

Université du Québec

Mémoire
présenté

à

l'Institut national de la recherche scientifique

comme exigence partielle
de la
Maîtrise es sciences (EAU)

par

Yvan Langlois
(B. Ing. géologie)

Caractérisation de la variabilité spatiale des propriétés
physiques des sols par échantillonnage aléatoire simple

Mai 1991

T126

Université du Québec

Mémoire

présenté

à

l'Institut national de la recherche scientifique

comme exigence partielle

de la

Maîtrise es sciences (EAU)

par

Yvan Langlois

(B. Ing. géologie)

Caractérisation de la variabilité spatiale des propriétés
physiques des sols par échantillonnage aléatoire simple

Mai 1991

REMERCIEMENTS

En premier lieu je tiens à remercier monsieur Jean-Pierre Villeneuve, professeur à l'INRS-Eau, pour m'avoir permis de réaliser cette maîtrise à l'intérieur de son groupe de recherche et d'avoir bien voulu agir comme directeur de ce mémoire.

J'exprime ma gratitude au co-directeur de mon mémoire monsieur Olivier Banton, avec qui j'ai eu beaucoup de plaisir à travailler et qui a montré un intérêt soutenu, dans un encadrement souple encourageant l'initiative personnelle.

Je remercie également madame Pascale Bonin et monsieur Jean Gauthier pour leur précieuse aide sur le terrain comme au laboratoire.

Enfin, je témoigne ma reconnaissance à mon amie Pierrette car sans sa patience et sa bonne compréhension ce travail n'aurait pu être.

RESUME

Dans le domaine de la modélisation du transport des contaminants à travers la zone non saturée des sols, l'approche stochastique est considérée par plusieurs chercheurs comme étant la plus adéquate. Cette technique permet entre autre de tenir compte de la variabilité spatiale des paramètres utilisés lors de la simulation. La variabilité spatiale est généralement représentée par les distributions statistiques des valeurs des paramètres dans l'espace.

Cette étude présente le rôle joué par la forme de la distribution statistique sur l'évaluation de la moyenne et de l'écart-type, étudie l'influence de la variabilité sur l'estimation des paramètres statistiques des lois lognormales et étudie des alternatives à la méthode conventionnelle permettant de diminuer le biais lors de telles estimations. Finalement, cette étude conduit à proposer une méthodologie d'acquisition des données de terrain nécessaires à la simulation stochastique du transport de soluté à travers la zone non saturée des sols.

Un échantillonnage systématique en 85 points couvrant 1,5 hectare, a été réalisé sur une parcelle agronomique à Saint-Augustin-de-Desmaures (Québec). A partir de cet échantillonnage, les distributions statistiques de plusieurs paramètres physiques des sols ont été construites. Des tirages aléatoires de différentes tailles (2 à 30) ont été pratiqués dans les données, pour une distribution normale et pour deux distributions lognormales. Les résultats obtenus démontrent que le biais est moins important lors

de l'estimation des paramètres statistiques de la loi normale que lors de ceux des distributions lognormales. De façon générale, l'estimation de la moyenne est moins systématiquement biaisée que celle de l'écart-type. La variabilité influence beaucoup la précision de l'évaluation des paramètres statistiques des lois lognormales; plus cette variabilité est importante plus la précision diminue. Finalement, lorsque peu d'informations sont disponibles (taille d'échantillon faible), l'évaluation de la moyenne par la médiane ou par les formules utilisées pour la loi normale donnent une meilleure évaluation de la moyenne d'une distribution lognormale. Dans ce cas, l'écart-type estimé avec la médiane s'avère la plus représentative. A mesure que l'information croît (taille d'échantillon élevée) la méthode conventionnelle doit être préférée aux deux autres.

Contrairement aux travaux précédents sur l'estimation des paramètres statistiques, le présent travail tient son originalité par la présentation du biais des estimations en terme de surévaluation et de sous-estimation. L'utilisation de la médiane pour évaluer la moyenne et l'écart-type des populations lognormales constitue d'autre part une originalité de ce travail.

TABLE DES MATIERES

	<u>Page</u>
REMERCIEMENTS	i
RESUME	ii
TABLE DES MATIERES	iv
LISTE DES TABLEAUX	vii
LISTE DES FIGURES	viii
INTRODUCTION	1
1 EVALUATION DE LA VARIABILITE SPATIALE	4
1.1 Observations historiques de la variabilité spatiale ...	4
1.2 Evaluation et représentation de la variabilité spatiale	4
1.2.1 Statistique classique	6
1.2.2 Bootstrapping	9
1.2.3 Géostatistique	10
1.3 But de l'évaluation de la variabilité spatiale	11
2 EVALUATION DES PARAMETRES STATISTIQUES	16
2.1 Définition	16
2.1.1 Les paramètres de position	16
2.1.2 Les paramètres de dispersion	16
2.2 Distribution normale	17
2.3 Distribution lognormale	18
2.4 Travaux antérieurs sur l'estimation des paramètres statistiques des populations lognormales	21

	<u>Page</u>
3 DESCRIPTION DU SITE ET EXPERIMENTATION	23
3.1 Description du site	23
3.2 Expérimentation	23
3.2.1 Echantillonnage	23
3.2.2 Propriétés mesurées	25
3.2.3 Caractéristiques statistiques des populations	26
3.2.3.1 Population normale	26
3.2.3.2 Population lognormale	28
3.3 Tirages aléatoires	31
3.3.1 Choix de la méthode	31
3.3.2 Programmes informatiques	31
4 RESULTATS DES TIRAGES ALEATOIRES DANS LA POPULATION NORMALE	34
4.1 Présentation des graphiques	34
4.2 Estimation de la moyenne	35
4.3 Efficacité de l'estimation de la moyenne	37
4.4 Estimation de l'écart-type	39
4.5 Efficacité de l'estimation de l'écart-type	41
4.6 Autres façons d'estimer l'écart-type	43
5 RESULTATS DES TIRAGES ALEATOIRES DANS LES POPULATIONS LOGNORMALES	44
5.1 Méthodes d'estimation choisies	44
5.2 Estimation de la moyenne d'une population lognormale .	46
5.2.1 Population peu variable	46
5.2.2 Population très variable	48
5.3 Efficacité de l'estimation de la moyenne d'une population lognormale	51
5.3.1 Population peu variable	51
5.3.2 Population très variable	53

	<u>Page</u>
5.4 Estimation de l'écart-type d'une population lognormale	55
5.4.1 Population peu variable	55
5.4.2 Population très variable	57
5.5 Efficacité de l'estimation de l'écart-type d'une population lognormale	59
5.5.1 Population peu variable	59
5.5.2 Population très variable	61
6 Discussion et conclusions	64
BIBLIOGRAPHIE	68
ANNEXES	72

LISTE DES TABLEAUX

	<u>Page</u>
1 Caractéristiques statistiques des populations	28

LISTE DES FIGURES

		<u>Page</u>
1	Les diverses approches d'évaluation de la variabilité spatiale	6
2	Exemple de trois distributions normales	18
3	Exemple de trois distributions lognormales	19
4	Aperçu des grilles d'échantillonnage	24
5	Histogramme de fréquence de la porosité	27
6	Histogramme de fréquence de la conductivité hydraulique in situ	29
7	Histogramme de fréquence de la conductivité hydraulique mesurée en laboratoire	30
8	Porosités moyennes minimales et maximales évaluées en fonction de la taille des échantillons	36
9	Efficacité de l'estimation de la porosité moyenne en fonction de la taille des échantillons	38
10	Ecart-types minimaux et maximaux de la porosité évalués en fonction de la taille des échantillons	40
11	Efficacité de l'estimation de l'écart-type de la porosité en fonction de la taille des échantillons	42
12	Moyennes minimales et maximales de la conductivité hydraulique in situ estimées par trois méthodes	47
13	Moyennes minimales et maximales de la conductivité hydraulique en laboratoire estimées par les trois méthodes	49
14	Efficacité de l'estimation de la moyenne de la conductivité hydraulique in situ pour une précision de $\pm 15\%$ en fonction de la taille des échantillons	52
15	Efficacité de l'estimation de la moyenne de la conductivité hydraulique en laboratoire pour une précision de $\pm 15\%$ en fonction de la taille des échantillons	53

	<u>Page</u>
16 Estimation des écarts-types minimaux et maximaux de la conductivité hydraulique in situ en fonction de la taille des échantillons	56
17 Estimation des écarts-types minimaux et maximaux de la conductivité hydraulique en laboratoire en fonction de la taille des échnatillons	59
18 Efficacité de l'estimation de l'écart-type de la conductivité hydraulique in situ pour une précision de $\pm 15\%$ en fonction de la taille des échnatillons	61
19 Efficacité de l'estimation de l'écart-type de la conductivité hydraulique en laboratoire pour une précision de $\pm 15\%$ en fonction de la taille des échantillons	63

INTRODUCTION

A cause de la faible qualité de potabilité des eaux de surface, le nombre de personnes dépendant des eaux souterraines pour leurs besoins, prendra de plus en plus d'importance. Cependant, on constate à regret que plusieurs nappes souterraines sont aujourd'hui altérées par la présence de contaminant parfois très dangereux pour la santé humaine.)

