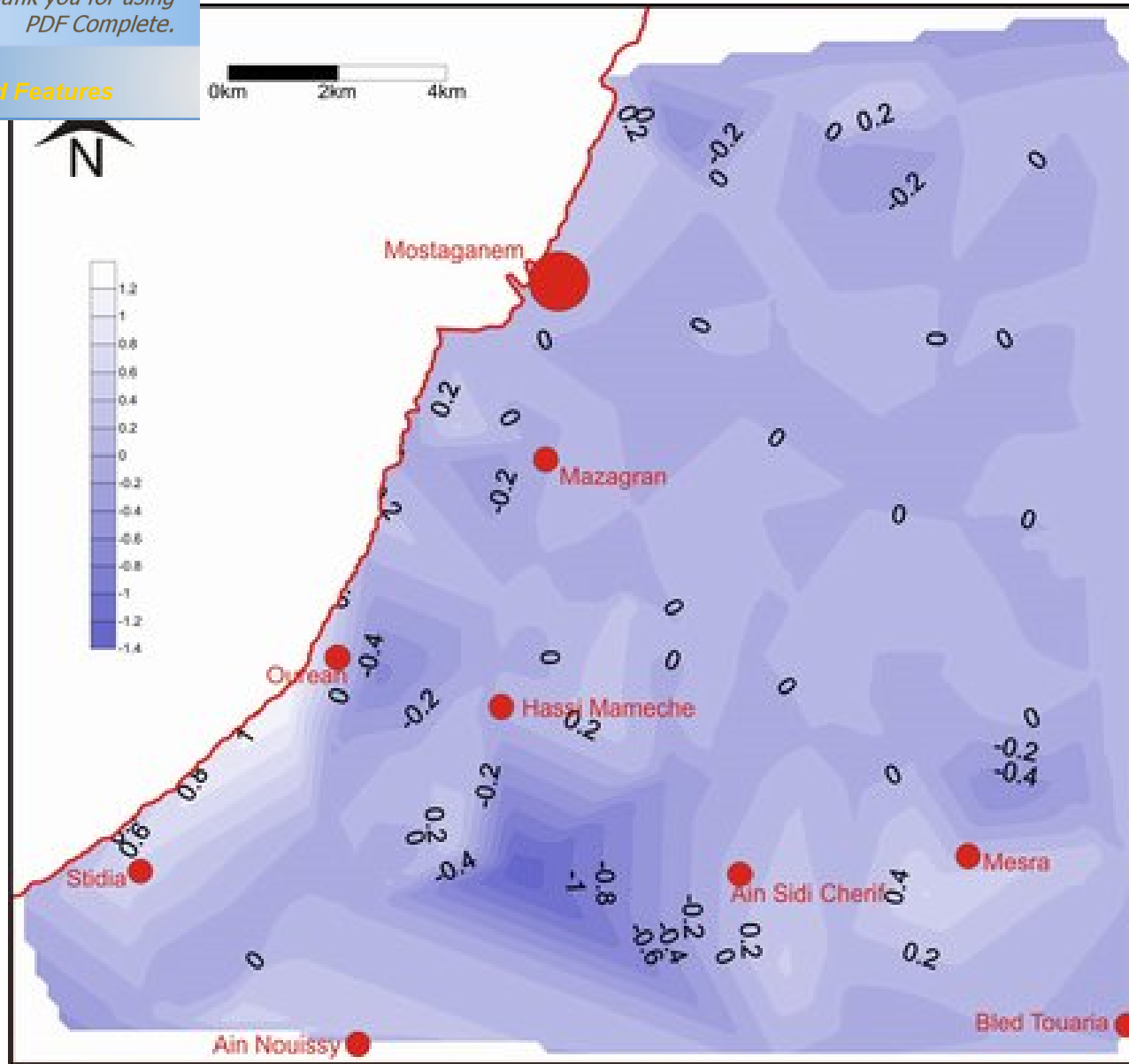


Fig.37 : Cartes des valeurs des écarts réduits. (1990)

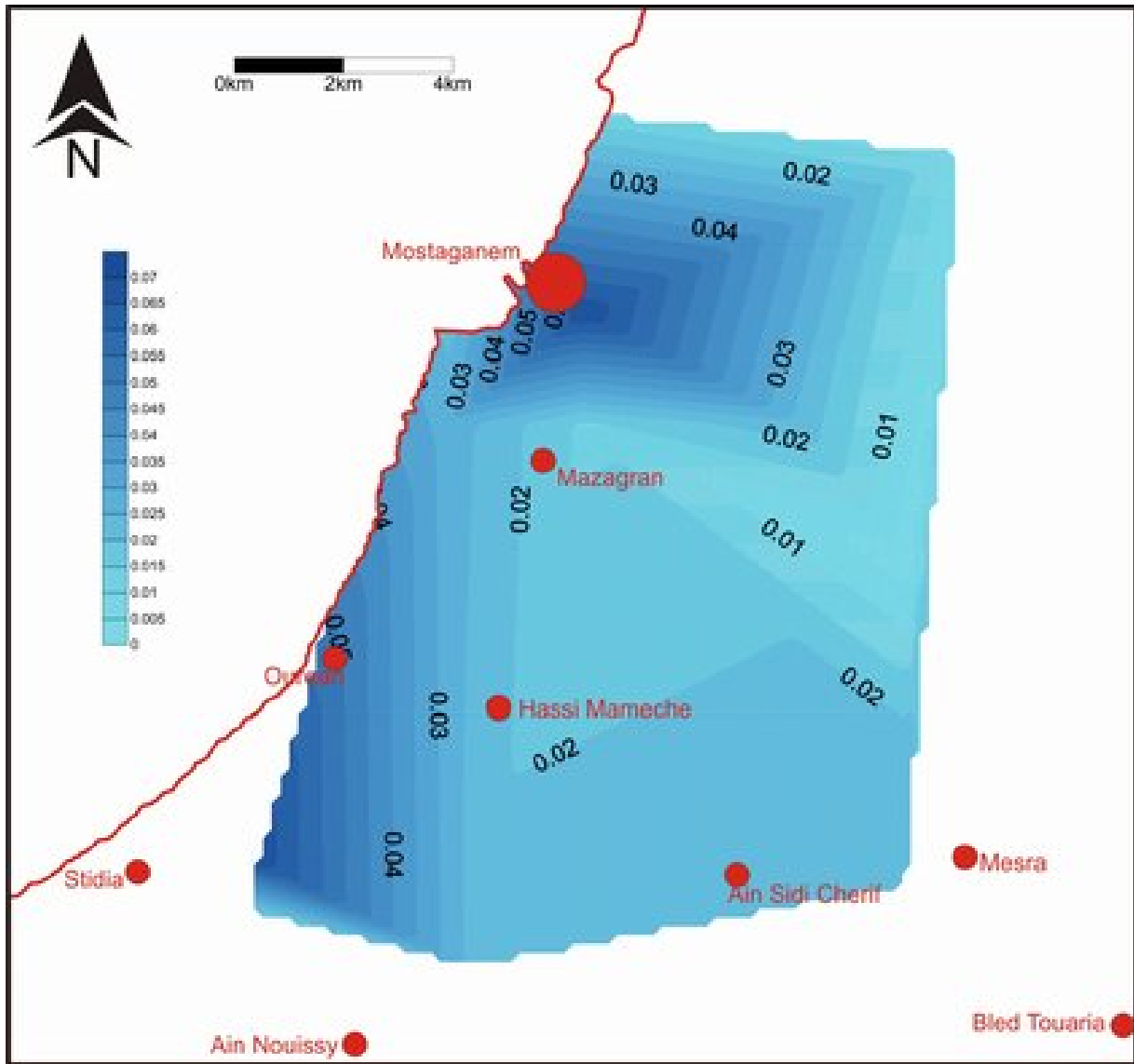


Fig.38 : Carte des gradients hydrauliques.(1990)

Cette carte (fig.38) a été réalisée aussi à partir de la carte des valeurs de la charge hydraulique krigées. Nous remarquons une forte élévation du gradient hydraulique vers le centre ($70 \cdot 10^{-3}$), ces valeurs diminuent au fur et à mesure vers le Nord-Ouest et le Sud-Est, jusqu'à ($10 \cdot 10^{-3}$).

