

Estimation de cartes de profondeur conditionnées par des inégalités

Livia BAZZANA⁽¹⁾, Paolo RUFFO⁽¹⁾ et Didier RENARD⁽²⁾

(1) AGIP spa, ELAB Dept., P.O. Box 12069, 20120 Milano, Italie

(2) Ecole des Mines de Paris, Centre de Géostatistique, 35 rue Saint-Honoré, 77305 Fontainebleau, France

Résumé. On a plusieurs façons d'utiliser les données incertaines : on peut remplacer les égalités par des inégalités (supérieur à, inférieur à, compris entre). Selon le type de mesure on peut appliquer différentes méthodologies pour estimer une carte de profondeur. Par exemple, une application typique consiste à estimer une carte de profondeur à partir d'une carte géophysique (utilisée comme dérive externe) et des données de puits. Généralement le géophysicien considère les données aux puits comme exactes, ce qui n'est pas tout à fait correct puisqu'elles découlent de l'interprétation. Le problème est alors de calculer la carte de profondeurs qui respecte la dérive externe, les données exactes et les inégalités. Un autre problème réside dans la détermination d'une carte de profondeur qui respecte l'information du contact eau-huile ou huile-gaz. C'est à nouveau un problème dans lequel on peut dire que ce contact se situe au dessus ou au dessous d'une cote, du fait que le puits n'a pas atteint ce contact. Dans cet article, on résume la méthodologie utilisée pour l'estimation en présence d'inégalités et on décrit des exemples réels d'application.

Abstract. There are several ways of dealing with "uncertain" data : associating some type to each "measurement" and establishing the degree of fuzziness of the known value; using inequalities (greater than, smaller than, lying within an interval) instead of exact values. As a function of the type of measurement, each one of these methods can be usefully applied : for example a very general geophysical application is that of estimating a depth map, starting from a geophysical map (used as a drift map) and the well data. The geophysical habit is to think of the well information as exact data, but this not always true because the depth value of a structural level is in fact not measured but interpreted, using the geological and the geophysical measurements in the well. The problem is therefore to estimate a depth map that respects the drift, the exact well values, the inequalities in the well. Another problem in reservoir estimation is that of finding the oil-water or the oil-gas contacts ; this is again a problem in which we may know, from a well, that the contact is greater than or smaller than, due to the fact that the well has not reached this contact. In this paper, the methodology used for estimation with inequalities is described briefly and some examples of application to real cases are presented.

Table des Matières

INTRODUCTION	24
CARTE DU TOIT D'UNE STRUCTURE	24
CARTE DU TOIT D'UN RÉSERVOIR	25
CARTE D'UN NIVEAU GÉOLOGIQUE INTERMÉDIAIRE	26
CONCLUSIONS	27
ANNEXE	27

INTRODUCTION

L'un des problèmes encore d'actualité en géophysique, consiste en l'estimation d'une carte qui respecte les informations de nature géophysiques et géologique comme par exemple les données sismiques et les valeurs mesurées aux puits.

L'utilisation des méthodes géostatistiques permet d'obtenir ce résultat grâce à la possibilité d'intégrer des données d'origines diverses et de prendre leur relation en considération.

Cet article présente plusieurs exemples d'intégration des mesures sismiques et de données aux puits, en discutant leur problématique respective. Chacune des solutions fait appel à l'estimation par krigeage, en combinant les informations précises (égalités) à des données connues sous forme d'intervalle (inégalités).

Le lecteur pourra se reporter à l'annexe pour un complément d'information concernant les définitions des concepts de géologie structurale.

CARTE DU TOIT D'UNE STRUCTURE

Le but de cet exemple est de déterminer la carte en profondeur du toit d'une couche géologique.

Sans entrer dans les détails, rappelons que l'information géophysique est constituée de:

- la profondeur du toit (mesurée aux puits);
- la carte du temps de parcours du signal sismique, appels réflexion sur le toit ;
- la carte de la vitesse de propagation du signal sismique (estimée d'après l'analyse du signal sismique).

Dans certains cas, la vitesse de propagation du signal est inconnue, soit parce qu'elle n'a pas pu être réalisée à partir des données sismiques, soit parce qu'elle n'a pas été mesurée directement aux puits.

La technique consiste alors à estimer une carte de la profondeur du toit en combinant les valeurs de profondeur aux puits avec la forme définie par la carte des temps sismiques.

Dans cet exemple on dispose d'une carte du temps sismique qui reflète l'allure générale du toit (Figure 1) et de 46 puits où la cote du toit a été mesurée. Pour 13 d'entre eux cependant, cette mesure n'a pas pu être réalisée précisément. Plutôt que de négliger près de 30% de l'information, il est évidemment préférable de faire appel à une méthodologie géostatistique qui permette d'utiliser des données sous la forme d'égalités, d'intervalles (min., max.) ou encore de valeurs limites (sup. ou inf.). Nous utiliserons des intervalles dans le cas d'une couche présentant plusieurs intercalaires calcaires, chacun d'entre eux pouvant représenter le vrai toit. Nous préférons la valeur limite lorsqu'un puits n'a pas atteint le toit (inf.) ou bien si le puits a certainement dépassé la cote du toit mais que les données relatives à l'intervalle de profondeur où se situe le toit sont manquantes (sup.).

En résumé, pour déterminer la carte de la profondeur, il est nécessaire:

- 1) de respecter toutes les informations disponibles aux puits, (égalités, inégalités ou valeurs limites)
- 2) de respecter la forme de la carte du temps sismiques.

A des fins pédagogiques, plusieurs essais ont été réalisés:

en ne considérant que les seules égalités aux puits (Figure 2), la carte ne respecte pas la forme dictée par le temps sismique;

en utilisant les seules égalités aux puits ainsi que la carte du temps comme dérive externe, cette fois la forme est bien respectée mais pas les valeurs des inégalités (Figure 3 et 6)

en utilisant la technique du krigeage en présence d' inégalités les valeurs des puits sont respectées (Figure 4)

en utilisant la technique du krigeage en présence d' inégalités avec la carte du temps comme dérive externe, les deux contraintes sont respectées (Figure 5 et 6)

Cette technique nous permet de renforcer notre connaissance initiale (égalités) avec de l'information complémentaire de moindre qualité (inégalités), ce qui conduit à des résultats plus satisfaisants.

CARTE DU TOIT D'UN RÉSERVOIR

Cette fois encore, le but est de déterminer la profondeur d' un toit d'une structure qui constitue de plus le toit du réservoir. Mais ici, en plus des temps de réflexion, nous disposons de l'analyse des vitesses sismiques, qui nous ont permis de déduire une carte de "profondeur sismique" par la technique de "migration temps-profondeur".

Succinctement, ce procédé permet, à l'aide des temps et de la vitesse relatifs au toit, d' obtenir la profondeur sismique en quelques points géographiques.

Dans la zone du gisement, la migration temps-profondeur a permis d' obtenir 63 valeurs de profondeur sismique qui renforce l' information mesurée en trois puits situés sur la structure. En particulier, l' un des puits fait apparaître des hydrocarbures jusqu' à une profondeur de 3913 m., ce qui implique que le contact eau-huile du réservoir doit se situer à la même niveau ou plus bas. On dira alors que le niveau 3913 constitue la cote minimale du plan d' eau.

On définit la courbe de fermeture comme étant la dernière courbe isovaleur fermée ou encore l' isovaleur la plus profonde à laquelle il soit possible de trouver des hydrocarbures piégés dans la structure. Dans notre cas, la carte du toit obtenue à l'aide des puits et des profondeurs sismiques (Figure 7) est conforme à la géologie mais elle ne montre pas une structure fermée pour une profondeur de 3913 m. En effet, on constate que cette carte présente une courbe de fermeture inférieure à la cote minimale du plan d' eau, ce qui est en contradiction avec l'information recueillie aux puits.

Il ne semble pas possible, dans l' état actuel des choses, d' imposer une condition "a priori" qui garantisse la fermeture de la structure pour une valeur fixée de la profondeur lors de l'estimation. Afin de résoudre ce problème, nous avons réalisé les deux essais suivants.

1 Solution

Sur la carte obtenue par krigeage (globalement satisfaisante), nous avons mis en évidence la zone "d' ensellement" où la contrainte de fermeture n' était pas satisfaite.

En routine, le géophysicien interviendrait en modifiant la carte interactivement.

Nous proposons une méthode analogue, mais plus automatique et reproductible, qui consiste à implanter des puits fictifs dans la zone critique ($z \geq 3913$) et à les utiliser lors d' un krigeage en présence d' inégalités. Le résultat du krigeage est présenté en Figure 8. De par la manière de procéder, les différences avec la carte krigée à partir des seuls vrais puits sont minimales en dehors de la zone de l' ensellement, comme en témoigne la carte des différences (Figure 9). Cette technique est évidemment sensible au nombre arbitraire, à la localisation et à la valeur affectée à ces puits fictifs. Elle pose le problème de la prise en compte des valeurs aux puits fictifs lors de l'inférence statistique.

2 Solution

En repartant de la carte krigée initiale, nous plaçons 4 points de contrôle aux noeuds de la grille dans la zone de l' ensellement. Cette fois, nous construisons un grand nombre (400) de simulations conditionnées aux données. Parmi ces simulations, nous rejetons celles qui ne

satisfont pas à la contrainte d' être plus profond de 3913 aux points de contrôle, et faisons la moyenne des seules simulations restantes ou autorisées (Figure 10).