On s'accorde à reconnaître deux types de source de contamination des eaux souterraines. Les contaminations ponctuelles et celles diffuses.

Dans le premier cas l'origine des contaminants est très limité dans l'espace; comme par exemple un site d'enfouissement ou un déversement résultant d'un accident.

A l'opposé, les contaminations diffuses sont les conséquences d'un épandage, sur de grandes surfaces, d'un produit parfois en quantité faible, mais qui peut atteindre la nappe sous-jacente. Les pesticides et les nitrates, représentent les contaminants diffus les plus fréquents, et sont de plus en plus présents dans les eaux souterraines des zones agricoles québécoises. Les zones contaminées sont très grandes et la concentration des polluants est souvent telle, que ces eaux ne peuvent être consommées. Ce type de contamination, beaucoup plus difficile à détecter est maintenant un problème présent dans plusieurs pays.

Dans le but d'apporter un outil pour aider à la préservation de la ressource d'eau souterraine, une équipe de chercheurs de l'INRS-Eau a mis au point un modèle mathématique de simulation du

transport des pesticides à travers la zone non saturée des sols. Ainsi, en tenant compte des caractéristiques du site et du pesticide, le modèle permet de prédire la quantité de contaminant percolant jusqu'à la nappe phréatique. Ce modèle baptisé VULPEST utilise une approche stochastique pour simuler le transport des pesticides.

Aujourd'hui la modélisation stochastique est reconnue comme étant la plus adéquate pour décrire le devenir d'un tel type de contaminant dans le sol. Cette technique permet de tenir compte de la variabilité spatiale des paramètres utilisés lors de la simulation. En effet, lors des simulations, un modèle stochastique sélectionne aléatoirement dans la distribution statistique de chaque paramètre les valeurs numériques nécessaires aux calculs. La distribution statistique d'un paramètre est généralement décrite par le type de loi, la moyenne et l'écart-type des valeurs du paramètre, mesurées en différents points de l'espace. Ces mesures sont une expression de la variabilité spatiale de la propriété analysée.

Cependant, la représentativité de la moyenne et de l'écart-type estimés est principalement liée au nombre de mesures et à la variabilité du paramètre. On comprend aisément que plus la somme d'information est importante, plus la moyenne et l'écart-type auront des chances d'être correctement estimés. Mais on demeure conscient que pour obtenir une certaine assurance sur les estimations, que cette taille d'échantillon devra être beaucoup plus grande pour un paramètre dont la variabilité est plus élevée.

La distribution normale et celle lognormale sont les plus utilisées pour exprimer la variabilité des paramètres physiques des sols. Une distribution lognormale représente une propriété dont la variabilité est beaucoup plus importante qu'une autre se distribuant normalement. On pense que la précision des estimations sera grandement affectée par cette différence de variabilité.

L'objectif principal de ce mémoire de recherche est donc de proposer une méthodologie d'acquisition des données de terrain utilisées lors de la modélisation stochastique du transport de soluté à travers la zone non saturée des sol en:

- 1) montrant le rôle joué par la forme de la distribution statistique sur l'évaluation de ces paramètres;
- 2) faisant connaître l'influence de la variabilité sur l'estimation des paramètres des populations lognormales;
- 3) apportant une méthode d'évaluation qui diminue le biais en présence de population lognormale lorsque peu d'informations sont disponibles.

Pour atteindre ces objectifs, trois paramètres physiques d'un sol seront étudiés; un se distribuant normalement et deux autres s'ajustant à des distributions lognormales; un de ces derniers variant beaucoup plus que l'autre. Avec l'aide de programmes informatiques, plusieurs tirages aléatoires simples seront réalisés sur les différentes populations avec pour but d'en évaluer les paramètres statistiques. Les résultats de ces tirages aléatoires permettront d'apporter des conclusions aux différents objectifs.

EVALUATION DE LA VARIABILITE SPATIALE

1.1 OBSERVATIONS HISTORIQUES DE LA VARIABILITE SPATIALE

La représentation idéaliste, qu'une propriété pédologique quelconque ne puisse prendre qu'une seule valeur à travers toute une unité de sol, tend à être de plus en plus abandonnée. En effet, plusieurs travaux (Cassel et Bauer, 1975; Delhomme, 1979; Viera et al., 1981; Greminger et al.;1985) démontrent qu'en réalité les propriétés des sols varient selon leur position dans l'espace. Des observations de ce genre sont à l'origine du développement du concept de variabilité spatiale. Ainsi, Viera et al (1981) soulignent que dans la littérature scientifique du début du siècle, on note déjà des similitudes et des différences entre des sols classés sous le même nom. Ce niveau d'observation de la variabilité spatiale, à l'échelle du groupe pédologique, sera conservé jusqu'après 1950. Aujourd'hui, l'étude de la variabilité spatiale est réalisée pour des surfaces allant du mètre carré à quelques centaines hectares.

1.2 EVALUATION ET REPRESENTATION DE LA VARIABILITE SPATIALE

Bien qu'aujourd'hui la variabilité spatiale des propriétés des sols fasse l'unanimité, on ne peut en dire autant dans la façon

de l'évaluer et de la représenter. Si les premières tentatives furent réalisées selon la théorie des statistiques classiques (Freeze, 1975; Biggar et Nielsen, 1976), il semble que la géostatistique tend à prendre de plus en plus de place (Delhomme, 1979; de Marsily, 1982) et des nouvelles techniques comme le "bootstrapping" commence à être utilisées (Dane et al., 1986). Les différentes approches peuvent se classer en deux catégories distinctes. La théorie de la statistique classique et les techniques qui en découlent comme le "bootstrapping" par exemple, considèrent que chaque mesure d'un paramètre est indépendante de celles qui l'entourent. On suppose alors qu'il n'y a pas dans le sol, de structure pouvant permettre de corréler les mesures, entre elles, sur une certaine distance. Par contre, la géostatistique se fonde sur le principe que la variabilité d'une série d'observation est structurée (Journel et Huijbregts, 1978, p.10). La valeur de la propriété est alors précisée par sa position dans l'espace par rapport à la structure de la variabilité. Cette hypothèse, de la variabilité structurée, est la différence fondamentale entre la géostatistique et les deux techniques précédentes, où on considère l'arrangement d'une propriété, dans le sol comme étant tout à fait aléatoire. La figure 1 montre la position de chacune des méthodes pour l'estimation de la variabilité spatiale.