Plus les valeurs sont grandes et plus nous nous approchons des zones d'alimentation et moins elles le sont et plus nous concluons à ce que ces zones sont de bonne transmissivité et de fortes perméabilité.

x cartes krigées

interpolées de 1970 et celle de 1990. Nous avons pu constater une régression vers la terre des courbes de niveau qui sont près de la côte. Le dôme qui représente une zone d'alimentation entre Ain Sidi Chérif et Ain Nouissy n'est pas aussi ramassé qu'en 1970, il est plutôt allongé. Ça révèle une faible pente. Nous avons calculé ce retrait dû à la surexploitation, et nous l'estimons à $5,75\text{m}^3/\text{m}$ de rabattement.

D'autre part, nous rappelons qu'une carte de fluctuations de la nappe du plateau entre 1990 et 1970, a déjà été réalisée par BAICHE (1994) (fig. 39). Cette carte avait mis en évidence une diminution du niveau piézométrique allant de 0 à 13m près des zones de pompages.

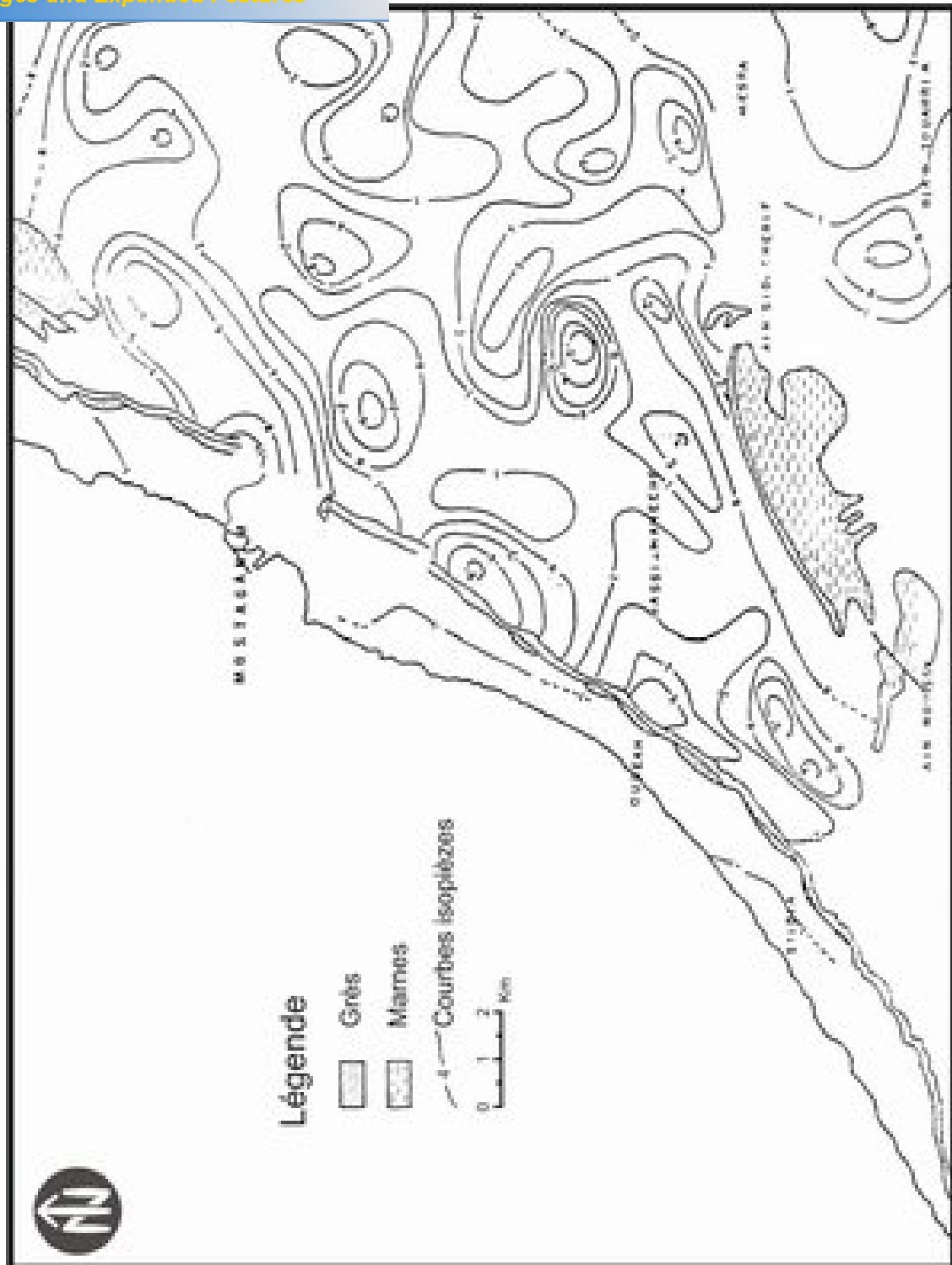


Fig. 39 : Carte de fluctuation entre 1970 et 1990 (BAICHE, 1994)



*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

CONCLUSION

Le nombre de données a été de grands secours pour faire une étude concise. La nappe du plateau de Mostaganem étant fort importante, le procédé de notre étude a été d'abord d'élaborer les cartes piézométriques illustrant le comportement de la charge hydraulique, grâce à la méthode de triangulation linéaire, des données mesurées sur le terrain. Ensuite nous avons effectué une étude variographique.

Pour obtenir de bonnes cartes il a fallu combiner trois modèles mathématiques, cette combinaison a démontré qu'il est possible d'obtenir de très bons résultats pour modéliser au mieux la réalité de notre nappe. Car c'est grâce aux variogrammes modélisés que nous avons pu réaliser le krigeage de la charge hydraulique. Ces dernières sont venues corroborer les cartes piézométriques construites par leurs auteurs. Nous avons remarqué dans ce travail leur quasi-similitude.

Nous avons remarqué que le système du krigeage prend bien en considération les éléments suivants :

- Position relative du domaine à estimer et des points expérimentaux.
- Position relative des points expérimentaux entre eux
- Structure du phénomène à travers le variogramme.

Aussi rappelons les caractéristiques du krigeage qui est :

- Linéaire, sans biais, à variance minimale, par construction.
- Un interpolateur exact.
- Effet d'écran.
- Effet de lissage.
- Transitifs (cohérence des estimés). (MARCOTTE, 2003)

Le krigeage est un interpolateur exact, car lorsqu'un point x_0 coïncide avec un point expérimental, la solution du système est $\lambda_i = 1$ et $\lambda_j = 0$ pour $j \neq i$ et donc $Z_0 = Z(x_0)$ et la variance $\sigma^2 = 0$. On peut donc dire que. (ELMANSOURI, 1993)


Le système du krigeage et sa variance, ne font intervenir que la structure et la configuration géométrique des données et du domaine à estimer. Cette variance ne dépend pas des valeurs expérimentales. Et nous avons pu le confirmer, grâce à la réalisation des cartes des valeurs de la charge hydraulique krigées.



La validation croisée nous a permis d'approuver notre modèle de par la corrélation des valeurs mesurées avec celles qui ont été calculées. Nous avons pu, aussi, illustrés des cartes de gradient hydraulique où les valeurs élevées restent les zones d'alimentation qui sont les dômes et les limites géologiques, et les valeurs faibles, les bons endroits pour implanter des ouvrages d'exploitation de la nappe du plateau de Mostaganem.