Nous avons répété le test en réduisant le nombre de puits de contrôle à 2 (Figure 11).

Notons que le nombre de simulations autorisées passe de 26 pour 4 puits de contrôle à 63 pour 2 puits.

Les deux résultats respectent parfaitement la fermeture. Les cartes des différences par rapport à l'estimation par krigeage sont présentées en figures 12 et 13.

CARTE D'UN NIVEAU GÉOLOGIQUE INTERMÉDIAIRE

Le but est de déterminer la carte d' un niveau intermédiaire entre deux cartes structurales connues. Ce niveau correspond à une couche très fine au sein d' une série: cette alternance, généralement d' argiles (imperméables) et de sables (minéralisés) est connue sous le nom de layering. La finesse de ces niveaux intermédiaires explique la mauvaise interprétation à partir des données sismiques. Pratiquement, le géophysicien sera en général capable, sans difficulté particulière, de repérer le toit et le mur de cette série. Pour reconstruire les niveaux intermédiaires, il est nécessaire d' introduire une interprétation subjective utilisant l' information de puits éventuels et de pseudo-parallélisme entre le niveau à reconstruire et le toit ou le mur qui limitent l' ensemble de la série.

L' exemple traité ici a pour but de déterminer la carte du temps d' un niveau intermédiaire qui est, selon les connaissances géologiques, pseudo-parallèle au toit de la série à laquelle il appartient. De plus, le gisement est accolé et fermé par une faille.

Pour une meilleure compréhension, la zone d' intérêt a été restreinte autour de la faille, même si toutes les données du relevé sismique (éventuellement extérieure à la zone d'intérêt) ont été utilisées (Figure 14): c'est dans cette zone en effet que le signal sismique est de moindre qualité et où une erreur pourrait compromettre gravement le calcul des réserves de la structure toute entière.

C' est ce qui nous a conduit à apporter un soin particulier à l'estimation par krigeage de la carte du toit de la série (Figure 15), surtout dans le voisinage de la faille où celui-ci présente un maximum caractéristique lié au processus géologique générateur.

Quant au toit du niveau intermédiaire, nous disposons des temps sismiques interprétés, limités à la zone où le signal sismique est suffisamment de bonne qualité. Puisque la sismique ne permet pas de mesurer la valeur du niveau intermédiaire au voisinage immédiat de la faille, nous avons demandé au géologue de nous fournir un intervalle de valeurs dans lequel pourrait se trouver le contact de ce niveau avec la faille.

Nous avons réalisé plusieurs tentatives:

- à l' aide des données seules (Figure 16)

- en considérant le toit de la série comme dérive externe (Figure 17)

- en rajoutant les intervalles définis le long de la faille comme inégalités (Figure 18)

- en rajoutant les intervalles définis le long de la faille comme inégalités et en utilisant la dérive externe (Figure 19)

A l' examen de ces alternatives, il ressort que l'utilisation des inégalités donne au niveau intermédiaire, au voisinage de la faille, une forme très semblable à celle du toit de la série, (Figure 20 et 21), ce qui est essentiel du point de vue du géologue.

CONCLUSIONS

La première remarque est que l'application des techniques géostatistiques avancées nous ont permis d'utiliser au mieux l'éventail des données disponibles, et par conséquent, d'améliorer les résultats.

Cependant il reste encore des progrès à réaliser afin d'assurer la robustesse de ces techniques en vue de leur utilisation routinière: pour simplifier on pourrait dire que les principes théoriques sont connus, mais qu'il reste à bien définir le cadre de leur utilisation.

Par exemple, à l'heure actuelle, l'usage ne prévoit pas d'extraire de l'interprétation sismique des données sous la forme d'inégalités, en effet en présence d'inégalités on essaye de les remplacer par une valeur certaine.

Du point de vue des outils géostatistiques, on peut dire que l'utilisation de ces techniques devrait permettre de définir une méthodologie opérationnelle qui optimise la qualité des résultats et réduit le temps de travail. Elles devraient permettre au géophysicien d'évaluer la qualité des résultats possibles sur la base de considérations de nature plus qualitative.

ANNEXE

Par *piège structurale* on entend une structure géologique qui permet l'accumulation des hydrocarbures; sa typologie étant liée à sa genèse::

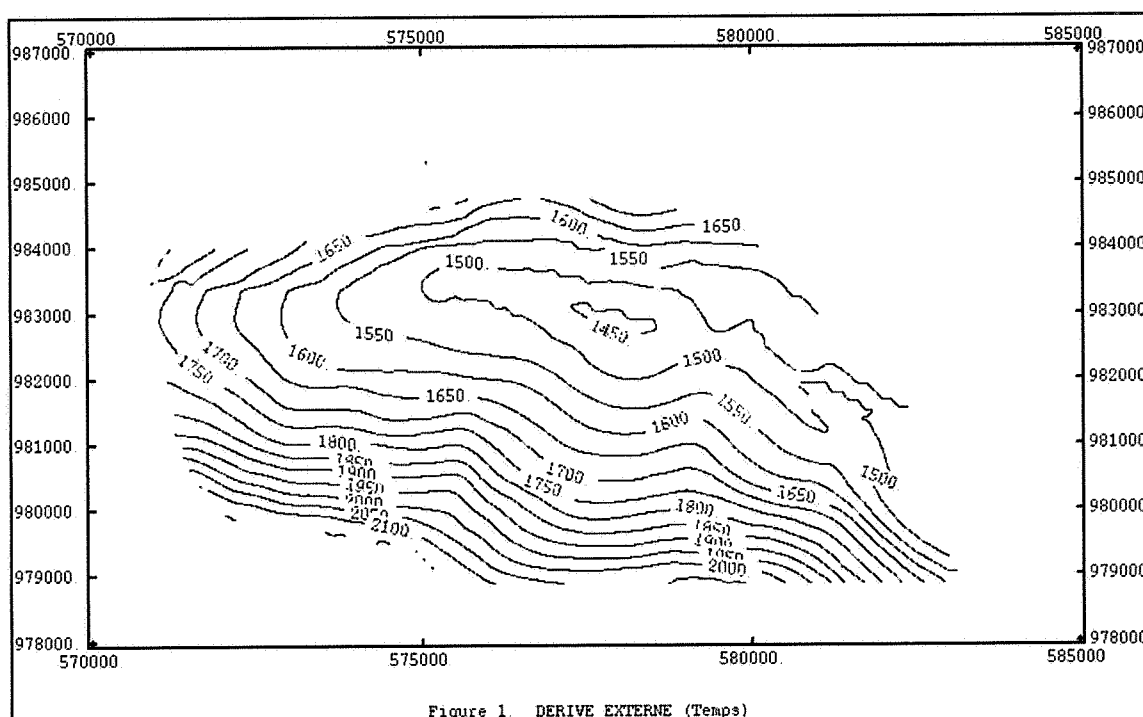
1) *pièges structuraux*: liés aux événements tectoniques qui ont déformé la sédimentologie initiale: le cas la plus fréquent est l'anticlinal (Figure 22)

D'autres types de pièges structuraux sont liés aux failles qui entraînent la mise en contact de sédiments perméables et poreux avec d'autres plus imperméables (Figure 23a, b, c). Leur capacité à retenir les hydrocarbures pendant les temps géologiques est conditionnée par la capacité de la roche imperméable à constituer une fermeture le long du plan de la faille.

2) *pièges stratigraphiques* sont dus à l'implantation particulière au sein d'une série stratigraphique, de sédiments aux propriétés pétrophysiques contrastées.

Des discordances angulaires, qui ont eu lieu pendant la phase de sédimentation, peuvent permettre que des niveaux poreux et perméables soient entrecoupés par des sédiments imperméables. (Figure 24).

3) *pièges complexes* sont des combinaisons de deux précédentes, ils peuvent être générées par la combinaison de contrastes de porosité avec un ensemble de plis et de failles.