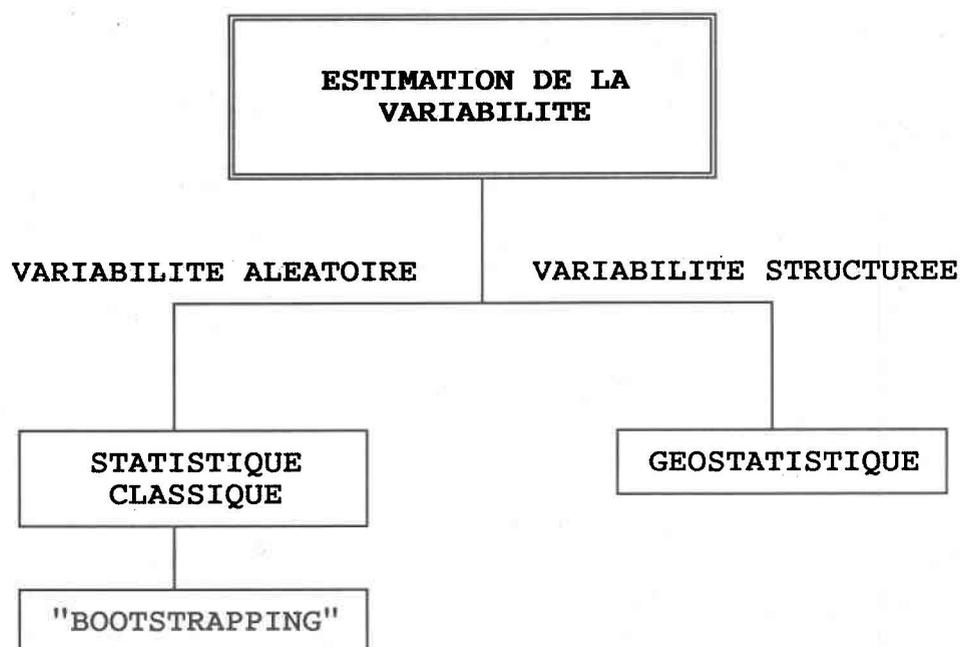


Figure 1 Les diverses approches d'évaluation de la variabilité spatiale

1.2.1 Statistique classique

Les principes fondamentaux de l'échantillonnage statistique servirent les premiers investigateurs de la variabilité spatiale. Bien qu'étant la première technique utilisée, certains auteurs en ont fait encore usage dernièrement (Cassel et Bauer, 1975; Freeze, 1975; Biggar et Nielsen, 1976; Baker, 1978; Warrick et Nielsen, 1980; Albrecht et al., 1985; Anderson et Cassel, 1986). En utilisant les théories de la statistique classique, la variabilité spatiale d'un paramètre est représentée par sa distribution statistique. Ainsi, la moyenne détermine la position du centre de la distribution statistique, tandis que l'écart-type contrôle la dispersion de la courbe de distribution. Une faible valeur de

l'écart-type donne dans ce cas une distribution statistique étroite et lorsque sa valeur est importante la distribution est de forme plus large.

Le coefficient de variation "cv" rend possible l'expression de la variabilité sur une base relative (Warrick et Nielsen, 1980). Par définition, le coefficient de variation représente le rapport de l'écart-type sur la moyenne; généralement exprimé en pourcentage.

$$cv = (\sigma/u) * 100\% \quad (1)$$

Ainsi, le coefficient de variation permet de comparer la variabilité relative de plusieurs séries statistiques ou de plusieurs distributions de fréquence dont les ordres de grandeur sont très différents (Dagnélie, 1975, p.45). La définition du coefficient de variation est valable pour tous les types de distribution statistique.

Selon les recherches sur la variabilité spatiale, les propriétés des sols peuvent être représentées par les deux types de distribution statistique que sont la loi normale et celle lognormale.

La distribution normale, est l'une des plus employées pour exprimer la variabilité d'une propriété. Beaucoup d'observations confirment que la porosité, la densité, la teneur en eau, le pourcentage en sable, en limon et en argile sont des propriétés qui se distribuent normalement (Warrick et Nielsen, 1980; Anderson et Cassel, 1986).

Selon Freeze (1975), c'est Law qui en 1944 fut le premier à proposer l'ajustement de la conductivité hydraulique à une distribution lognormale. Plusieurs travaux sont venus par la suite valider cette observation dont ceux de Mason et de ses collaborateurs en 1957 (Baker, 1978). Il est maintenant admis, par tous, que cette propriété suit une distribution lognormale (Biggar et Nielsen, 1976; Warrick et Nielsen, 1980; Sisson et Wierenga, 1981; Hoeksema et Kitanidis, 1985; Albrecht et al., 1985). Certains démontrent également que d'autres propriétés physiques des sols obéissent à la loi lognormale, tels la transmissivité et le coefficient d'emmagasinement (Hoeksema et Kitanidis, 1985) et le coefficient de dispersion (Biggar et Nielsen, 1976).

Les chercheurs utilisant l'approche statistique tentent de déterminer la taille de l'échantillon nécessaire pour évaluer la moyenne avec une certaine précision selon un niveau de confiance donné. Ils utilisent la formule tirée de Warrick et Nielsen (1980).

$$N = t^2 \sigma^2 / d^2 \quad (2)$$

N= taille de l'échantillon

t= valeur du pourcentile de la distribution de Student

degré de liberté infinie au niveau de probabilité α

σ = écart-type de l'échantillon

d= niveau de précision

Cependant, la formule précédente n'est valable que si elle satisfait deux conditions, à savoir que les échantillons soient

indépendants les uns des autres et que leur nombre soit assez grand pour que le théorème de la limite centrale puisse s'appliquer . La dernière condition est toujours respectée lorsque la population étudiée se distribue normalement. Pour les autres types de population la formule précédente peut s'appliquer si la taille de l'échantillon (N) est suffisamment grande, de 20 individus ou plus. (Warrick et Nielsen, 1980).

1.2.2 Bootstrapping

La technique du "bootstrapping" apporte le même type de résultat que l'utilisation de la théorie de l'échantillonnage statistique. Donc, elle permet de déterminer la forme de la distribution statistique de la propriété analysée, mais aussi la taille de l'échantillon nécessaire pour estimer la moyenne de la population selon un certain niveau de confiance et de précision. Ce qui la différencie de la théorie de l'échantillonnage statistique, c'est qu'elle ne requiert pas d'hypothèse a priori tel que la distribution de la variable (Dane et al., 1986).

Méthode nécessitant beaucoup de calculs, elle fut développée vers la fin des années '70 grâce à l'avènement des ordinateurs dont le temps de calcul est très court (Efron, 1979).

Selon Dane et al. (1986) le "bootstrapping" est une technique statistique dans laquelle la vraie distribution d'échantillonnage est simulée par un échantillonnage répété parmi les mesures disponibles. D'après Efron (1979) la construction de la distribution d'échantillonnage, lorsqu'on a recours à la technique

du "bootstrapping", doit se réaliser comme suit:

- 1) Soit "N" observations
- 2) Tirer aléatoirement un échantillon de taille "N" avec remise à chaque tirage. Ainsi, certaines observations ne seront pas tirées, d'autres le seront une fois, deux fois, etc.
- 3) Calculer la moyenne et la variance de l'échantillon.
- 4) Refaire les étapes 2 à 3 un très grand nombre de fois
- 5) Tracer l'histogramme de fréquence des moments statistiques.

Dans leur travail, lors de l'estimation de la densité moyenne, Dane et al. (1986) réalisent la quatrième étape 5000 fois. Cependant aucun auteur ne mentionne le nombre de fois minimum que l'étape 4 doit être exécutée.

1.2.3 Géostatistique

C'est Matheron qui en 1962 fut le premier à utiliser le terme géostatistique et à lui donner la définition du formalisme des fonctions aléatoires pour la reconnaissance et l'estimation de phénomène naturel (Journel et Huijbregts, 1978, p.1). Bien que développé pour aider à la mise en valeur des gisements miniers, elle est aujourd'hui utilisée par plusieurs dans le domaine de l'analyse de la variabilité spatiale (Delhomme, 1979; Russo et Bresler, 1981; Byers et Stephens, 1983; Greninger et al., 1985; Hoeksema et Kitanidis, 1985; Cressie et Horton, 1987; Russo et al., 1987; Russo et Jury, 1987).

La théorie géostatistique est basée sur l'hypothèse que la variabilité spatiale d'une propriété possède une structure

particulière. La valeur de cette propriété en un point de l'espace peut être corrélée avec une autre valeur de cette même propriété située ailleurs dans l'espace. Ainsi, on cherche à déterminer sur quelle distance l'autocorrélation entre deux mesures est valable. On peut alors connaître la structure de la variabilité dans l'espace.

L'utilisation de la géostatistique permet de mettre à profit une technique d'estimation linéaire telle que le krigeage. Le krigeage, en utilisant les valeurs environnantes et en connaissant la structure de la variabilité spatiale, donne une évaluation de la valeur d'une propriété à un endroit où elle ne fut pas mesurée. Cette méthode est considérée optimale car des conditions de non biais et de variance minimale sont imposées (de Marsily, 1982). Delhomme (1979), avec l'aide du krigeage, trace des cartes de perméabilité pour des aquifères de plusieurs km², alors que Byers et Stephens (1983) l'emploient pour une surface de 1 m².

Ainsi la géostatistique offre, une façon de représenter la variabilité spatiale en terme d'une distance d'autocorrélation et de tracer la carte des valeurs de la propriété étudiée.