Mais ce qui reste le plus intéressant dans ce travail a été la constatation faite en superposant nos deux cartes krigées. La régression de la nappe du plateau de Mostaganem est significative, et est dénoncée par sa surexploitation. En principe, la baisse de $5\text{m}^3/\text{m}$ de rabattement de la nappe devrait être prise en compte pour une meilleure gestion de cet aquifère.

Cette étude reste ouverte à d'autres perspectives.



*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

BIBLIOGRAPHIE

- 1- **ARMSTRONG M.**, (1984). Improving the estimation and modelling of the variogram. G. Verly and al. editors, Geostatistics for Natural Resources Characterization, pp. 1-19. D. Reidel, Dordrecht, NL.
- 2- **BAICHE A.**, (1994). Hydrogéologie de la région de Mostaganem. Thèse magister. UNIV. Oran, 422p, 158fig.
- 3- **BENCHOUK M.**, (1994). Analyse Factorielle Krigeante de Données de Prospection Géochimique Multi-élémentaire ; Prospection de l'Or de Fourou, Mali (Zone sur Echantillonnée Nord-Est). Mém. de Magistère. Ecole Nationale Polytechnique.
- 4- **BOULAINE J.**, (1957). Etude des sols des plaines du Cheliff. Thèse d'Etat de l'Université d'Alger, 582 p.
- 5- **BOUZERRA F. et SAIBI H.**,(2000). Contribution à l'étude hydrogéologique du Plateau de Mostaganem. Approche de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution. Mem. Univ. Houari Boumediene, Alger.
- 6- **CHAUVET P.**, (1999). Aide-mémoire de géostatistique linéaire. Les Presses de l'Ecole des Mines de Paris. P364
- 7- **CHILES J.P. et DELFINER P.**, (1999). Geostatistics : Modeling spatial uncertainty, Wiley Series in Probability and Statistics, Wiley.
- 8- **DAHMANI N.**, (2005). Contribution à l'étude géostatistique et hydrogéologique du Plateau de Mostaganem. Ing. Univ. Essenia, Oran.
- 9- **DALLONI M.**, (1939). Géologie appliquée à l'Algérie. Edition MASSON et C^{ie}.
- 10- **DE JEKHOWSKY B.**, (1977). Eléments de statistique à l'usage des géologues. Ed. TECHNIP. P153-182.
- 11- **DELHOMME J.P.**, (1976). Applications de la théorie des variables régionalisées dans les sciences de l'eau (variabilité spatiale des grandeurs hydroclimatiques et hydrogéologiques & précision de leur connaissance). Thèse de doct. Ing. Université Pierre et Marie Curie Paris-6. p176, fig. 61
- 12- **DELTEIL J.**, (1974). Tectonique de la chaîne alpine en Algérie, d'après l'étude du Tell Oriental (Monts de la Mina, Beni-Chougrane, Dahra). Thèse doctorat es-science, Nice. 294p.
- 13- **DEUTSCH C. V. and JOURNEL A.G.**, (1992). GSLIB: Geostatistical Software Library, User's Guide – Version 1.2. Oxford University Press, N.Y., U.S.A.
- 14- **EL MANSOURI B.**, (1994). Structure et modélisation quantitative de l'aquifère de Berachid (MAROC). Validation par l'approche géostatistique. *Annexe IV*. La géostatistique linéaire .p 212-226.
- 15- **GAUCHEZ J.**, (1981). Etude hydrogéologique du plateau de Mostaganem (Algérie). Doct. 3^{ème} cycle, Univ. Claude BERNARD, Lyon, France. Tome1, p.125, fig.37, tab.22, photo 20.
- 16- **ISAACS E. H. and SRIVASTA R. M.**, (1989). – Applied Geostatistics. Oxford University Press, N.Y., U.S.A.

REGHTS **Ch. J.**, (1978, 1981). Mining Geostatistics.
. United States edition published by Academic Press, Inc,

- 18- **MARCOTTE D.**, (2003). Krigeage. École Polytechnique - GLQ3401
- 19- **MATHERON G.**, (1970). La théorie des variables régionalisées et ses applications. Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique de Fontainebleau, Fascicule 5, p212.
- 20- **MATHERON G.**, (1982). pour une analyse krigeante des données régionalisées. Internal note N°-732. Centre de Géostatistique, Fontainebleau, France.
- 21- **MYERS D. E.**, (1990). Estimation of linear combinations and cokriging. Mathematical Geology, 15(5), 633–637.
- 22- **MYERS D. E.**, (1989). To be or not to be...stationary? That is the question. Mathematical Geology, 21(3), 347-362.
- 23- **OLIVER M. A.** and **WEBSTER R.**,(1990). Statistical methods in soil and land resource survey. Oxford University Press, N. Y., U.S.A.
- 24- **PERRODON A.**, (1957). Etude géologique des bassins néogènes sublittoraux de l'Algérie occidentale. Bull. Serv. Carte géol. Algérie. Bull n°112, 328p. 95fig. 4pl. photo.
- 25- **SN REPAL**, (1952). Le Bassin Néogène Du Chéelif. Monographie Régionale. 1^{ère} série : Algérie – n°16. XIXe Congrès Géologique International. P 48
- 26- **THOMAS G.**, (1985). Géodynamique d'un bassin sédimentaire intramontagneux, le bassin du bas Chéelif occidental (Algérie) durant le Mio-Plio-Quaternaire. Thèse Doct. Académie de Bordeaux. P216.
- 27- **ZEROUALI A.**, **EL MESLOUHI M.R.**, (1994). Elaboration de la vulnérabilité moyennant la méthode DRASTIC et le système d'information géographique (SIG) (cas de la nappe de SOUSS CHTOUKA) Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability. Volume n°16 Ed. de l'IAH.

Quelques sites consultés

cg.ensmp.fr/bibliotheque/public/CHILES_These_00401.pdf

newton.mat.ulaval.ca/theses/S-Baillargeon_05.pdf

geo.polymtl.ca/~marcotte/glq3402.html

geo.polymtl.ca/~marcotte/glq3401geo/chapitre2.pdf

geo.polymtl.ca/~marcotte/glq3401geo/chapitre5.pdf

www.mines.inpl-nancy.fr/geoingenierie/wp/wp-content/uploads/2008/10/4krigeage.pdf -

horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_7/b_fdi_51-52/010015169.pdf