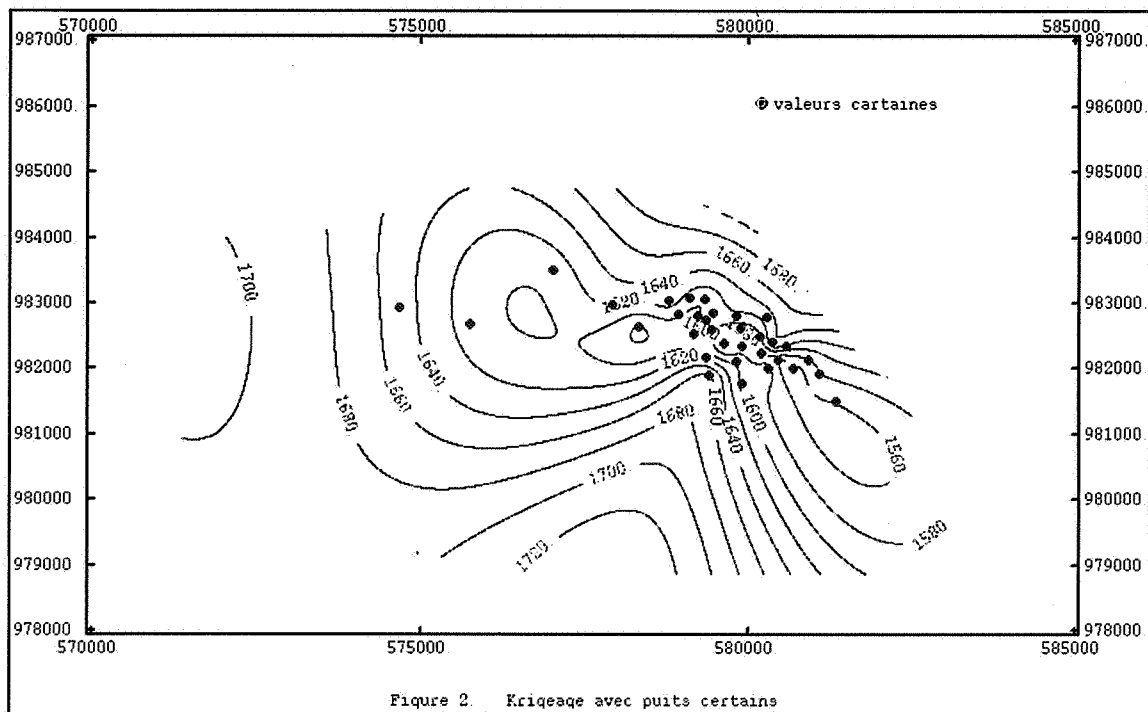


Figure 2. Krigage avec puits certains

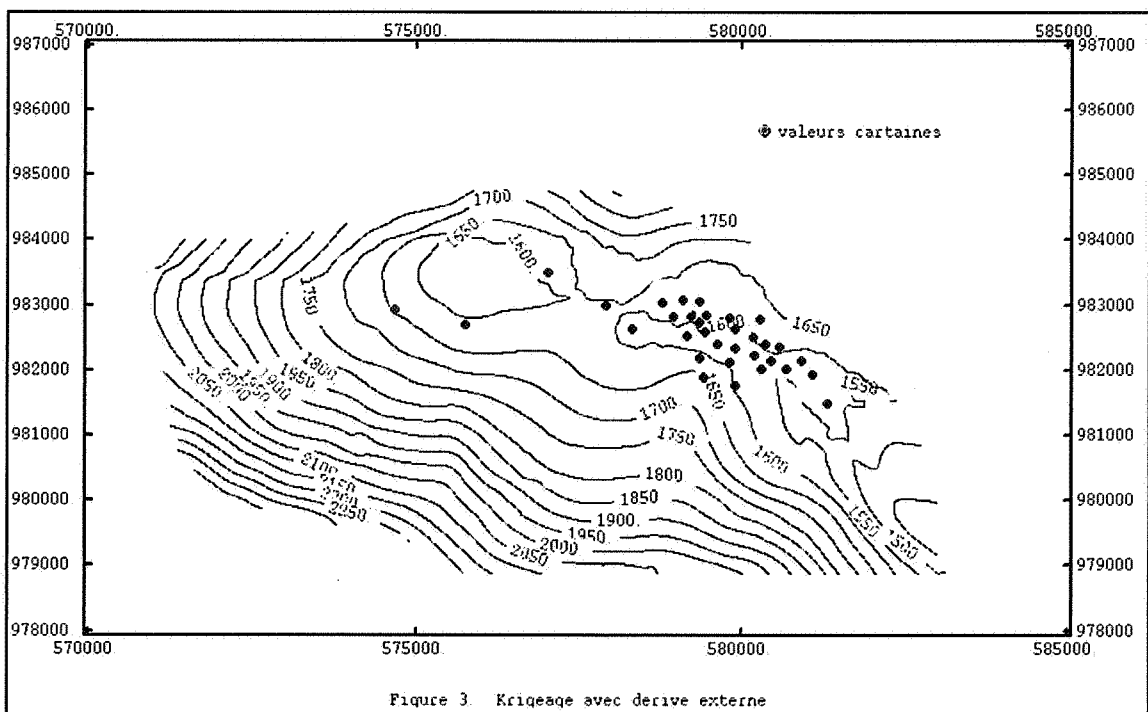
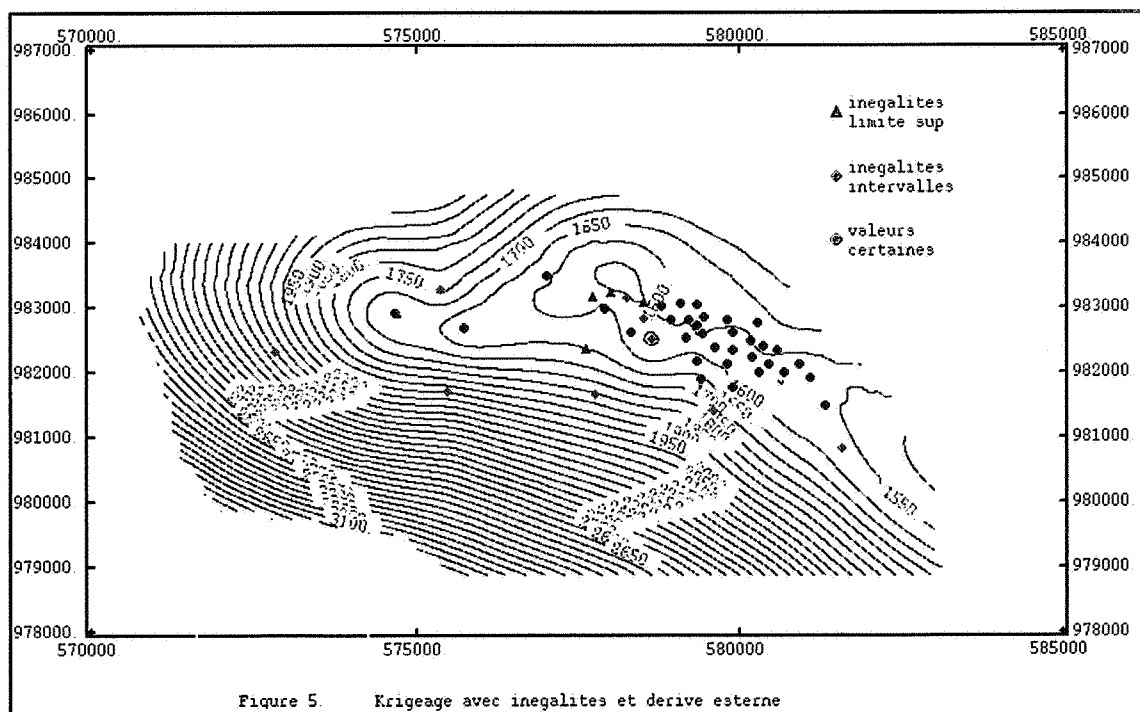
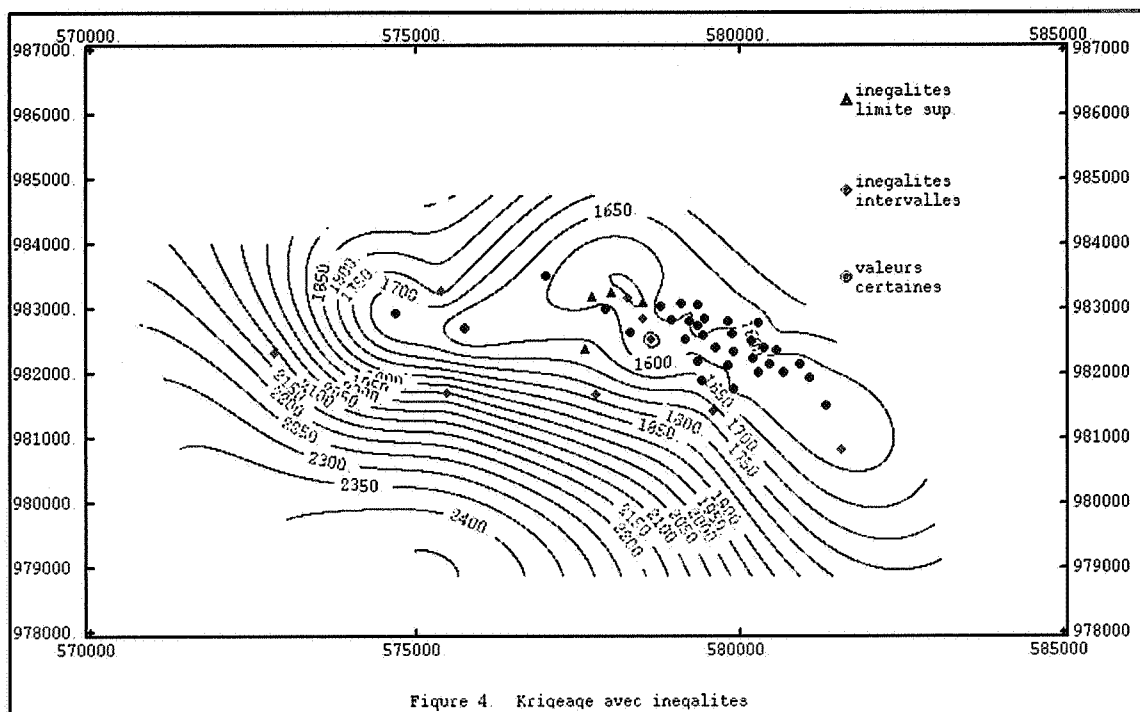