1.3 BUT DE L'EVALUATION DE LA VARIABILITE SPATIALE

Dans l'esprit de tous, il n'y a plus aucun doute que l'on doive tenir compte de la variabilité spatiale pour représenter un milieu naturel tel le sol. Selon Villeneuve et al. (1987), dans le

domaine de la modélisation des eaux souterraines, c'est la prise en compte de cette variabilité qui a fait apparaître l'approche stochastique. En effet, la description complète d'un milieu aussi complexe qu'un sol, s'avère pratiquement irréalisable. Il apparaît alors, que la modélisation stochastique constitue une bonne alternative pour tenir compte de la variabilité des caractéristiques des sols.

Le présent travail a pour but premier de proposer une méthodologie d'acquisition des données de terrain servant à la caractérisation de leurs distributions statistiques. Pour celui qui veut modéliser l'écoulement de l'eau et le transport de soluté à travers la zone non saturée du sol, une bonne technique d'évaluation doit à tout le moins être facilement applicable tout en étant précise et fiable. De plus, elle doit permettre en fonction de la précision recherchée, de fixer la taille de l'échantillon nécessaire et de proposer les outils mathématiques biaisant le moins les estimations, car celles-ci peuvent grandement influencer la représentativité des résultats de la simulation.

L'approche utilisant les statistiques classiques représente la variabilité spatiale sous la forme de la distribution statistique des valeurs des propriétés, telle qu'utilisée par les modèles stochastiques. De plus, l'utilisation de cette méthode est beaucoup plus facile d'application que les autres. Cependant, elle ne permet pas d'identifier les structures spatiales qui peuvent être présentes, où encore d'en tenir compte.

Les outils de la géostatistique rendent possible cette

reconnaissance des structures spatiales, mais l'identification de celle-ci n'est cependant pas toujours réalisable. Plusieurs chercheurs dont Hoeksema et Kitanidis (1985) ainsi que Dane et al. (1986) n'ont pu dans certains cas identifier les structures de corrélation. En outre, Russo et Jury (1987) soulignent la très grande difficulté d'évaluer précisément ces structures spatiales, parce que la grille permettant de les mesurer peut porter à les sous ou sur-évaluer. De plus, pour un même sol, les distances d'autocorrélation ne sont pas obligatoirement identiques d'une propriété à l'autre. Cette observation est très bien mise en évidence dans les travaux de Russo et Bresler (1981) et également dans ceux de Anderson et Cassel (1986). Toutes ces remarques par rapport à la géostatistique représentent un obstacle majeur à l'utilisation de cette technique pour proposer une méthodologie d'acquisition des paramètres hydrodynamiques des sols, facile d'application, fiable et servant à la modélisation stochastique.

Le "bootstrapping" est encore très peu utilisé et peu documenté dans le domaine de la science des sols. Il est, de plus, important de se demander si l'estimation de la distribution d'échantillonnage qu'il simule donne une moyenne et un écart-type différents de ceux obtenus avec les observations initiales.

Dans ce travail, nous poursuivrons notre but en utilisant les statistiques classiques. En premier lieu, avec une distribution normale nous examinerons le comportement du biais lors de l'estimation des paramètres statistiques de cette population à différentes tailles d'échantillon. Ensuite, nous réaliserons les

mêmes estimations sur deux populations lognormales en employant plusieurs approches.

2. EVALUATION DES PARAMETRES STATISTIQUES

2.1 DEFINITION

Dagnélie (1975) reconnaît que les distributions statistiques des mesures peuvent être décrites par trois types de paramètres: les paramètres de position, ceux de dispersion et enfin ceux de dissymétrie et d'aplatissement.

2.1.1 Les paramètres de position

Les trois principaux paramètres de position employés sont la moyenne, la médiane et le mode. Ces paramètres positionnent le centre d'une distribution statistique. Les définitions suivantes proviennent du travail de Johnson et Leone (1964). La moyenne, la sommation de toutes les observations divisée par le nombre d'observations, doit être interprétée comme étant le centre de masse, selon l'abscisse, de la distribution des mesures. On la désigne aussi par le terme moyenne arithmétique. La médiane représente la valeur à laquelle la moitié des observations sont inférieures et l'autre moitié supérieures. Elle divise l'histogramme en deux moitiés de même taille. Le mode est la valeur ou la classe rencontrée la plus fréquemment; elle situe le sommet d'une distribution statistique.

2.1.2 Les paramètres de dispersion

Dagnélie (1975) dénombre pas moins de sept paramètres de dispersion, dont les plus importants sont la variance, l'écart-

type et le coefficient de variation. La variance est la sommation des carrés des différences entre chaque mesure et la moyenne, le tout divisé par le nombre d'observation moins une, si on possède un faible nombre de mesure. En d'autres termes c'est la moyenne des carrés des écarts par rapport à la moyenne. La racine carré positive de la variance est appelée écart-type, souvent aussi désigné par l'expression déviation standard. Le coefficient de variation défini comme le rapport de l'écart-type sur la moyenne est également considéré comme un paramètre de dispersion.

2.2 DISTRIBUTION NORMALE

Ce type de distribution facilement reconnaissable grâce à sa forme en cloche, est certainement la plus fréquente d'utilisation en statistique. L'estimation de la moyenne, paramètre de position le plus utilisé avec ce type de distribution statistique, s'estime à partir de la relation suivante:

$$u = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3)$$

u = moyenne
n = taille de l'échantillon
x_i = observation

Avec une telle population la médiane et le mode sont identiques à la moyenne.

L'écart-type qui caractérise la dispersion de la distribution statistique s'évalue, à partir de la variance:

$$\sigma^2 = \frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - u)^2 \quad (4)$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} \quad (5)$$

σ² = variance
σ = écart-type

A la figure 3 on peut visualiser l'effet de chaque paramètre sur le comportement d'une distribution normale.