www.adcis.net/fr/Products/Modules/Kriging.html

www.springerlink.com/index/M8P8810149K1N75J.pdf



PDF
Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Bibliographie



*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

ANNEXES

Données de la campagne piézométrique de 1970

X	Y	Z	Estimée	Résidu	Ecart réduit
286,15	303	170	190,089611	20,0896114	0,2253209
287,1	302,8	180	180,203741	0,20374088	0,00228512
287,35	302,9	180	178,982252	-1,01774802	-0,01141485
287,4	302,85	180	180,337146	0,33714593	0,00378136
288,05	302,5	185	178,923258	-6,07674208	-0,06815547
287,95	301,95	195	192,079558	-2,92044217	-0,03275507
288,225	302,2	190	178,345162	-11,6548381	-0,13071824
288,35	302,3	170	186,563636	16,5636363	0,1857743
288,65	302,3	180	162,086532	-17,9134681	-0,20091373
289,45	302,3	130	165,759881	35,7598814	0,40107539
289,45	309,7	180	118,622502	-61,3774983	-0,68839724
289,625	301,7	170	168,465508	-1,53449208	-0,01721054
289,675	301,7	170	168,290204	-1,70979555	-0,01917671
289,925	301,9	150	165,049277	15,0492774	0,16878956
291	301,3	210	213,320026	3,32002565	0,03723672
291,11	300,9	235	227,915347	-7,08465326	-0,07946
291,18	300,75	235	237,436078	2,43607757	0,02732254
291,41	300,2	245	235,683214	-9,31678579	-0,10449513
280,66	302,95	225	243,089949	18,0899486	0,2028931
280,87	302,8	240	214,918888	-25,081112	-0,28130453
282,22	303	160	209,069656	49,069656	0,55035505
285,13	303	200	182,860361	-17,1396391	-0,19223462
272,525	304,49	290	199,605118	-90,3948819	-1,01385018
274,02	304,48	205	267,509958	62,5099577	0,70109867
275,66	302,2	260	194,473079	-65,5269214	-0,73493631
275,95	302,22	148	257,03828	109,03828	1,22295065
278,21	302,62	255	236,418269	-18,5817311	-0,20840883
279,4	303,2	270	237,724985	-32,2750147	-0,36198985
271,9	302,4	170	221,390203	51,3902026	0,57638181
267,6	300,8	200	142,961536	-57,0384638	-0,63973154
264,5	297,3	5	41,2687999	36,2687999	0,40678331
264,1	296,7	2	3,29410341	1,29410341	0,01451439
266,4	298,15	150	120,075076	-29,9249243	-0,33563172
268,65	285,15	210	135,419264	-74,580736	-0,83648201
268,79	285,4	140	189,983089	49,9830889	0,56059992
263,7	283,51	165	202,488492	37,4884919	0,42046312
267,85	285,3	180	165,943582	-14,0564183	-0,15765386
267,5	285,17	160	193,120004	33,1200039	0,37146707
266,88	285,08	205	188,183953	-16,8160475	-0,18860529
266,2	284,11	235	157,44508	-77,55492	-0,86983984
265,7	284,5	170	228,665838	58,6658383	0,65798383
265	284,54	230	215,011549	-14,988451	-0,16810735
264,62	284,58	240	230,795915	-9,2040854	-0,10323111
264,29	284,48	225	251,981815	26,9818148	0,30262242
264,18	284,28	245	223,570416	-21,4295836	-0,24034975
263,84	284,4	270	238,023716	-31,976284	-0,35863934
263,04	284,1	263	216,334055	-46,6659447	-0,52339552
263	283,67	200	235,169739	35,1697386	0,39445647
252,85	283,5	190	19,2172078	-170,782792	-1,91546425
262,92	282,67	150	192,630579	42,6305795	0,47813571

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

				46,6725318	-0,5234694
				44,1123278	-0,49475469
267,925	286,53	215,7	201,446212	-14,2537879	-0,15986752
266,53	286,6	255,95	162,526776	-93,4232238	-1,04781543
267,07	287,15	133,38	234,973121	101,593121	1,1394473
263,75	287,63	133	135,463562	2,46356185	0,0276308
263,3	287,57	132,76	131,795008	-0,96499217	-0,01082315
262,57	285,3	131,97	160,975744	29,0057441	0,32532239
261,85	285,12	131,97	125,432671	-6,53732867	-0,07332132
261,85	284,8	129,94	140,741312	10,8013122	0,12114527
260,8	284,2	128,45	133,48655	5,03655005	0,0564889
262,05	286,75	132,79	141,499767	8,70976672	0,09768693
260,175	285,5	133,21	128,061807	-5,14819316	-0,05774106
259,85	284,75	127,18	127,148501	-0,03149864	-0,00035328
260	284,22	125,61	125,967996	0,35799648	0,00401521
258,6	282,91	113,55	106,692442	-6,85755849	-0,07691295
258,35	282	81,39	96,414102	15,024102	0,1685072
263,3	288,5	131,64	132,338318	0,69831758	0,00783218
263,8	289,2	131,85	130,857395	-0,99260457	-0,01113285
262,65	287,85	132,49	137,96744	5,47743991	0,06143383
260,98	287,12	162	107,829045	-54,1709546	-0,60757015
258,8	284,025	121,1	114,390609	-6,70939058	-0,07525113
257,225	283,125	105,09	98,5247899	-6,5652101	-0,07363403
256,85	282,6	100,3	99,7367069	-0,56329309	-0,00631778
257,375	282,05	95,05	92,1060148	-2,94398521	-0,03301913
255,3	281,9	88,37	91,505971	3,13597098	0,0351724
261,91	289,85	141,27	87,9227626	-53,3472374	-0,59833151
264,175	290,57	130,83	131,744589	0,9145895	0,01025785
263,5	289,7	131,79	135,589806	3,79980642	0,04261784
264,35	288,4	133,49	133,856034	0,36603405	0,00410536
265,27	287,812	152,87	171,29708	18,4270804	0,2066743
267,98	288,83	191,51	183,494778	-8,01522215	-0,08989706
267,32	288,77	189,25	187,671764	-1,57823551	-0,01770116
268,03	282,14	42,65	46,687369	4,03736898	0,04528229
270,9	282,87	47,785	47,3717839	-0,41321614	-0,00463455
271,68	281,9	47,34	46,6483759	-0,69162414	-0,00775711
274,87	281,27	54,7	66,1569409	11,4569409	0,12849866
274,975	281,98	68,06	65,7514284	-2,3085716	-0,02589246
274,91	284,83	83,53	89,5987468	6,06874681	0,0680658
274,41	285,22	88,51	103,261169	14,7511695	0,16544605
271,22	284,42	55,72	58,5531749	2,83317492	0,0317763
271,97	282,66	48,56	50,0185301	1,45853014	0,01635857
272,76	282,05	48,89	51,6392479	2,74924786	0,03083499
269,75	281,78	45,18	44,8588065	-0,32119346	-0,00360244
269,83	282,25	46,11	43,5647672	-2,54523276	-0,0285468
270,43	282,625	46,57	46,1933629	-0,37663709	-0,00422428
269,66	283,59	47,85	50,4974011	2,64740106	0,0296927
271	284,85	57,13	83,0349939	25,9049939	0,29054502
268,61	283,025	46,68	62,8148052	16,1348052	0,18096462
269,04	281,175	43,08	40,8161781	-2,26382192	-0,02539056
266,425	288,33	190,56	170,872613	-19,6873869	-0,22080963
265,77	289,82	129,04	141,017929	11,9779285	0,13434195
266,45	290,75	133,85	136,34174	2,49174011	0,02794684
268,3	290,75	181,64	166,957409	-14,682591	-0,16467688