Figure 3. Krigage avec derive externe



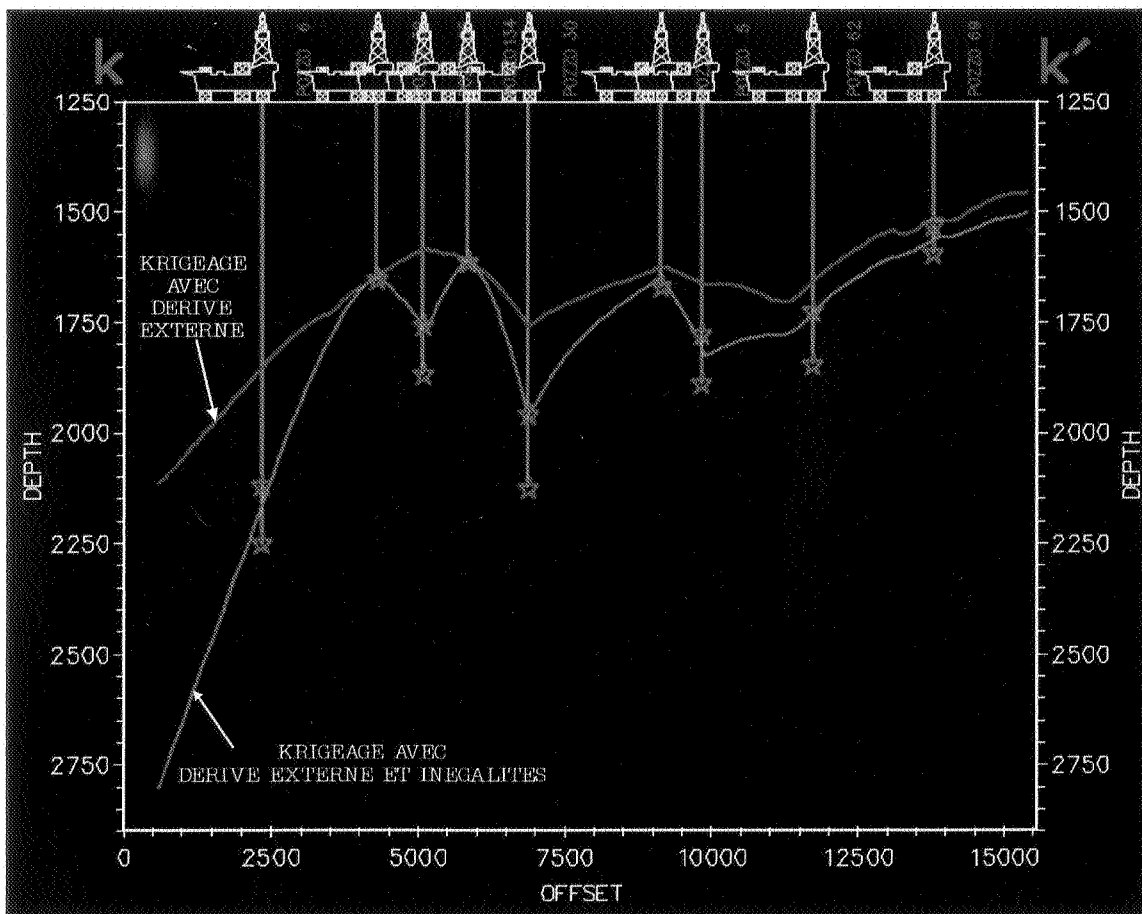
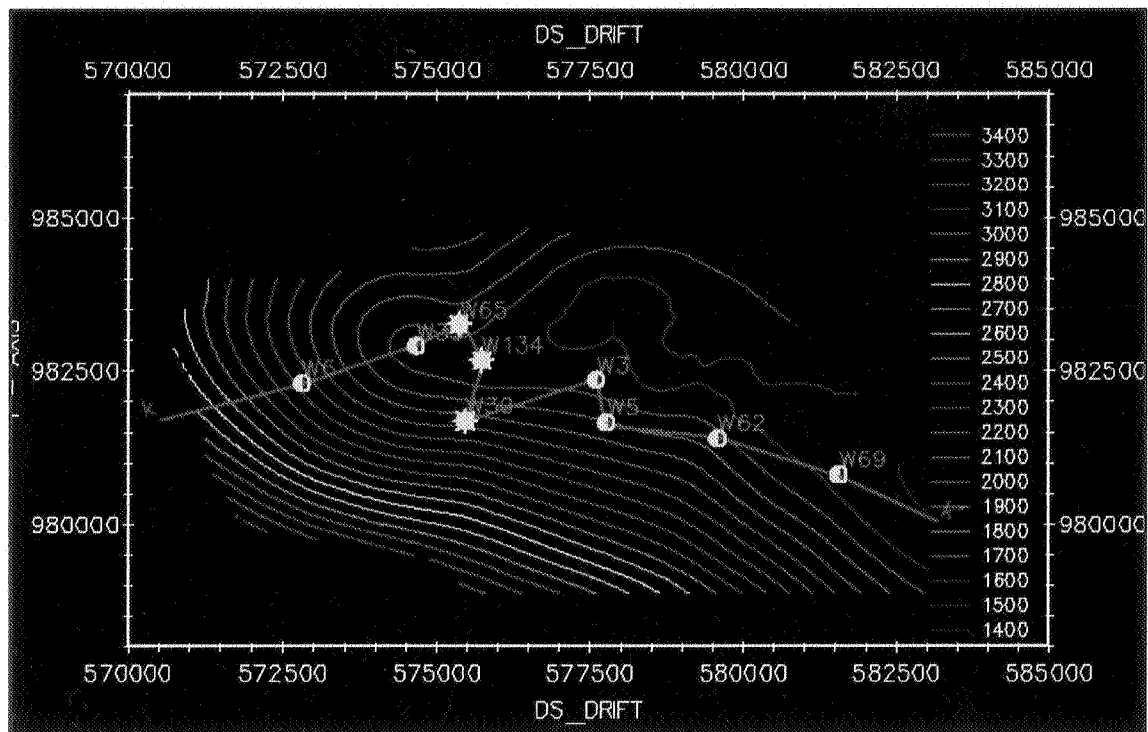
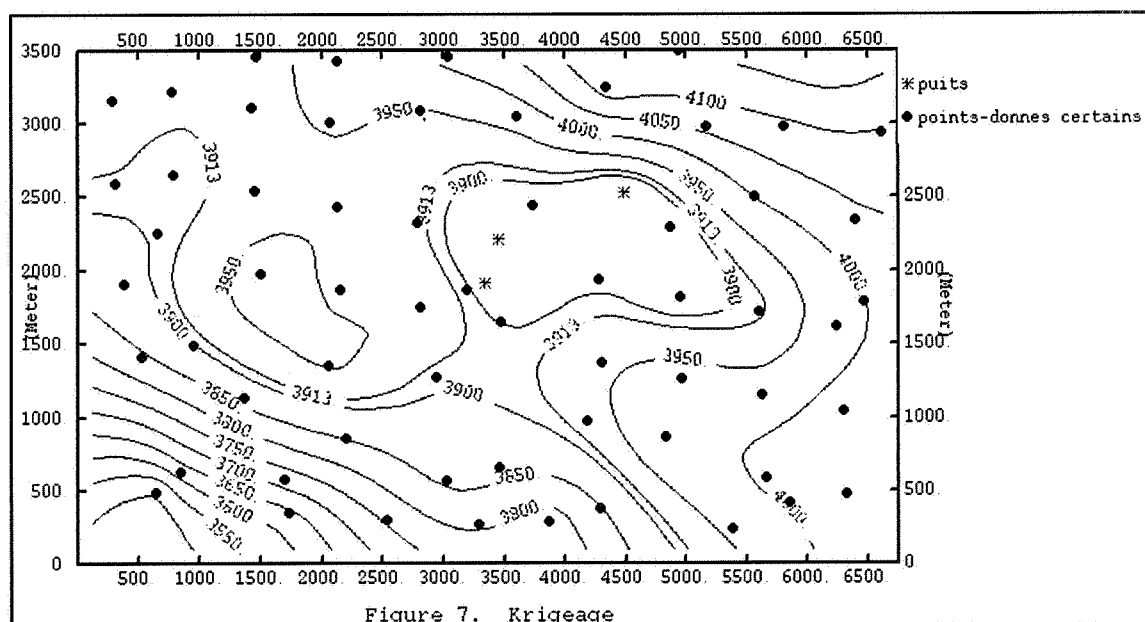