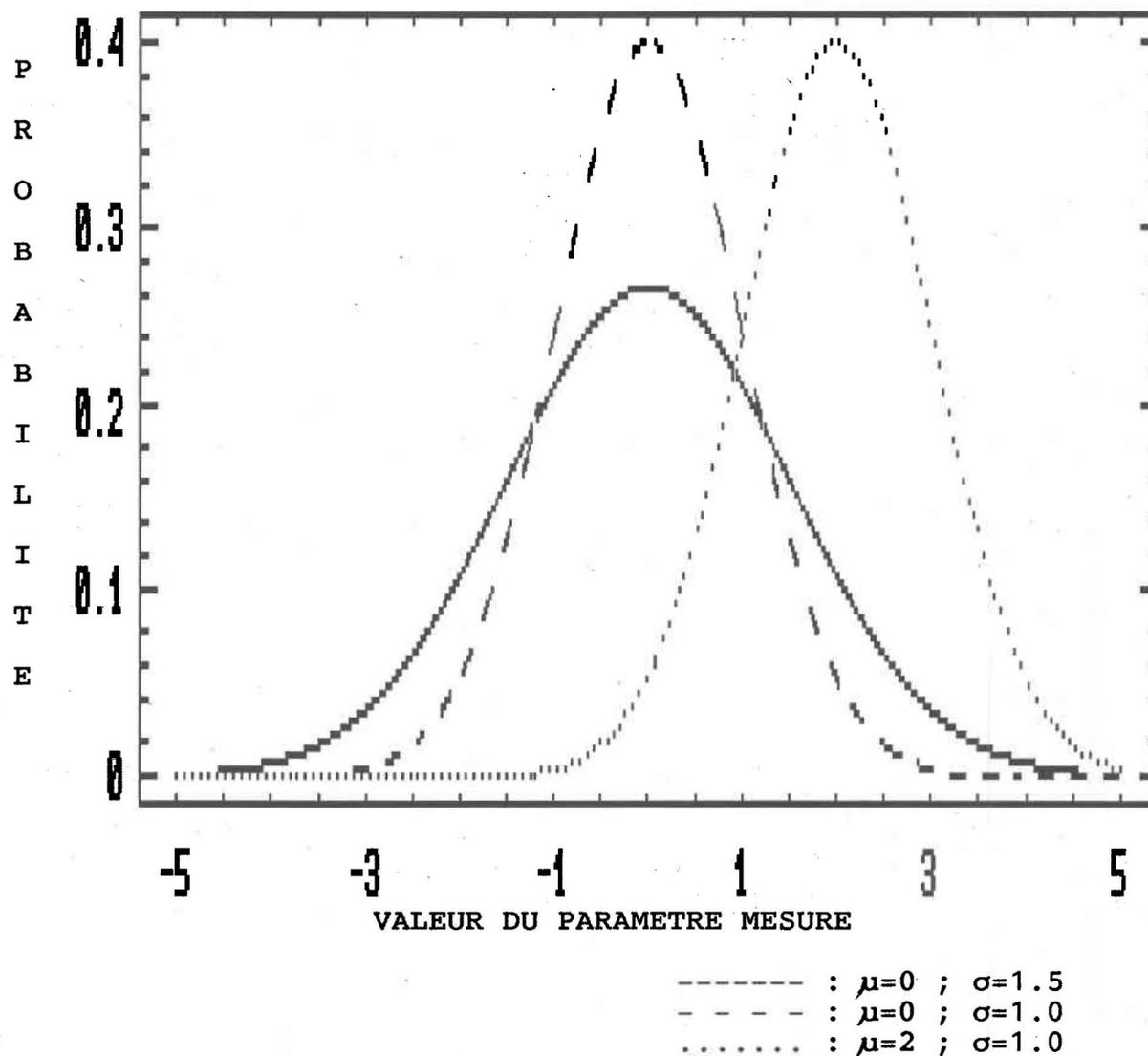


Figure 2 Exemple de trois distributions normales

2.3 DISTRIBUTION LOGNORMALE

La façon la plus simple de définir une telle distribution est de dire que la distribution des logarithmes des observations suit la loi normale (Atchison et Brown, 1957). On peut reconnaître une

telle population par la dissymétrie importante qui étire la distribution statistique vers les valeurs élevées.

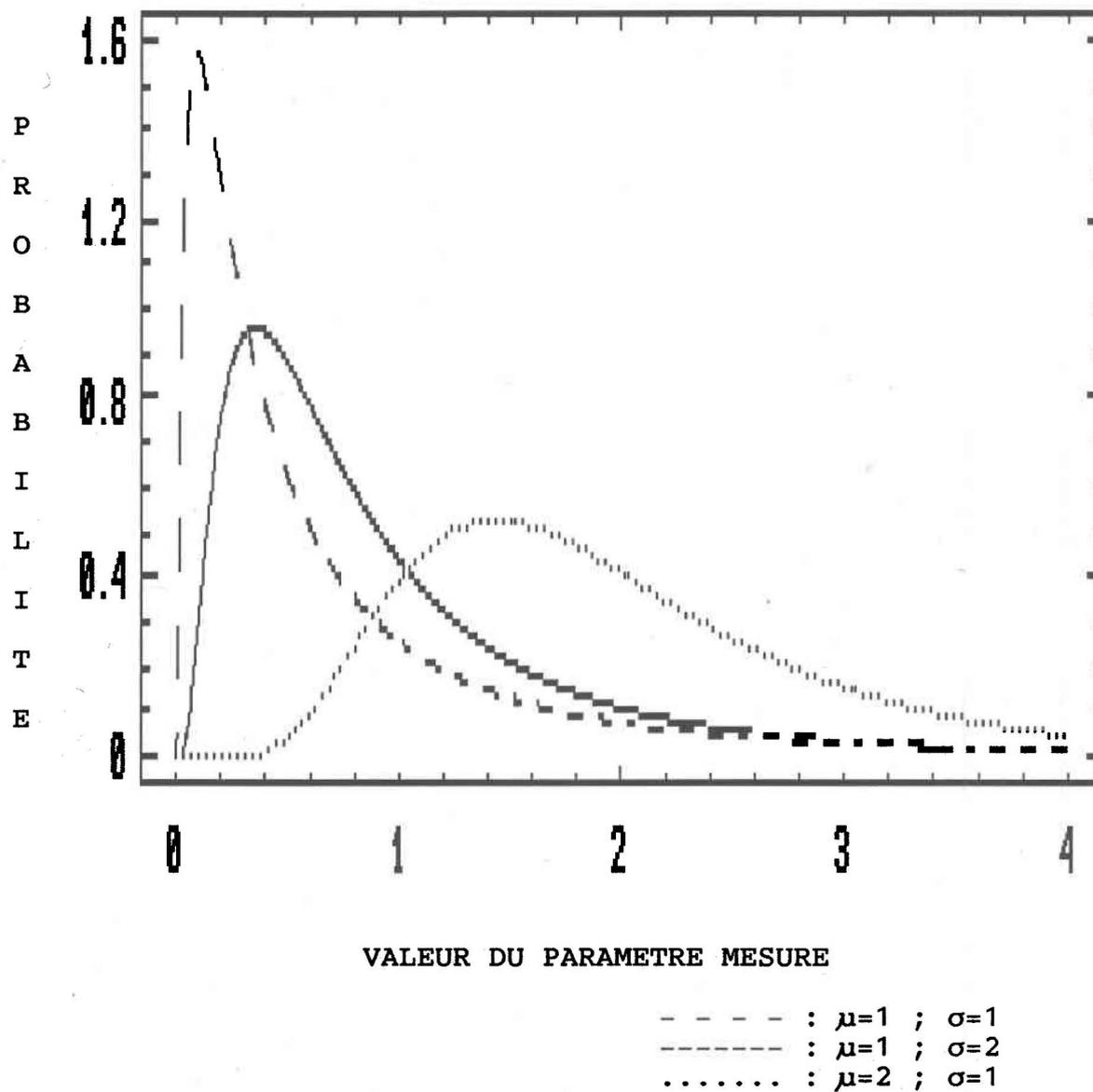


Figure 3 Exemple de trois distributions lognormales

La figure précédente illustre très bien le comportement de trois distributions lognormales vis à vis les différents paramètres statistiques.

Du fait des différences entre les populations normale et lognormale, la détermination des paramètres statistiques d'une distribution lognormale ne se fait pas avec les mêmes équations que pour une distribution normale. La première étape menant à l'estimation des paramètres statistiques d'une distribution lognormale consiste à calculer les logarithmes des observations puis d'en déterminer la moyenne (m) et la variance (s^2). Le mode, la médiane et la moyenne de la distribution initiale sont:

$$\text{mode} = \exp(m-s^2) \quad (6)$$

$$\text{médiane} = \exp(m) \quad (7)$$

$$\text{moyenne} = \exp(m+s^2/2) \quad (8)$$

(Warrick et Nielsen, 1980, p.323)

La médiane d'une telle distribution est aussi connue sous le terme de moyenne géométrique de la distribution lognormale. Noter que le logarithme de la moyenne géométrique d'une telle série d'observations est équivalent à la moyenne des logarithmes des valeurs de cette série.

La détermination de la variance de la population lognormale (σ^2) est donnée par:

$$\sigma^2 = [\exp(m+s^2/2)]^2 * [\exp(m)-1] \quad (9)$$

(Parkin et al., 1988, p.324)

A partir des relations précédentes on constate que pour une telle population le mode, la moyenne et la médiane ne coïncident plus. En réalité, le mode est toujours inférieur aux deux autres

paramètres de position, tandis que la moyenne est toujours celui le plus élevé, la médiane se trouvant entre la moyenne et le mode.

moyenne > médiane > mode

Cette propriété est caractéristique des distributions de dissymétrie positive.

2.4 TRAVAUX ANTERIEURS SUR L'ESTIMATION DES PARAMETRES STATISTIQUES DES POPULATIONS LOGNORMALES

Parkin et al. (1988) se sont intéressés au problème de l'estimation des paramètres statistiques des populations lognormales. Dans leur travail, ils testent trois méthodes d'estimation des paramètres statistiques par des tirages aléatoires de taille variant de 4 à 100. Ils se sont servis de trois populations lognormales dont les coefficients de variation étaient de 50%, 100% et 200%.

La première méthode d'estimation qu'ils présentent et qu'ils nomment la méthode des moments, utilise les formules mathématiques employées habituellement avec des mesures provenant d'une distribution normale.

Comme deuxième méthode, ils ont recours à ce qui convenu d'appeler la méthode conventionnelle, car c'est celle employée ordinairement pour évaluer les paramètres statistiques des populations lognormales. On a présenté les formules utilisées par cette méthode dans la partie précédente de ce chapitre.

Finally, the third estimation method tested was that of Finney. It is an estimation technique that was developed from the conventional method. It differs from the latter by the addition of a mathematical series, a function of the variance of the logarithms and the number of measurement points, to the estimation formulas. The details of this technique are described in the works of Parkin et al. (1988) and Aitchison and Brown (1957).