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

				3,32486568	0,037291
				2,45007927	0,02747958
272,14	289,1	181,69	182,134024	0,44402396	0,00498008
271,68	288,31	179,91	178,66889	-1,24111002	-0,01392003
271,92	287,6	172,39	171,524859	-0,86514084	-0,00970324
270,95	286,85	160,27	153,423696	-6,84630363	-0,07678672
269,94	287,8	183,97	184,974972	1,00497151	0,01127155
270,8	288,42	182,65	183,722066	1,07206557	0,01202406
269,075	288,5	191,15	186,765445	-4,38455527	-0,04917626
269,1	287,26	190,48	193,290909	2,81090932	0,03152657
268,43	287,37	203,97	189,788671	-14,181329	-0,15905483
273,25	289,1	178,43	182,269402	3,83940216	0,04306194
272,87	290,375	183,91	184,202615	0,29261509	0,00328191
271,78	291,24	187,84	184,112557	-3,72744295	-0,04180622
273,025	290,75	184,16	184,8552	0,69519993	0,00779722
273,67	290,8	184,89	184,309193	-0,58080692	-0,00651421
268,57	286,78	199,15	197,25585	-1,89415031	-0,0212444
268,85	286,26	168,01	171,920199	3,91019866	0,04385597
269,75	285,73	107,5	143,882276	36,3822761	0,40805604
270	286,47	154,39	143,447949	-10,9420508	-0,12272376
273,875	286,47	161,95	151,621187	-10,3288125	-0,11584581
272,52	286,2	161,84	128,080818	-33,7591821	-0,37863596
272,725	287,71	173,64	174,211432	0,57143198	0,00640906
274,32	288,26	180,32	183,277019	2,9570194	0,03316531
265,9	291,44	132,42	129,566519	-2,85348112	-0,03200405
264,12	292,64	124,75	107,945437	-16,8045634	-0,18847649
265,3	292,32	129,94	131,82183	1,88182951	0,02110621
267,13	292,67	134,13	132,185194	-1,94480647	-0,02181254
266,52	293,54	131,23	131,768151	0,53815075	0,00603579
268,09	293,52	134,19	134,369285	0,17928514	0,00201082
267,2	294,54	131,51	130,028615	-1,48138509	-0,01661491
272,51	292,63	180,62	181,742016	1,1220155	0,01258429
272,95	293	180,13	181,824636	1,69463625	0,01900669
274,18	293,72	185,32	184,140592	-1,17940796	-0,01322799
275,08	292,57	184,26	186,526688	2,26668751	0,0254227
273,64	291,12	185,1	184,688246	-0,41175436	-0,00461815
271,4	293,69	174,29	175,849783	1,55978259	0,0174942
270,15	291,76	182,32	182,341152	0,02115151	0,00023723
264,455	291,24	128,69	132,417826	3,72782573	0,04181052
273,9	294,72	186,56	184,440571	-2,11942935	-0,02377108
272,86	295,19	180,84	181,518253	0,67825293	0,00760714
271,53	295,57	173,24	166,234016	-7,00598437	-0,07857766
269,53	295,32	135,64	139,417827	3,77782731	0,04237132
268,05	296,51	131,88	130,050423	-1,82957749	-0,02052016
268,87	297,24	134,48	131,989731	-2,49026851	-0,02793033
268,74	299	133,55	135,4135	1,86350047	0,02090063
269,28	299,56	134,14	147,176479	13,0364791	0,14621444
274,7	295	187,1	188,33302	1,23302028	0,0138293
270,52	298	136,57	149,981297	13,4112974	0,15041832
269,74	296,7	135,75	141,53797	5,78797041	0,06491667
271,4	297,98	172,58	163,04508	-9,53492034	-0,10694168
271,8	296,94	176,26	170,665153	-5,59484677	-0,06275064
273,32	297,4	187,28	188,64323	1,36323023	0,01528971
274,34	298,29	197,26	196,475463	-0,78453662	-0,0087992



Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

				3,37548218	-0,03785871
				4,56663045	-0,05121838
269,4	294,59	134,88	141,764511	6,88451124	0,07721524
267,52	292,04	133,68	142,498125	8,81812454	0,09890225
270,86	299	142,16	157,521554	15,3615537	0,17229199
271,79	298,83	180,15	172,035756	-8,11424389	-0,09100767
272,36	297,83	179,92	185,202683	5,28268326	0,05924948
271,58	300,2	181,56	169,79845	-11,7615495	-0,13191509
275,14	299,14	204,66	206,923916	2,26391595	0,02539161
274,44	300,62	232,76	236,041457	3,28145737	0,03680414
274,89	297,34	193,97	188,754821	-5,21517897	-0,05849236
265,44	294,29	120,12	105,643144	-14,4768562	-0,16236941
264,91	293,15	123,71	125,89551	2,18551014	0,02451223
262,62	294,51	7,37	2,95197601	-4,41802399	-0,04955164
262,62	292,91	22,33	51,6465206	29,3165206	0,32880799
261,83	292,47	25,94	12,6788992	-13,2611008	-0,14873375
261,63	293,64	3,13	-10,8756896	-14,0056896	-0,1570849
260,86	291,52	1,03	24,2756383	23,2456383	0,26071824
266,7	298,26	135,97	150,024024	14,0540236	0,157627
267,3	296,66	125,53	124,889202	-0,64079846	-0,00718706
267,28	297,1	127,24	123,261338	-3,97866184	-0,04462384
263,56	295,48	2,03	16,0112453	13,9812453	0,15681074
263,27	291,28	125,82	121,5624	-4,25760035	-0,04775236
259,48	288,83	0,45	18,2091823	17,7591823	0,19918329
259,475	287,89	9,69	48,3979012	38,7079012	0,43413976
256,46	284,875	5,23	40,9272503	35,6972503	0,40037293
255,12	285	0,38	65,9884176	65,6084176	0,73585035
273,95	301,58	245,21	233,315862	-11,8941382	-0,13340218
275,6	301,9	251,72	212,958886	-38,7611142	-0,43473659
278	301,5	234,56	232,081617	-2,47838276	-0,02779703
278,8	301,8	235,5	238,698808	3,19880827	0,03587717
279,55	301,6	226,75	226,527396	-0,22260387	-0,00249668
281,1	302,2	208,08	211,734841	3,6548412	0,04099194
281,75	302,15	201,01	194,5512	-6,45879976	-0,07244055
282,55	302,4	195,18	186,309872	-8,87012802	-0,09948551
283,87	302,2	192,905	197,205167	4,30016673	0,04822977
285,05	301,3	199,155	198,26634	-0,88865963	-0,00996702
283,35	302	195,8	195,163643	-0,6363565	-0,00713724
285,35	302,45	197,73	188,534156	-9,19584423	-0,10313867
284,1	301,55	198,81	199,519055	0,70905537	0,00795262
287,3	302,55	183,55	184,559265	1,00926536	0,01131971
283,25	301,05	199,64	200,546556	0,90655632	0,01016775
276,9	284,825	110,8	105,221636	-5,57836355	-0,06256576
278,85	284,8	128,41	129,13108	0,72107997	0,00808748
277,65	285,71	124,17	124,526999	0,35699862	0,00400402
276,45	287,98	189,45	183,884928	-5,56507213	-0,06241669
275,85	287,025	173,74	162,260296	-11,4797039	-0,12875397
277,6	289,09	187,72	195,590545	7,8705451	0,0882744
278,25	290,05	190,49	196,328335	5,83833487	0,06548155
278,98	288,95	214,05	200,047242	-14,0027584	-0,15705202
280,1	291,43	212,24	207,51358	-4,72642036	-0,05301055
280,13	288	189,41	200,269432	10,8594319	0,12179713
280,375	289,11	204,52	211,953842	7,43384177	0,08337642
279,18	287,58	178,92	175,5413	-3,37869981	-0,03789479