Figure 6



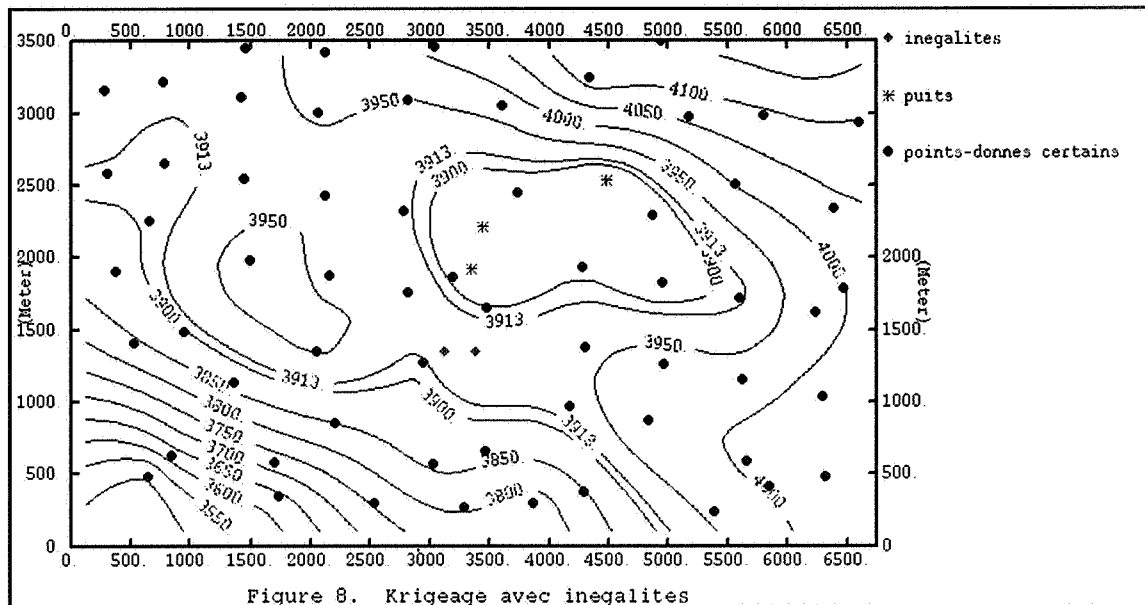


Figure 8. Krigeage avec inegalites

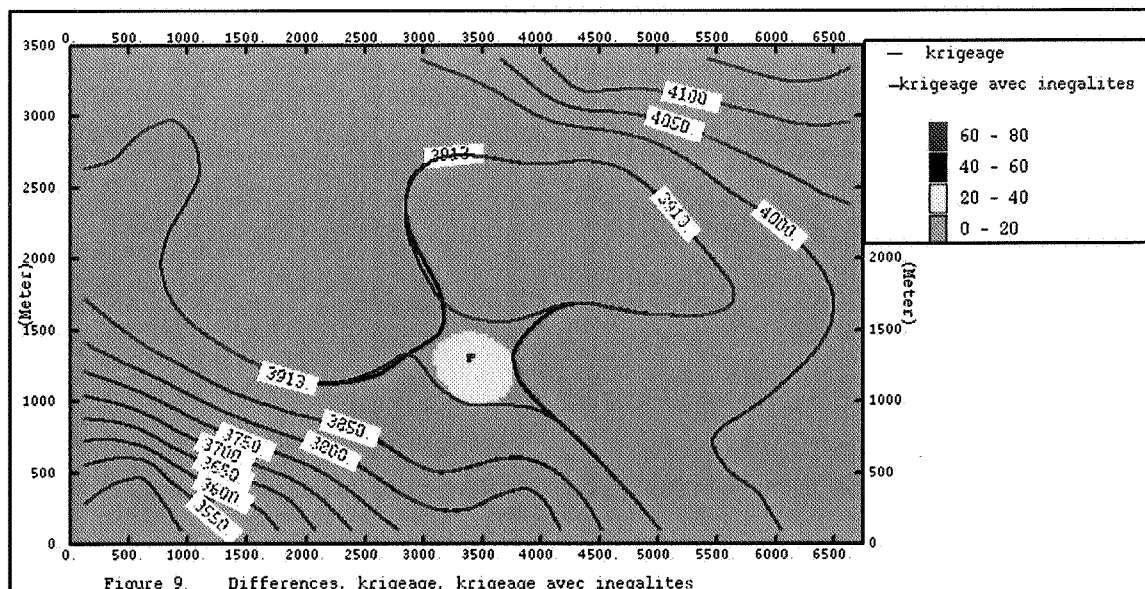
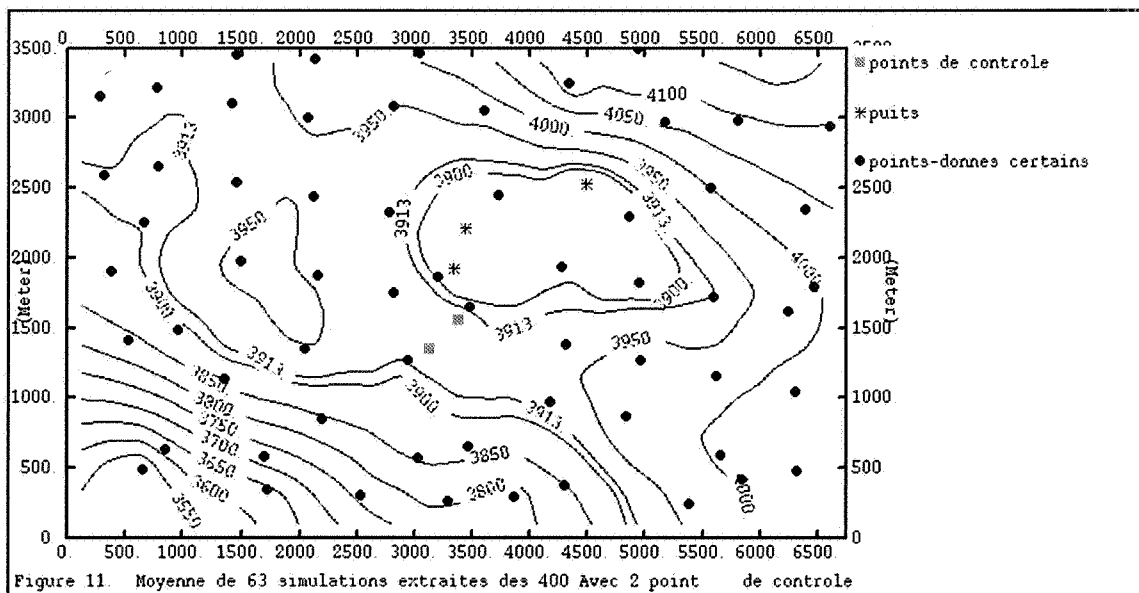
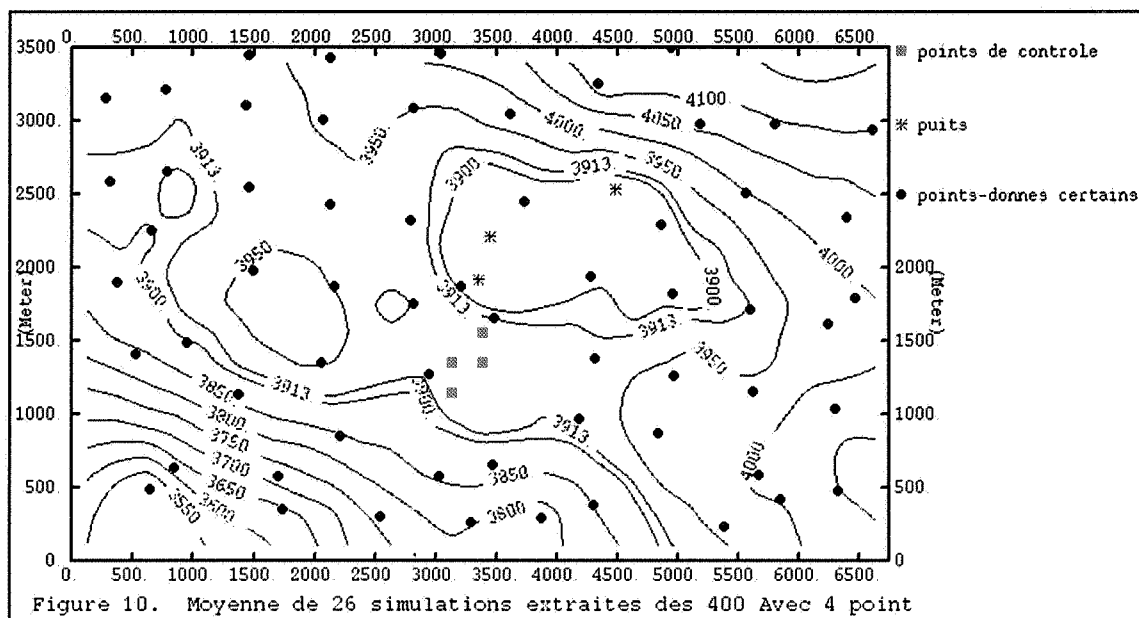