Parkin et al. (1988) do not express the bias in terms of under-evaluation or over-evaluation. It seems however important to know if one of the two tendencies is privileged. In addition, they do not interest themselves in the number of precise estimations obtained with each of the methods. Even though their results and their approach are very interesting, one considers that their work is not complete enough to allow for the development of a methodology for the acquisition of field data.

Wilson, Adams and Karney (1990) have developed mathematical expressions allowing for the quantification of the bias during the estimation of the mean and the standard deviation of a lognormal population when the conventional method is used. The bias is, according to them, a function of the sample size and of the true variance of the logarithmic transformed observations. Unfortunately, this method is very difficult to use because one rarely knows precisely the variance of the population of logarithmic transformed observations, we only have an evaluation.

3. DESCRIPTION DU SITE ET EXPERIMENTATION

3.1 DESCRIPTION DU SITE

Le site retenu pour la réalisation de l'étude se situe à 25 km à l'ouest de la ville de Québec, à Saint-Augustin-de-Desmaures (comté de Portneuf), à la station expérimentale du Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec sur les terres de la ferme agronomique de l'Université Laval.

Le sol s'apparente à la série Saint-Antoine, constitué de matériaux perturbés en surface. C'est une unité peu fertile et faiblement pierreuse classée comme loam sableux graveleux. Son épaisseur moyenne est d'environ 1.6 m et cet ensemble repose sur des tills. La parcelle échantillonnée constitue la limite inférieure d'une terrasse alluviale de pente variant entre 2% et 5%. Elle était plantée au cours de l'été 1989, à l'époque de notre échantillonnage, en pomme de terre.

3.2 EXPERIMENTATION

3.2.1 Echantillonnage

L'échantillonnage a eu lieu durant le mois de Juin 1989. Cette investigation fut réalisée selon deux grilles d'échantillonnage. Une grille de 30 stations, répartis en 6 colonnes distantes de 15 m et 5 rangées distantes de 6 m, ce qui représente une surface d'à peu près un quart d'hectare. La seconde grille couvrait environ 1

hectare et contenait 55 trous de forage selon 11 rangées distantes de 12 m et 5 colonnes distantes de 15 m.

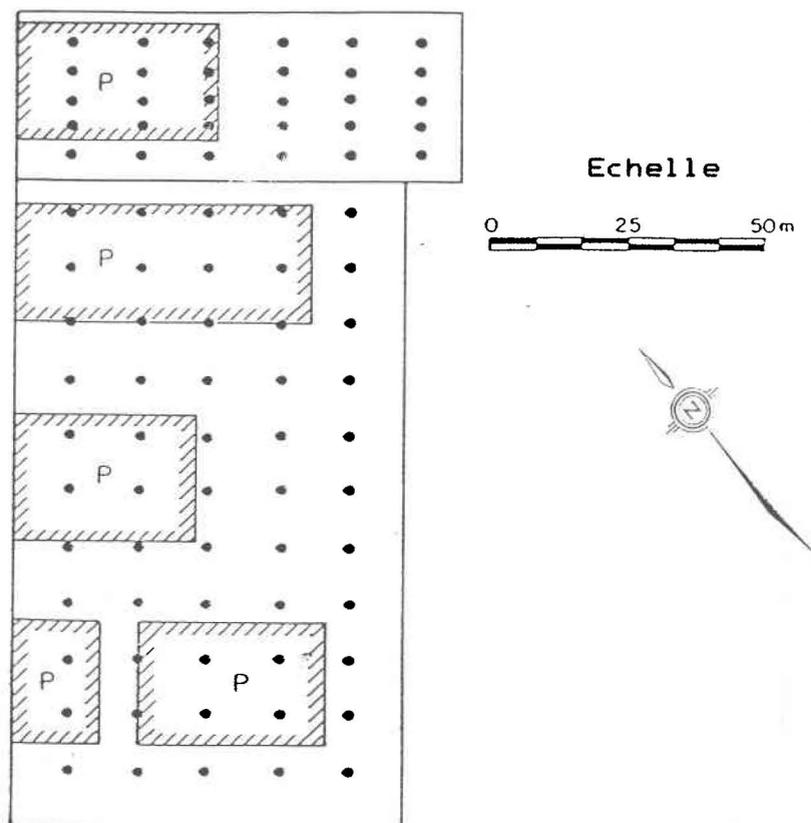


Figure 4 Aperçu des grilles d'échantillonnage

Des échantillons ont été prélevés à trois profondeurs différentes; de 0,05 m à 0,15 m; de 0,40 m à 0,50 m et de 0,85 m à 0,95 m. Ces profondeurs furent identifiés A,B et C en partant du plus près de la surface vers celui le plus profond, sans référence aux horizons et à la convention pédologique. Une tarière "Riverside" de 10 cm de diamètre permettait d'atteindre les

profondeurs désirées. Ensuite une carotte de sol non remanié d'un diamètre de 5,7 cm était retirée grâce à un préleveur à douille enfoncée par frappe à la masse.

3.2.2 Propriétés mesurées

Des mesures de la conductivité hydraulique en sol saturé ont été pratiquées *in situ*, sur l'horizon A, à l'aide d'un infiltromètre à charge constante. Cet infiltromètre dont le fonctionnement est très simple, est une adaptation des méthodes de Porchet et "shallow-well pump-in" (Banton *et al.*, 1991).

En laboratoire, la porosité et la conductivité hydraulique furent mesurées sur les échantillons des profondeurs A, B et C.

La mesure de la porosité nécessite de peser l'échantillon saturé en eau puis de le repeser après séchage. La différence entre les deux mesures est interprétée comme le poids de l'eau présent dans les vides de l'échantillon. L'indice des vides correspond alors au rapport des volumes.

En mesurant le volume d'eau passant à travers l'échantillon durant une période de temps connue et pour une hauteur d'eau constante au-dessus de la surface du sol, on peut alors appliquer la loi de Darcy pour mesurer la conductivité hydraulique du milieu. La caractérisation de la conductivité hydraulique des échantillons a été réalisée avec une période d'écoulement à travers l'échantillon de 2 heures et avec une charge hydraulique de 10 cm.

Grâce au montage, il était possible de faire 12 mesures de la conductivité hydraulique à la fois, ce qui rendait possible, en une seule journée, de réaliser 36 mesures.

3.2.3 Caractéristiques statistiques des populations

Pour répondre au but du projet, le choix des populations échantillonnées, devait être fait afin d'avoir au moins une population pour chaque type de distribution normale et lognormale. De plus, pour qu'une population soit considérée, il ne devait idéalement pas y avoir de différence significative entre les mesures des deux grilles. En annexe se trouve donc les tests statistiques qui ont permis de comparer les deux grilles de populations. La porosité de l'horizon B, la conductivité hydraulique in situ (horizon A) et ainsi que la conductivité hydraulique mesurée en laboratoire de l'horizon B furent les populations choisies, suivant les critères d'homogénéité statistique précédemment décrits.

3.2.3.1 Population normale

La porosité de l'horizon B représente une population dont la distribution statistique est normale. A la figure 5 on peut voir d'après l'histogramme de fréquence de cette propriété, que la distribution s'ajuste à la loi normale. La moyenne est de 36,76;

alors que l'écart-type est de 4,51. Le rapport de ces deux moments donne un coefficient de variation de 12%. Les autres paramètres statistiques sont compilées au tableau 1.