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

				10,9289636	0,12257698
				3,67520861	0,04122037
281,27	287,08	178,3	206,448894	28,1488937	0,31571213
281,12	287,98	228,84	194,155267	-34,6847329	-0,38901674
279,47	289,67	212,54	210,778043	-1,76195712	-0,01976174
281,8	290,33	216,71	221,259187	4,54918678	0,05102273
282,448	289,825	232,66	227,110859	-5,5491407	-0,06223801
282,19	298,35	204,96	204,0561	-0,90390048	-0,01013796
282,07	297,9	203,88	207,670156	3,79015568	0,0425096
281,9	295,4	225,56	220,341913	-5,21808702	-0,05852498
280,75	295,15	208,06	209,228874	1,16887433	0,01310985
279,61	295,725	198,53	197,355316	-1,17468394	-0,01317501
278,96	294,48	196,41	195,941837	-0,46816299	-0,00525082
277,475	294,22	191,87	191,775575	-0,09442542	-0,00105906
277,65	293,08	191,31	190,604803	-0,70519713	-0,00790934
279,25	292,38	194,74	196,570872	1,83087164	0,02053468
280,25	293,72	199,65	207,519138	7,86913799	0,08825861
281,35	292,25	217,47	216,583842	-0,88615847	-0,00993897
282,325	292,44	219,47	219,749298	0,27929831	0,00313255
283,25	292,77	221,48	221,708854	0,22885375	0,00256678
283,56	293,12	222,81	223,216497	0,40649738	0,00455919
281,33	300,55	204,93	203,845769	-1,08423091	-0,01216051
280,48	299,875	203,04	204,513235	1,47323497	0,0165235
279,375	299,075	202,15	201,331041	-0,81895905	-0,00918527
279,49	298,425	201,22	201,130074	-0,08992568	-0,00100859
280,53	298,25	201,88	201,957767	0,07776678	0,00087222
281,17	298,79	203,28	202,507936	-0,77206419	-0,00865931
280,13	297,5	200,62	199,751042	-0,86895775	-0,00974605
279,28	299,75	203,15	205,209794	2,05979449	0,02310223
278,23	300,825	218,25	220,893004	2,64300377	0,02964338
276,575	299,45	208,28	203,327938	-4,95206189	-0,0555413
276,55	298,17	184,72	199,793004	15,0730043	0,16905568
277,05	297,47	197,54	190,639494	-6,90050612	-0,07739464
276,12	294,48	189,47	189,227012	-0,24298763	-0,0027253
275,8	291,95	186,66	186,357839	-0,30216097	-0,00338897
277,225	291,98	188,89	188,70293	-0,18707033	-0,00209814
276,52	291,4	187,3	187,354591	0,05459069	0,00061228
278,76	291,58	192,3	195,228816	2,92881638	0,03284899
281,12	291,44	215,79	216,313738	0,52373767	0,00587413
282,87	291,47	220,23	223,815902	3,58590195	0,04021873
284,35	291,3	239,11	230,896801	-8,21319889	-0,09211753
285,36	291,67	235,16	237,925842	2,76584154	0,0310211
286,27	292,3	238,78	236,122865	-2,657135	-0,02980187
288,22	292,8	239,85	240,067581	0,21758055	0,00244034
288,41	293,825	240,08	239,271329	-0,80867075	-0,00906988
288,5	294,75	235,42	237,13058	1,71057954	0,0191855
288,29	295,975	234,85	234,856824	0,00682418	7,6539E-05
290,1	295,72	232,78	232,554103	-0,22589669	-0,00253361
290,82	297,225	223,92	230,875379	6,95537917	0,07801008
287,075	300,57	195,75	207,478687	11,7286875	0,13154652
284,67	298,815	229,8	223,952455	-5,84754543	-0,06558485
287,91	299,4	217,54	226,968662	9,42866168	0,10574991
290,7	299,55	236,87	241,227855	4,35785489	0,04887679
290,275	298,875	237,57	235,944298	-1,62570217	-0,01823354

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

				2,91174236	0,0326575
				0,69518952	-0,0077971
285,8	298,625	237,4	233,402754	-3,99724567	-0,04483228
276,1	300,925	225,41	219,548043	-5,86195731	-0,06574649
285,525	300,625	201,02	205,02166	4,00165987	0,04488178
277,12	300,57	216,25	221,113478	4,86347751	0,05454775
283,67	300,2	201,67	202,691024	1,02102422	0,0114516
283,05	299,5	202,27	205,058571	2,78857136	0,03127604
282,7	299,93	203,21	201,747451	-1,46254895	-0,01640364
293,1	295,66	205,06	214,911687	9,85168677	0,11049447
294,51	296,48	208,32	221,716366	13,3963661	0,15025085
297,15	297,25	284,98	198,481473	-86,4985274	-0,97014948
294,4	295,25	209,67	221,268435	11,5984345	0,13008563
293,52	294,175	213,11	226,211657	13,101657	0,14694546
291,68	292,9	222,87	226,389389	3,51938866	0,03947273
291,03	292	228,6	249,610669	21,010669	0,23565129
288,33	291,345	238,71	254,151607	15,4416067	0,17318985
284,68	290,42	233,45	248,61117	15,1611704	0,17004453
275,53	282,65	79,3	77,9776353	-1,32236465	-0,01483137
278,36	283,5	120,46	127,157902	6,69790212	0,07512228
277,4	282,275	121,6	104,245786	-17,3542144	-0,19464126
277,94	281,36	126,14	110,757901	-15,3820986	-0,17252242
279,175	282,27	128,33	151,921181	23,5911809	0,26459377
282,38	282,34	179,98	229,867535	49,887535	0,55952821
283,57	284,33	226,23	244,509519	18,2795186	0,20501928
285,63	285,93	270,18	282,264385	12,0843853	0,13553595
286,97	287,38	286,36	289,710766	3,35076571	0,03758149
288,33	287,58	297,74	294,314512	-3,42548777	-0,03841956
286,98	288,46	283,43	292,996716	9,56671603	0,1072983
289,12	289,84	291,13	270,214584	-20,9154164	-0,23458296
284,975	287,8	308,16	260,236797	-47,9232033	-0,53749667
283,7	297,42	236,95	231,682953	-5,26704688	-0,0590741
284,375	294,9	231,92	235,491144	3,57114362	0,0400532
286,56	295,225	235,47	234,778104	-0,69189623	-0,00776016
285,93	296,7	237,79	247,072242	9,28224159	0,10410769
287,25	297,68	245,61	235,375003	-10,2349974	-0,1147936
288,46	300,47	204,08	198,723393	-5,35660684	-0,06007859
284,23	292,6	225	227,615628	2,61562812	0,02933634
290,9	294,38	252,54	217,531431	-35,0085687	-0,39264882
278,4	296,46	197,07	196,537647	-0,53235314	-0,00597076
277,3	296,16	194,5	195,003263	0,50326255	0,00564449
295,64	289,1	241,815	338,960959	97,1459586	1,08956885
293,9	286,8	283,5	332,015307	48,5153074	0,54413759
293,6	290,875	383,72	238,381554	-145,338446	-1,63008576
281,52	293,95	221,53	214,716802	-6,8131975	-0,0764154
280,79	296,49	199,1	205,054645	5,95464529	0,06678606
282,76	294,575	225,42	230,657587	5,23758727	0,05874369
285,835	294,325	231,18	232,582594	1,40259407	0,0157312
284,58	295,98	248,4	236,01432	-12,3856803	-0,13891521
284,02	285,98	261,16	256,868036	-4,2919644	-0,04813778
281,42	283,075	211,58	169,66066	-41,9193399	-0,47015859
286,87	284,72	326,38	324,291453	-2,08854707	-0,02342471
284,725	283,58	283,11	270,337911	-12,7720891	-0,14324909
284,77	282,6	293,53	287,346748	-6,18325188	-0,06935007