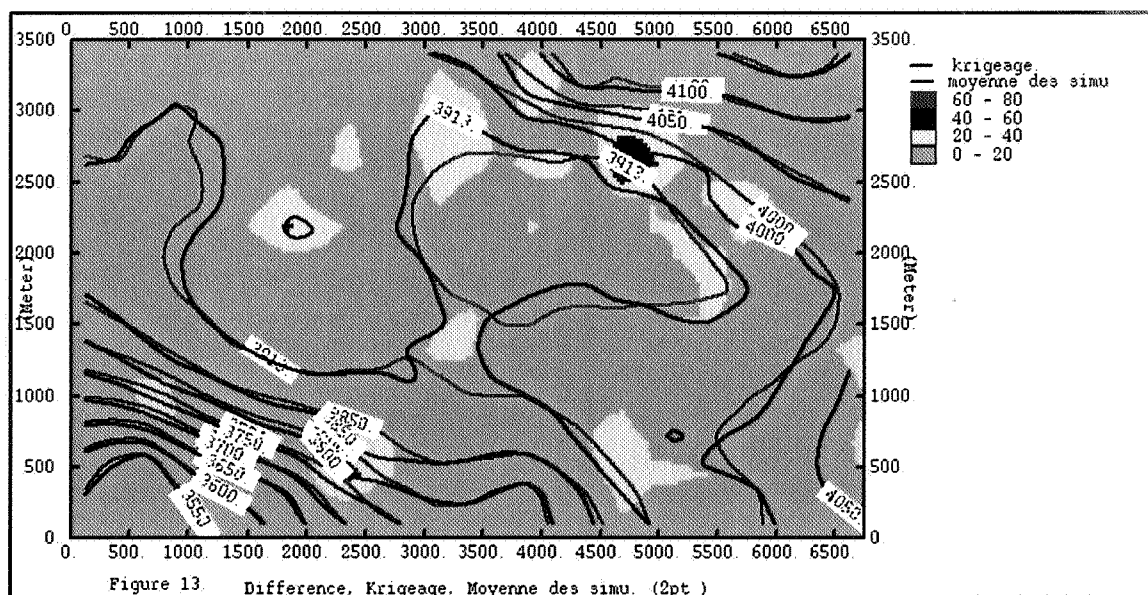
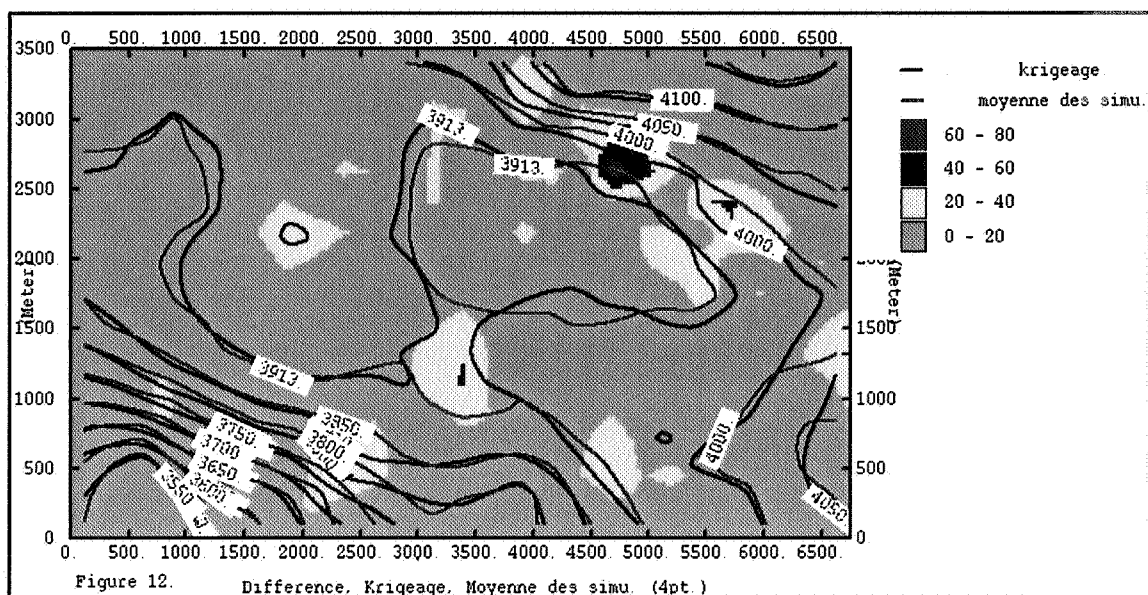
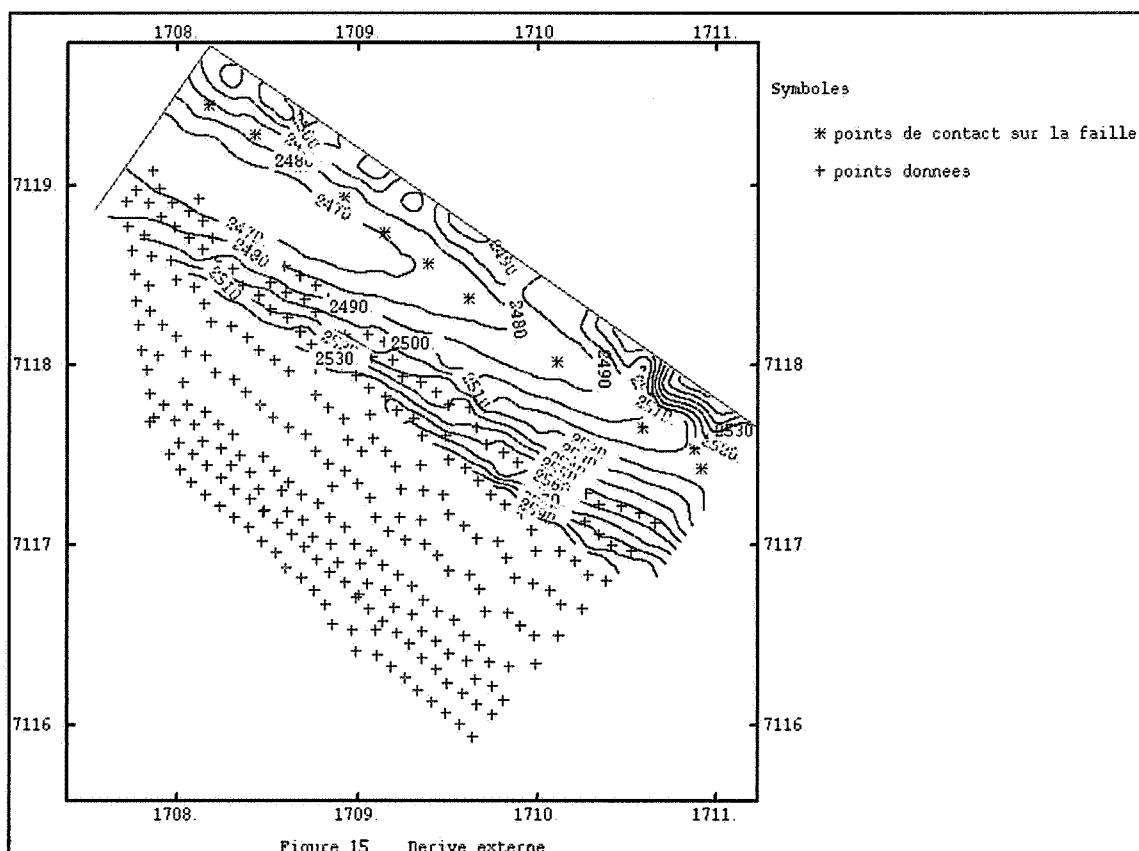
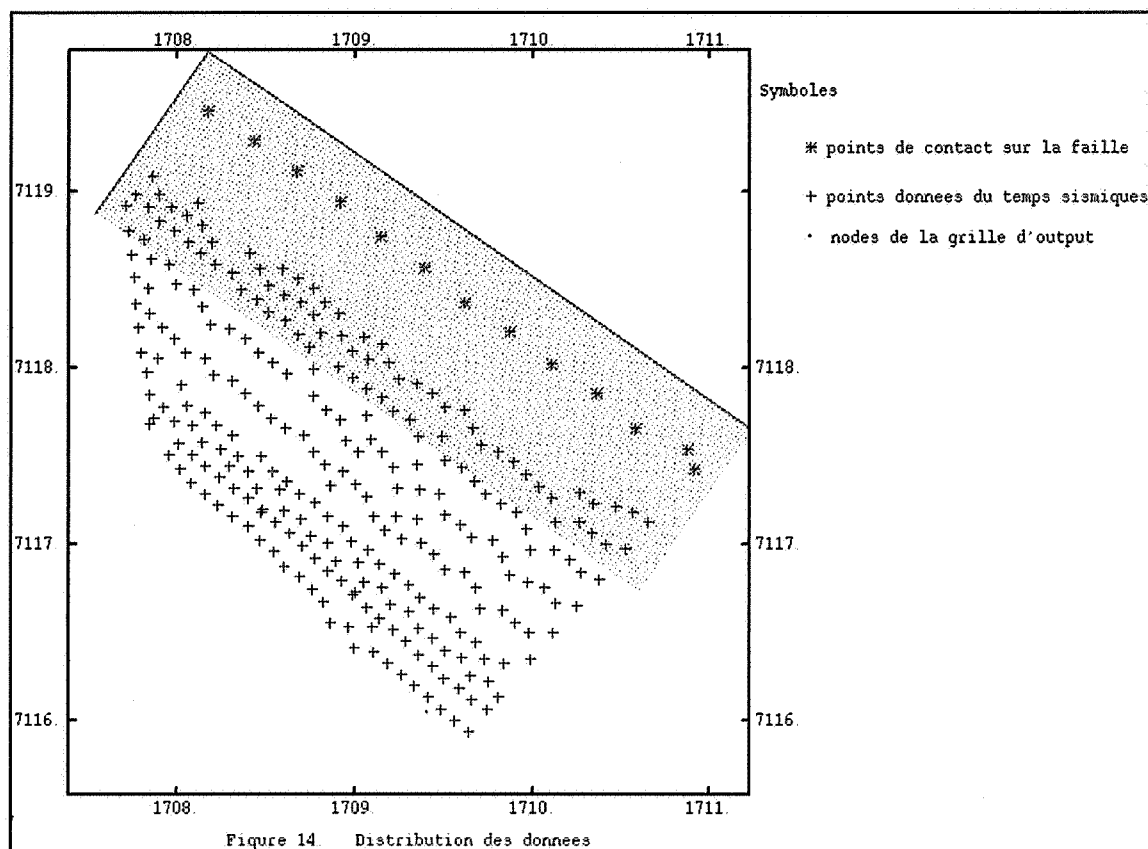
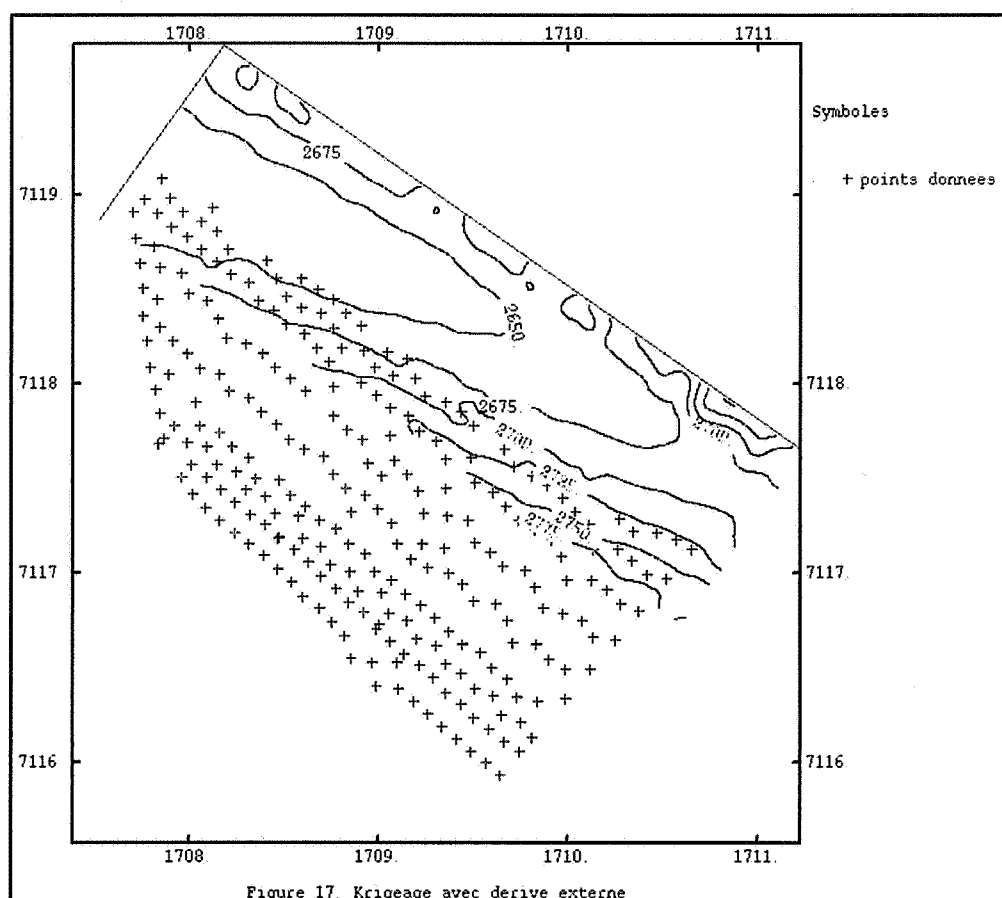
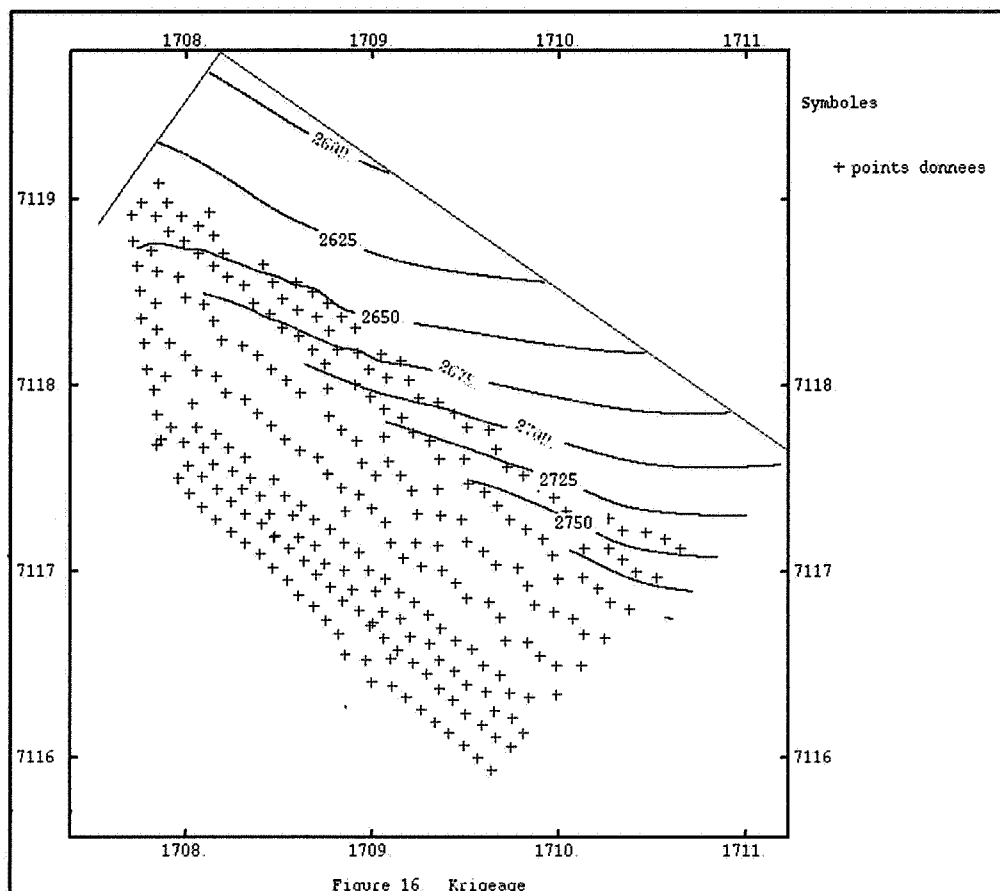