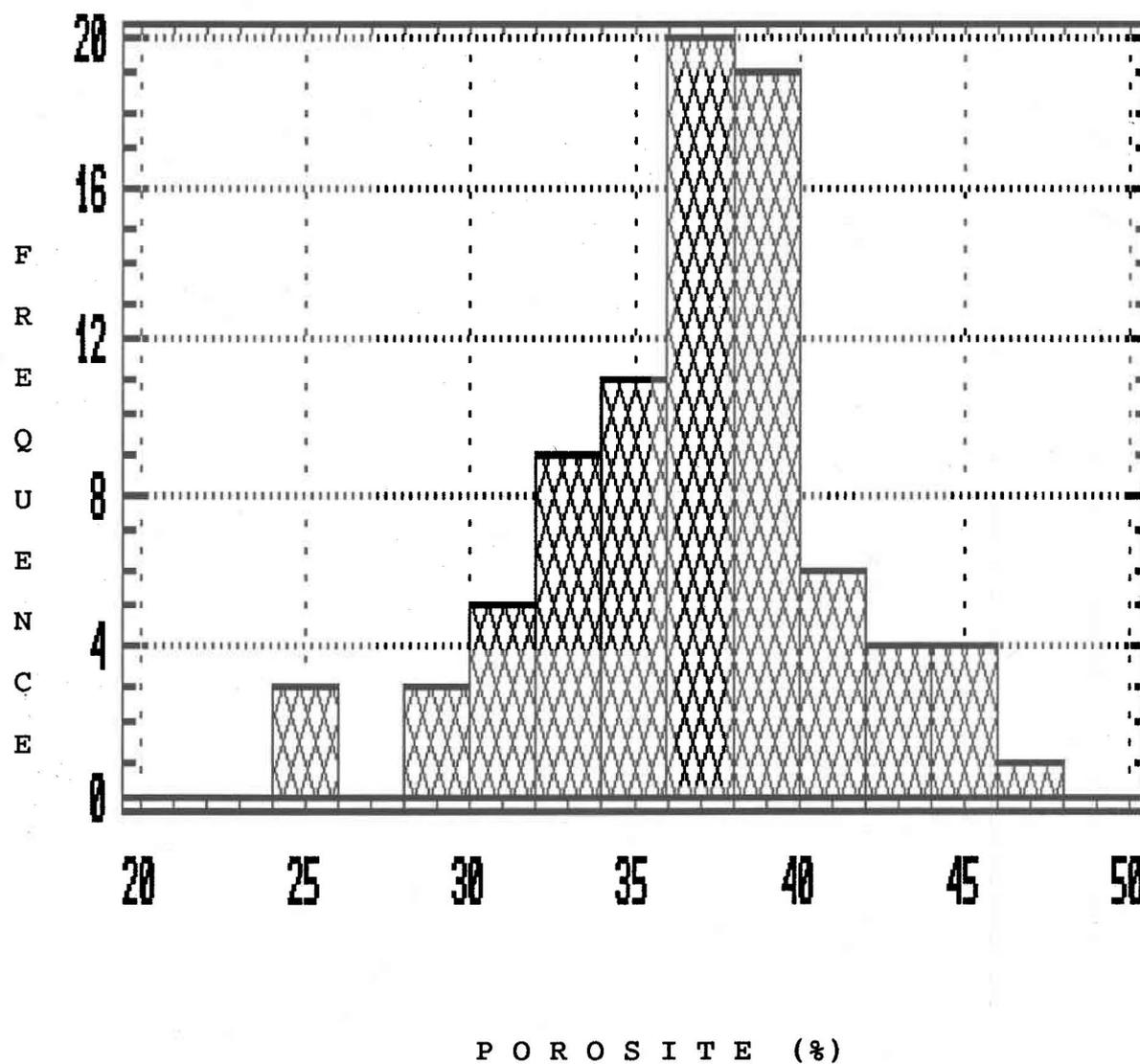


Figure 5 Histogramme de fréquence de la porosité

3.2.3.2 Populations lognormales

Après l'examen des résultats il a été décidé de conserver deux populations lognormales. Une dont le coefficient de variation était très élevé (371%) et une autre en possédant un plus faible (87%). Comme le montre les figures 6 et 7, ce sont deux populations différentes à partir desquelles sera comparée la précision de l'estimation des paramètres statistiques. C'est ainsi que sera mis en évidence la difficulté d'estimer correctement la moyenne et l'écart-type de telles distributions. Au tableau 1, on résume les caractéristiques statistiques de chacune des populations retenues pour la poursuite de l'étude.

TABLEAU 1 Caractéristiques statistiques des populations

	POPULATION NORMALE	POPULATIONS LOGNORMALES	
	POROSITE (%)	CONDUCTIVITE IN SITU (cm/jr)	HYDRAULIQUE EN LAB.
TAILLE DE L'ECHANTILLON	85	84	85
MOYENNE	36.76	2.03	32.01
MEDIANE	37.20	1.54	8.33
MODE	36.20	0.88	0.56
VARIANCE	20.32	3.10	14101.56
ECART-TYPE	4.51	1.76	118.75
COEFFICIENT DE VARIATION	12.3 %	86.7 %	371.0 %

A la figure 6 on illustre l'histogramme de fréquence de la conductivité hydraulique in situ (horizon A).

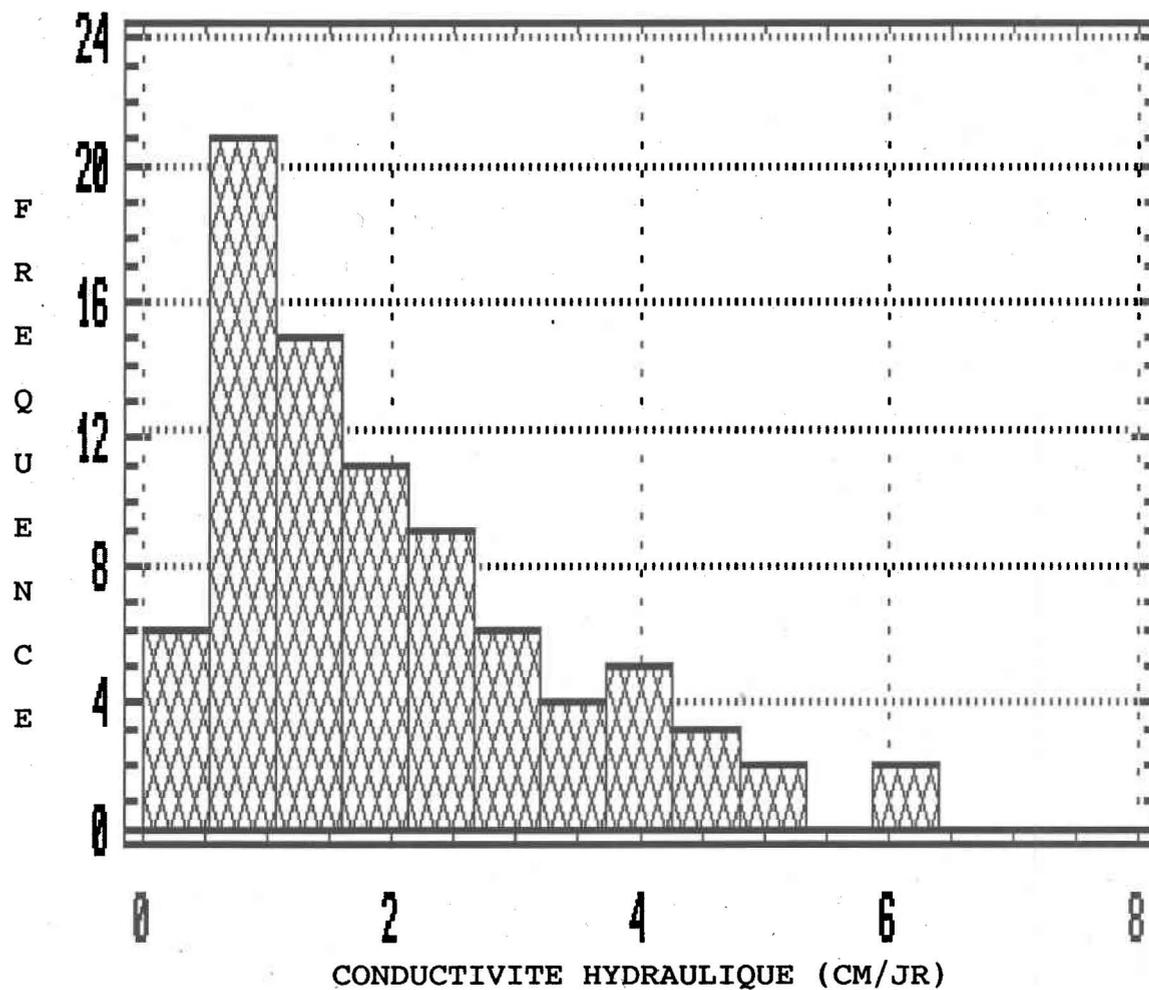


Figure 6 Histogramme de fréquence de la conductivité hydraulique in situ

On remarque la nette dissymétrie gauche, une des particularités des populations lognormales. La conductivité hydraulique in situ est la population lognormale dont le coefficient de variation est le plus faible, sa valeur étant de

86,7%. On remarque en effet, au tableau 1, que pour cette population la moyenne et l'écart-type sont du même ordre de grandeur.