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

				30,1281743	0,33791133
				12,5994416	-0,14131271
288,77	284,77	370,32	361,851082	-8,46891751	-0,09498562
289,79	283,8	388,58	396,35175	7,77175009	0,08716633
287,82	282,6	391,345	381,749733	-9,59526677	-0,10761851
288,575	283,275	394,97	390,463194	-4,50680617	-0,0505474
292,16	285,03	370,21	364,750133	-5,45986703	-0,06123673
296,24	286,21	409,18	366,229799	-42,9502014	-0,48172052
295,23	286,98	343,08	319,789354	-23,2906463	-0,26122304
266,38	280,51	34	36,4166566	2,41665664	0,02710472
267,75	276,025	22,21	20,1975689	-2,01243114	-0,02257101
267,16	276,6	21,92	23,0434763	1,12347632	0,01260068
266,57	276,18	19,92	18,1512676	-1,76873237	-0,01983773
264,86	276,27	14,35	13,656018	-0,69398202	-0,00778356
266,49	279,48	30,14	29,5056879	-0,63431212	-0,00711431
267,1	279,74	32,88	32,2923939	-0,58760611	-0,00659047
265,45	279,86	29,5	27,4414619	-2,05853814	-0,02308814
264,37	280,33	29,455	47,5483811	18,0933811	0,2029316
263,1	279,5	26,67	26,7020477	0,03204771	0,00035944
261,44	279,62	35,85	44,6049624	8,75496237	0,09819384
262,74	277,4	15,37	11,9472742	-3,42272581	-0,03838858
262,24	276,19	10,71	9,36796084	-1,34203916	-0,01505203
260,83	276,12	10,03	8,86988055	-1,16011945	-0,01301166
260,41	278,2	18,5	18,3678758	-0,13212422	-0,00148188
259,63	277,63	16,61	14,9211687	-1,68883133	-0,01894158
268,15	279,8	35,85	36,1876216	0,3376216	0,00378669
271,29	279,65	43,555	43,2966499	-0,25835015	-0,0028976
270,85	279	39,85	40,4457946	0,59579461	0,00668231
269,6	277,13	31,335	30,0285669	-1,30643313	-0,01465268
271,05	276,85	31,11	33,0014497	1,89144968	0,02121411
252,62	273,66	11,45	-3,15249243	-14,6024924	-0,16377852
255,58	274,54	9,28	7,07778	-2,20222	-0,02469964
255,66	275,04	9,7	9,36474403	-0,33525597	-0,00376016
255,01	275,02	7,69	12,0103263	4,32032629	0,04845588
254,05	274,93	15,18	12,7499042	-2,43009577	-0,02725545
253,37	275,28	17,385	15,3292504	-2,05574958	-0,02305686
254,25	275,85	14,975	17,2506069	2,27560694	0,02552273
255,37	275,77	13,57	11,9697881	-1,60021192	-0,01794764
256,58	276,64	13,11	14,1725238	1,06252378	0,01191705
273,1	276,4	34,16	38,0860055	3,92600549	0,04403326
272,77	275,6	31,32	28,8951655	-2,4248345	-0,02719644
271,85	276,425	34,08	27,9667408	-6,11325923	-0,06856504
271,3	275,5	18,83	28,4074425	9,57744254	0,1074186
259,54	279,5	26,23	48,2814725	22,0514725	0,24732472
257,96	276,4	10,91	11,593016	0,68301605	0,00766057
256,71	277,81	18,26	15,9979164	-2,26208364	-0,02537106
256,8	278,6	18,24	21,248445	3,00844505	0,03374209
257,4	279,45	24,8	24,7411454	-0,05885465	-0,0006601
254,75	277,62	19,27	32,6191786	13,3491786	0,14972161
254,6	276,67	17,775	16,8695483	-0,90545168	-0,01015536
255,72	276,9	17,37	15,0844715	-2,28552851	-0,02563401
258,1	278,1	18,15	15,8661868	-2,28381316	-0,02561477
257,78	278,78	21,39	19,4038073	-1,98619272	-0,02227672
257,34	276,9	13,48	13,2177448	-0,26225522	-0,0029414



Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

				0,45254146	-0,00507561
				1,51343385	-0,01697436
257,54	275,2	7,58	7,79703749	0,21703749	0,00243425
256,66	275,2	9,74	9,00535615	-0,73464385	-0,00823961
271,2	280,65	48,51	44,0071241	-4,50287588	-0,05050332
272,75	280,5	53,34	46,1588554	-7,18114457	-0,08054222
273,65	279,91	49,12	48,9970956	-0,12290437	-0,00137847
273,96	279,3	48,18	53,4894662	5,30946621	0,05954987
274,43	280,37	54,98	54,5188299	-0,46117007	-0,00517239
272,3	280,75	45,6	50,336305	4,73630497	0,05312141
272,91	279,2	44,61	45,1398438	0,52984379	0,00594262
273,2	278,37	47,74	44,3124101	-3,42758987	-0,03844313
273,15	278,1	44,03	46,4347189	2,40471891	0,02697083
271,7	279,8	44,81	45,100748	0,29074797	0,00326097
270,4	280,7	44,27	45,0035678	0,73356777	0,00822754
269,67	280	41,69	41,1042508	-0,58574921	-0,00656964
247,08	279,78	0,805	70,8089432	70,0039432	0,78514965
247,56	277,71	2,6	5,22298334	2,62298334	0,02941884
250,87	275,52	8,89	8,53967305	-0,35032695	-0,00392919
250,18	278,91	75,98	62,5918022	-13,3881978	-0,15015924
250,62	279,68	86,5	90,2900606	3,79006059	0,04250853
252,53	279,49	78,22	85,1298867	6,90988674	0,07749985
253,15	278,96	75,595	78,2639861	2,66898606	0,02993479
254,42	278,78	82,98	66,3789411	-16,6010589	-0,18619402
254,42	279,53	83,77	84,449062	0,67906198	0,00761622
254,92	280,23	84,565	86,2886911	1,7236911	0,01933256
255,06	281,05	87,33	88,3431224	1,01312235	0,01136297
255,6	280,16	83,5	75,4821705	-8,01782954	-0,08992631
252,56	278,44	69,25	69,0983706	-0,15162936	-0,00170064
253,01	277,92	71,3	60,0772359	-11,2227641	-0,12587219
252,23	276,6	33,27	33,4223554	0,15235538	0,00170879
251,86	274,9	9,51	10,1322026	0,62220258	0,00697849
250,06	276,51	5,5	26,9137894	21,4137894	0,2401726
255,63	278	19,44	21,7234073	2,28340727	0,02561022
257,9	280,24	27,68	51,3813013	23,7013013	0,26582886
265,97	277,44	20,93	21,8773802	0,94738019	0,01062562

zométrique de 1990.

X	Y	Z	Estimée	Résidu	Ecart réduit
254,52	284,11	13,07	8,46961416	-4,60038584	-0,08113555
255,12	285	2,13	-2,69826724	-4,82826724	-0,08515463
256,46	284,875	6,35	41,5339691	35,1839691	0,62052856
255,3	281,9	88,67	58,7930702	-29,8769298	-0,52692998
256,85	282,6	99,37	98,5316295	-0,83837051	-0,01478608
257,225	283,125	103,06	97,3321521	-5,72784793	-0,10102025
258,35	282	81,71	109,896011	28,1860107	0,49710777
257,375	282,05	94,49	97,241425	2,75142496	0,04852601
258,6	282,91	113,49	105,553886	-7,93611413	-0,13996674
258,8	284,025	125,5	118,855572	-6,64442758	-0,11718567
259,25	283,5	119,53	120,747471	1,21747079	0,02147215
260	284,22	124,99	130,072386	5,08238634	0,08963644
259,85	284,75	138,52	128,958814	-9,56118604	-0,16862762
260,8	284,2	127,49	125,752635	-1,73736455	-0,03064135
261,85	285,12	128,63	124,491127	-4,13887265	-0,07299599
262,57	285,3	130,77	151,017608	20,2476077	0,35710066
262,05	286,75	123,12	131,770547	8,65054688	0,15256696
260,8	286	131,72	133,415057	1,6950566	0,02989518
259,475	287,89	11,57	78,1479565	66,5779565	1,1742144
261,22	288,375	149,08	109,675302	-39,4046982	-0,69496822
260,42	287,35	126,34	111,360904	-14,9790957	-0,26418158
263,75	287,63	131	134,5375	3,53749993	0,06238977
263,3	287,57	130,84	128,739918	-2,10008195	-0,03703848
265,975	286,75	224,44	231,748678	7,30867776	0,12890084
266,53	286,6	254,32	233,020042	-21,2999584	-0,37566064
267,07	287,15	236,3	238,097597	1,79759672	0,03170365
267,32	288,77	188,76	195,701239	6,94123946	0,12242045
267,98	288,83	199,06	196,277482	-2,78251847	-0,0490744
266,45	290,75	132,48	140,89787	8,41786965	0,14846331
265,9	291,44	131,66	131,286698	-0,37330221	-0,00662001
264,455	291,24	126,85	132,381984	5,53198433	0,09810222
263,27	291,28	131,39	119,213897	-12,1761034	-0,21592664
264,6	289,57	129,42	130,397642	0,97764188	0,01733715
263,5	289,7	130,74	133,79125	3,05125015	0,05410977
263,8	289,2	131,28	130,559873	-0,7201267	-0,01277047
263,3	288,5	131,62	131,32105	-0,29894952	-0,00530146
264,35	288,4	132,39	131,753939	-0,6360614	-0,01127968
265,85	289,97	142,81	130,118682	-12,6913179	-0,22506327
265,77	289,82	129,71	142,779823	13,0698235	0,23177555
266,425	288,33	188,97	182,347081	-6,62291905	-0,11744847
266,4	287,675	209,08	207,156712	-1,92328774	-0,03410689
267,925	286,53	216,42	211,996248	-4,42375183	-0,07844923
270,95	286,85	155,51	154,414484	-1,09551592	-0,01942749
270,8	288,42	181,45	177,140943	-4,30905732	-0,07641527
269,94	287,8	180,35	181,783003	1,4330026	0,02541235
269,53	289,41	179,68	186,282573	6,60257263	0,11708765
268,95	289,775	185,41	185,863625	0,45362549	0,00804443
268,56	291	177,48	172,522902	-4,95709843	-0,0879074
268,3	290,75	173,57	175,019208	1,44920784	0,02569973
267,13	292,67	134,91	133,076888	-1,83311157	-0,03250774
267,52	292,04	132,47	140,533116	8,06311566	0,1429884