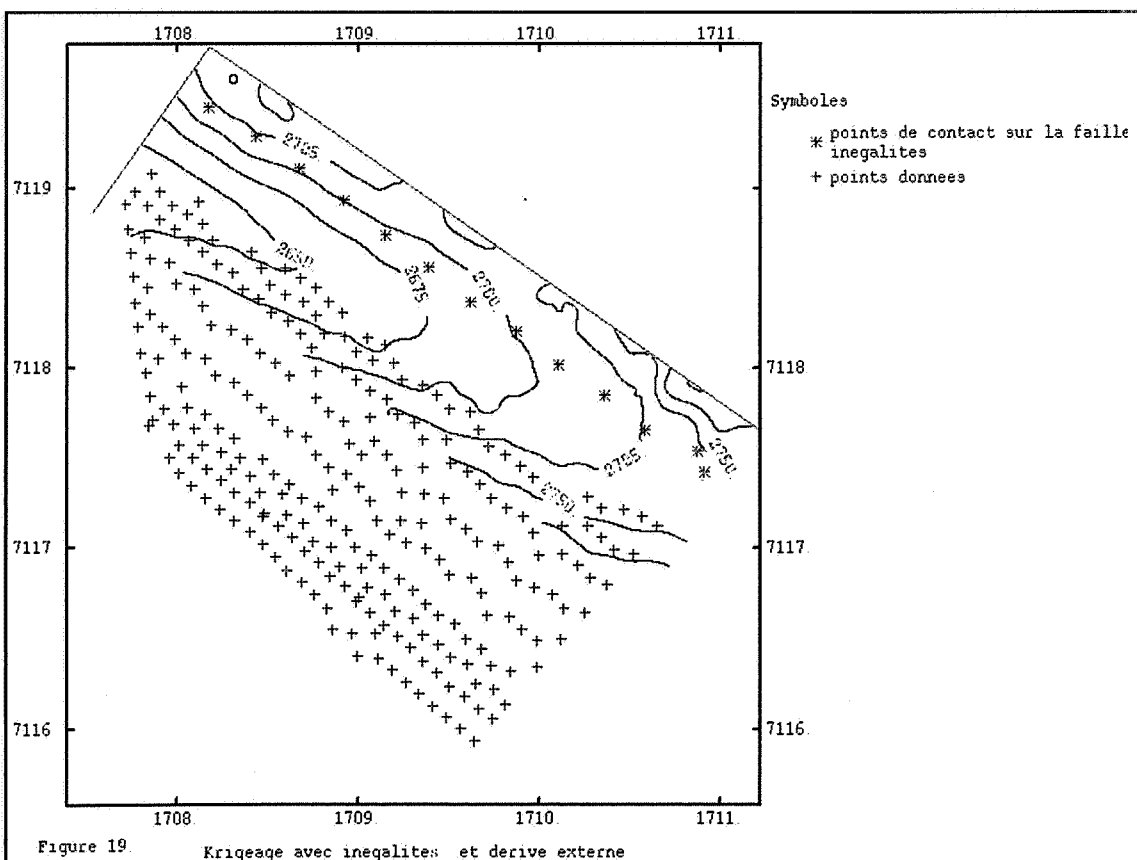
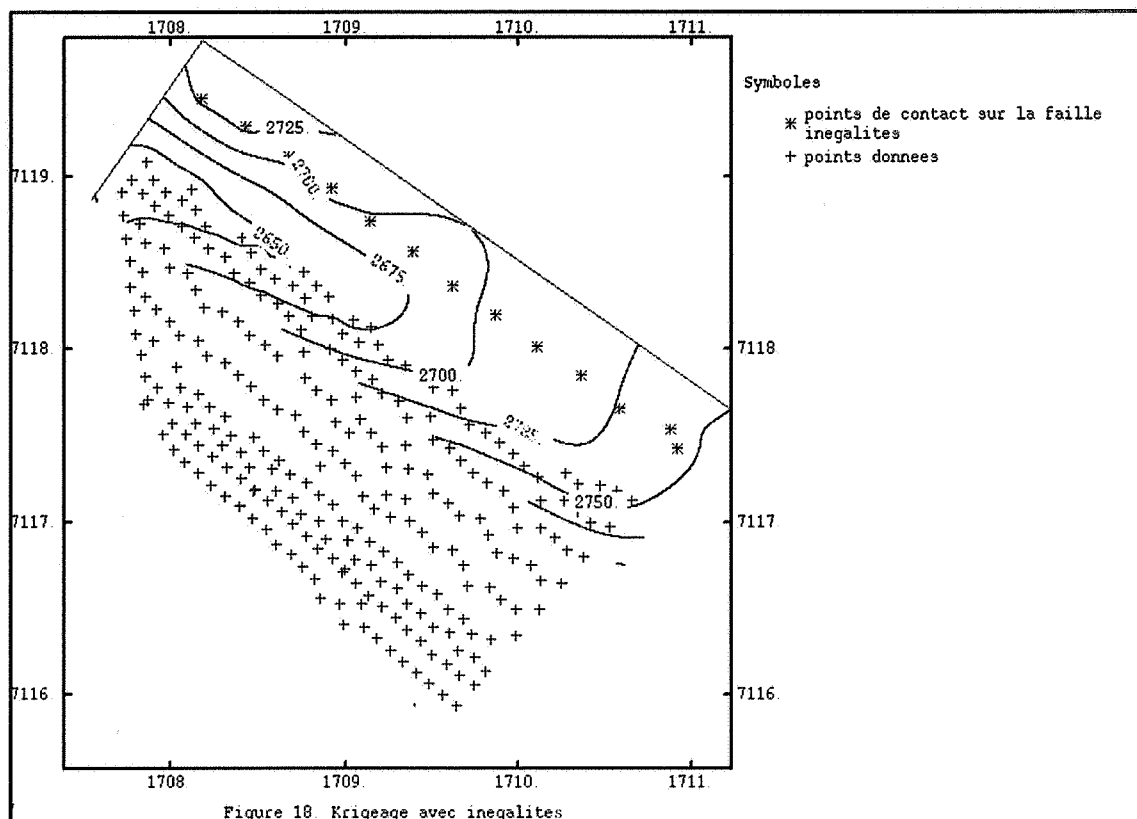
Figure 9. Differences, krigeage, krigeage avec inegalites