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

				-34,9342991	-0,61951231
				-20,8262297	-0,36932487
				-3,15601311	-0,0559676
272,725	287,71	169,31	174,158618	4,84861827	0,08598365
271,68	288,31	173,18	174,116675	0,9366748	0,01661065
268,43	287,37	220,08	208,079207	-12,0007927	-0,21281775
272,14	289,1	175,73	178,880164	3,15016437	0,05586388
273,25	289,1	178,9	177,878059	-1,02194144	-0,01812274
274,32	288,26	175,56	175,659777	0,09977733	0,00176942
272,87	290,375	182,88	181,158809	-1,72119141	-0,03052299
273,025	290,75	182,06	182,71855	0,65855026	0,01167849
272,73	291,07	182,35	181,561614	-0,78838592	-0,01398095
273,64	291,12	182,29	182,147805	-0,14219478	-0,00252163
273,67	290,8	181,71	182,327104	0,61710365	0,01094349
274,71	290,925	182,73	183,360792	0,630792	0,01118624
275,08	292,57	184,89	186,358576	1,4685759	0,0260432
272,81	292,45	178,55	181,957011	3,40701119	0,06041871
272,95	293	182,22	180,533252	-1,68674774	-0,02991218
272,51	292,63	181,27	180,557494	-0,71250596	-0,01263532
271,4	293,69	174,9	174,811253	-0,08874735	-0,00157381
270,59	292,75	177,28	174,351117	-2,92888259	-0,05193975
268,61	283,025	45,06	70,209269	25,149269	0,4459881
269,66	283,59	47,52	54,8922219	7,37222192	0,13073633
269,83	282,25	49,21	44,6402767	-4,56972329	-0,08103783
269,75	281,78	47,69	45,4217639	-2,26823609	-0,04022408
267,2	294,54	130,54	131,61452	1,07451993	0,01905515
268,03	293,52	135,44	132,701592	-2,73840818	-0,04856195
267,78	294,5	131,24	132,279318	1,03931752	0,01843088
268,82	294,2	130,84	129,834955	-1,00504496	-0,01782311
268,46	295,33	132,61	132,507605	-0,10239488	-0,00181583
269,4	294,59	125,7	136,62131	10,9213096	0,19367458
269,53	295,32	134,46	134,760636	0,30063585	0,00533137
271,53	295,57	164,66	164,025287	-0,63471265	-0,01125577
272,86	295,19	179,03	179,561863	0,53186336	0,00943187
274,7	295	184,81	187,49893	2,68892981	0,04768452
273,9	294,72	183,44	183,199728	-0,24027196	-0,0042609
274,18	293,72	183,01	183,6722	0,66220023	0,01174322
274,89	297,34	192,59	194,57392	1,98391972	0,03518212
273,32	297,4	186,58	182,3069	-4,27310042	-0,07577763
272,36	297,83	173,53	183,041633	9,51163315	0,16867588
271,4	297,98	177,38	165,263995	-12,1160046	-0,21486087
271,79	298,83	176,03	176,634479	0,60447916	0,01071962
268,05	296,51	125,3	131,47077	6,1707696	0,10943021
267,3	296,66	123,67	120,175149	-3,49485053	-0,06197642
267,28	297,1	119,86	123,957168	4,097168	0,07265771
268,74	299	126,34	129,857642	3,5176417	0,06238059
269,28	299,56	131,28	131,066036	-0,2139638	-0,00379436
269,65	298,43	126,76	143,176997	16,4169967	0,29113312
269,7	297,9	151,5	131,739776	-19,7602238	-0,35042071
270,86	299	142,07	162,062504	19,9925045	0,35453989
271,58	300,2	177,01	157,196352	-19,8136479	-0,35136811
274,12	299,2	199,91	203,057186	3,14718579	0,05581106
275,14	299,14	201,44	207,34827	5,90826959	0,10477513
274,44	300,62	224,55	201,250065	-23,2999354	-0,41319268



Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

				19,6272644	0,34806285
				-0,44101979	-0,00782089
				-78,5528269	-1,39302761
268,57	286,78	195,63	197,299099	1,66909915	0,0295992
268,85	286,26	162,71	173,651187	10,9411873	0,19402708
270	286,47	153,27	150,007168	-3,26283165	-0,05786188
269,1	287,26	191,22	189,544611	-1,67538935	-0,02971075
269,075	288,5	189,16	197,878195	8,71819513	0,15460534
270,15	291,76	180,36	179,300836	-1,05916386	-0,01878283
271,78	291,24	181,16	180,951847	-0,20815346	-0,00369132
266,52	293,54	136,84	130,923397	-5,91660254	-0,1049229
265,44	294,29	118,73	112,484343	-6,24565668	-0,11075823
270,9	282,87	46,2	48,1037304	1,90373044	0,03376007
271,68	281,9	45,98	42,6371889	-3,34281111	-0,05928021
274,87	281,27	53,2	62,2562318	9,05623182	0,16059996
274,975	281,98	67,47	57,5213714	-9,94862856	-0,1764254
274,91	284,83	82,43	84,8588031	2,4288031	0,04307152
274,41	285,22	87,38	101,148072	13,7680721	0,24415804
271,22	284,42	54,45	89,7386723	35,2886723	0,62579664
271,97	282,66	47,93	51,9579893	4,02798925	0,07143091
272,76	282,05	48,08	50,1830618	2,10306185	0,03729494
268,48	281,28	45,6	43,9841707	-1,6158293	-0,02865454
260,05	285,58	132,36	130,226438	-2,13356207	-0,03783582
261,85	284,8	126,26	132,455072	6,19507154	0,10986117
262,65	287,85	130,24	132,304622	2,06462207	0,03661327
264,91	293,15	122,73	126,494813	3,76481324	0,06676385
263,2	292,39	103,95	87,255093	-16,694907	-0,29606148
262,62	294,51	7,25	12,51335	5,26334996	0,09333836
262,62	292,91	28,97	53,256482	24,286482	0,43068775
261,83	292,47	24,32	16,9773968	-7,34260323	-0,13021109
261,63	293,64	3,13	-7,37425574	-10,5042557	-0,1862787
260,86	291,52	1,03	18,8669662	17,8369662	0,31631435
264,48	296,88	20,77	43,3386729	22,5686729	0,40022474
265,24	299,5	25,32	39,3988965	14,0788965	0,24967009
265,86	299,58	56,78	49,6524496	-7,12755036	-0,12639742
266,08	297,98	87,25	101,442166	14,1921657	0,25167877
266,7	298,26	135,28	98,5450028	-36,7349972	-0,65144524
264,12	292,64	124,75	118,822626	-5,92737414	-0,10511392