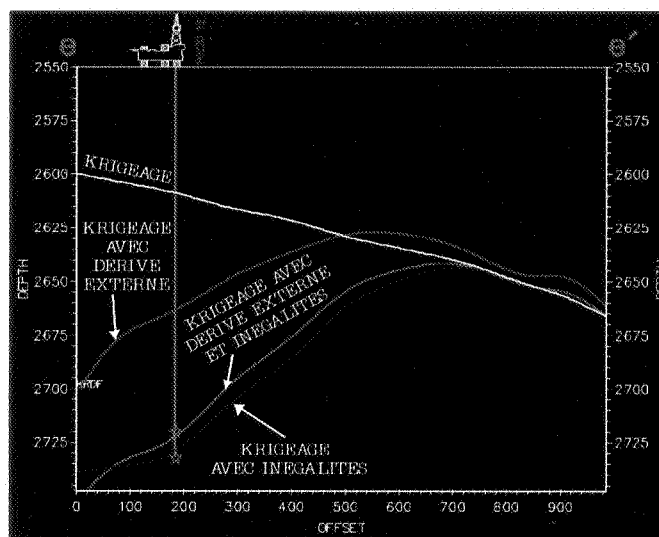
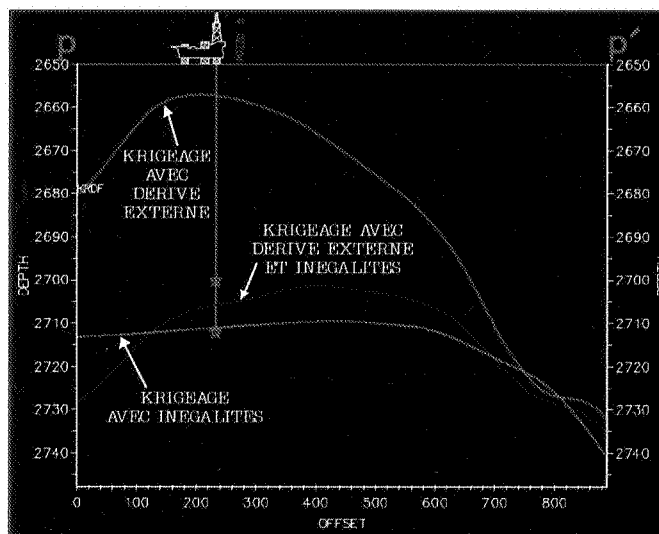
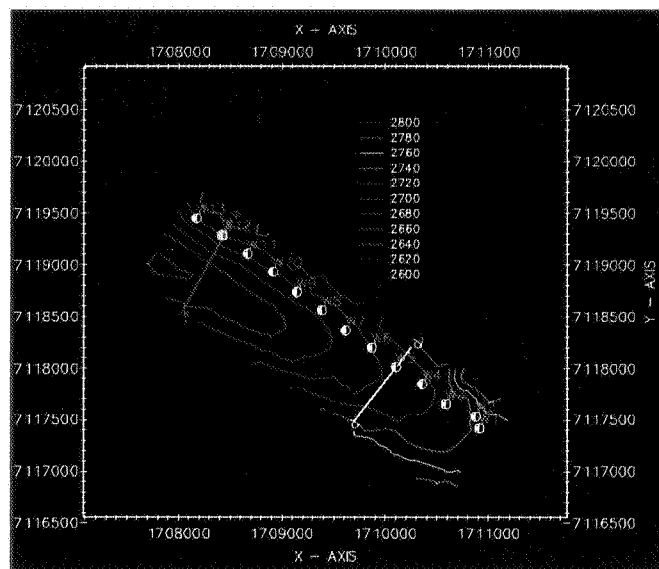












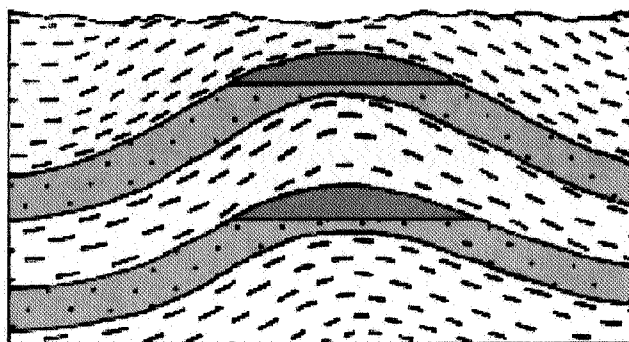


Fig 22

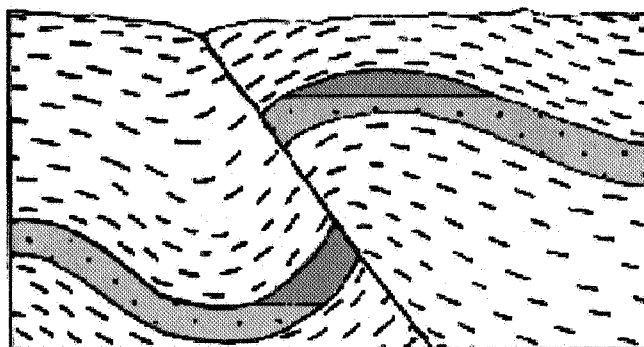


Fig 23a

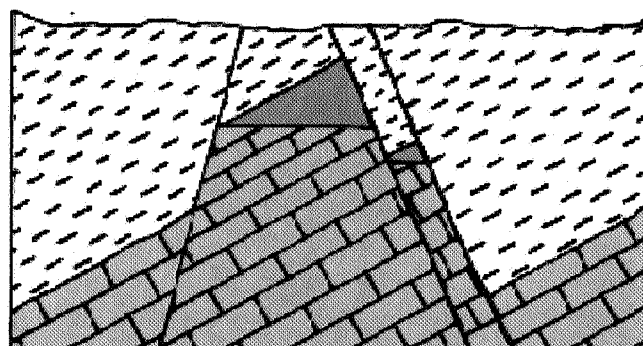


Fig 23b

Fig 23c

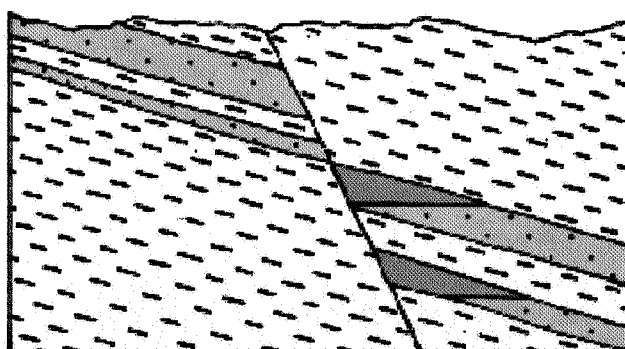


Fig 24