La deuxième population lognormale retenue, montrée à la figure 7, est la conductivité hydraulique de l'horizon B, mesurée en laboratoire.

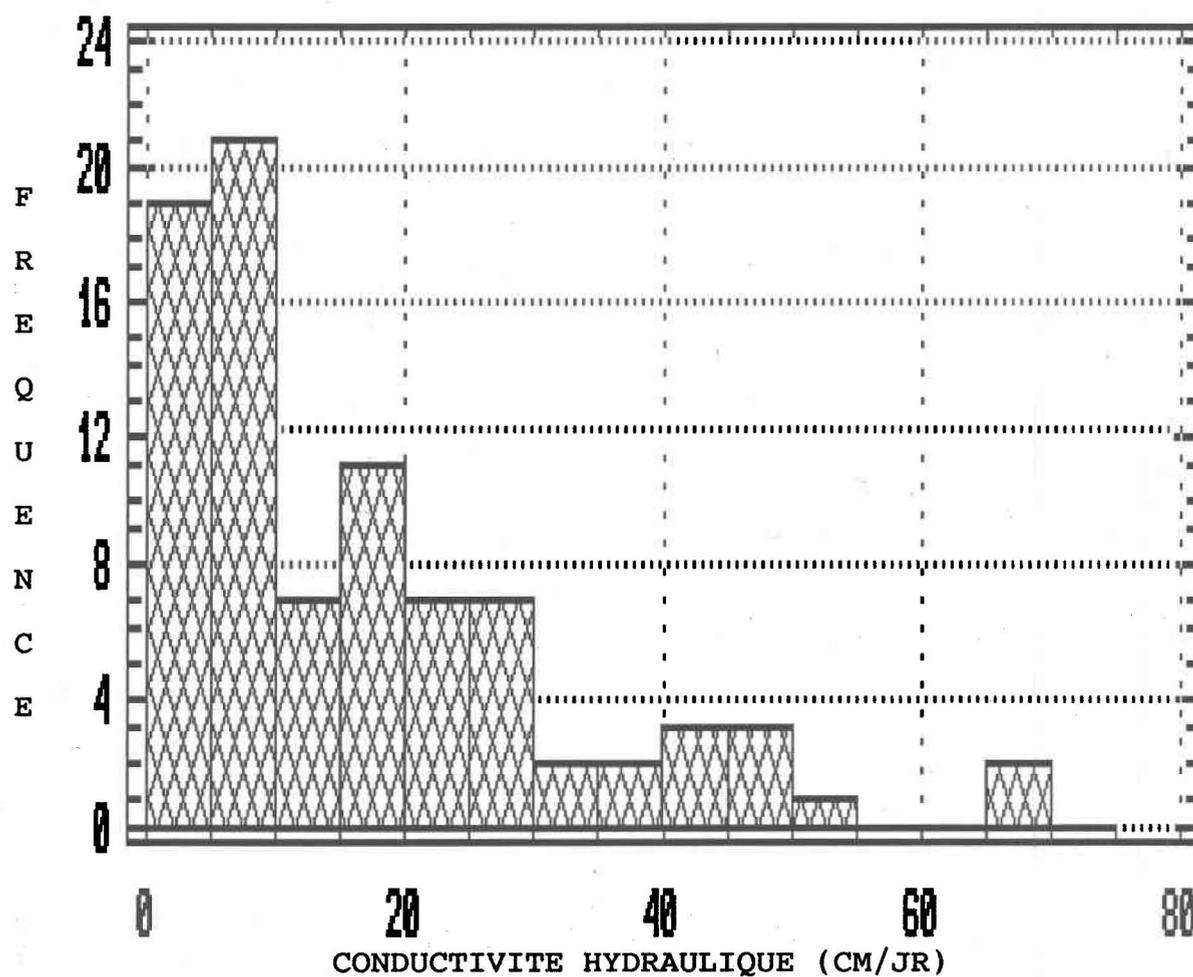


Figure 7 Histogramme de fréquence de la conductivité hydraulique mesurée en laboratoire

Dans le cas de cette population l'écart-type est 3,7 fois supérieur à la moyenne, comme exprimé par son coefficient de variation de 371,0%.

3.3 TIRAGES ALEATOIRES

3.3.1 Choix de la méthode

Comme démarche, on a choisi de réaliser plusieurs tirages aléatoires simples de tailles différentes afin d'apprécier le gain de précision réalisé avec l'augmentation de la taille des échantillons lors de l'estimation des paramètres statistiques. Cette procédure fut réalisée avec chacune des populations retenues. Pour la réalisation des tirages aléatoires nous avons eu recours à un micro-ordinateur. On trouve en annexe chacun des programmes informatiques en langage BASIC employés pour réaliser ces tirages. Bien que plusieurs furent utilisés, tous fonctionnent selon le même principe, seul le bloc de calcul et les tests de comparaison varient de l'un à l'autre, car ils n'emploient pas nécessairement d'une population à l'autre les mêmes formules d'estimation.

3.3.2 Programmes informatiques

Dans ce travail chaque programme informatique a pour but d'aller tirer aléatoirement parmi toutes les observations d'une

population, 1000 échantillons d'une taille donnée et de calculer la moyenne et l'écart-type de chacun des échantillons. Les tailles des échantillons sont paires et varient de 2 à 30. Le même programme est employé pour toutes les tailles différentes. On n'a qu'à changer le fichier de destination des résultats et à fixer la taille désirée avant de mettre en marche le programme.

Chaque programme est construit de manière à ce qu'une même mesure ne puisse être utilisée plus d'une fois dans un même échantillon. Cependant, chaque observation possède une chance égale de faire partie de l'échantillon.

Lorsque la moyenne et l'écart-type sont évalués, ils sont comparés avec ceux de la population totale. Chaque programme permet alors le comptage du nombre d'évaluations précises à $\pm 15\%$, $\pm 10\%$ et $\pm 5\%$ des vraies caractéristiques statistiques de la population. On trouve en annexe tous les résultats des tirages aléatoires.

4. RESULTATS DES TIRAGES ALEATOIRES POUR LA POPULATION NORMALE

4.1 Présentation des graphiques

Afin de mieux synthétiser l'importante somme de résultats des tirages aléatoires, on a choisi la forme graphique pour les représenter. Cette représentation donne l'avantage de pouvoir visualiser rapidement beaucoup d'informations et d'en saisir plus promptement les conclusions les plus pertinentes. De plus, on s'est limité à utiliser seulement deux types de graphique, peu importe la forme de la distribution de la population.

Avec le premier type de graphique on présente, pour la moyenne ou pour l'écart-type, les minimums et les maximums évalués en fonction de la taille des échantillons de tirages aléatoires. Les minimums forment une courbe ascendante tandis que les maximums une courbe descendante. Ces graphiques présentent par une ligne horizontale la vraie valeur du paramètre statistique de la population étudiée. La figure 8 est un très bon exemple de ce type de représentation.

L'autre type de graphique utilisé présente les résultats des comptages lors de la vérification de l'écart ($\pm 15\%$, $\pm 10\%$, $\pm 5\%$) entre les paramètres statistiques estimés (moyenne ou écart-type) et la vraie valeur du paramètre statistique de la population. On cherche alors à traduire les résultats en terme d'efficacité pour des estimations précises à $\pm 15\%$, $\pm 10\%$ ou $\pm 5\%$ de la vraie valeur de

la caractéristique statistique. Avec ce type de graphique, le pourcentage d'estimation exacte est exprimé, lui aussi, en fonction de la taille des échantillons. La grande majorité de ces schémas montre trois courbes qui tendent vers 100%. La figure 9 illustre bien un exemple de ce genre de graphique.

4.2 Estimation de la moyenne

A la figure 8 on propose l'évolution des moyennes minimales et maximales de la porosité, estimées en fonction de la taille des échantillons lors des tirages aléatoires. On note une augmentation rapide de la précision avec l'augmentation de la taille des échantillons (n). Lorsque la dimension des échantillons croît, la diminution de la dispersion est cependant de moins en moins importante.

On remarque aussi la symétrie des deux courbes par rapport à la vraie moyenne de la population. Cette symétrie évidente même aux petite tailles d'échantillons est un résultat qui ne surprend pas, étant donnée la forme de la distribution statistique de laquelle proviennent les échantillons aléatoires. En effet, Dagnélie (1975) précise que si la distribution de la population est normale, la distribution d'échantillonnage de la moyenne est elle-même normale, en vertu des propriétés des variables normales.

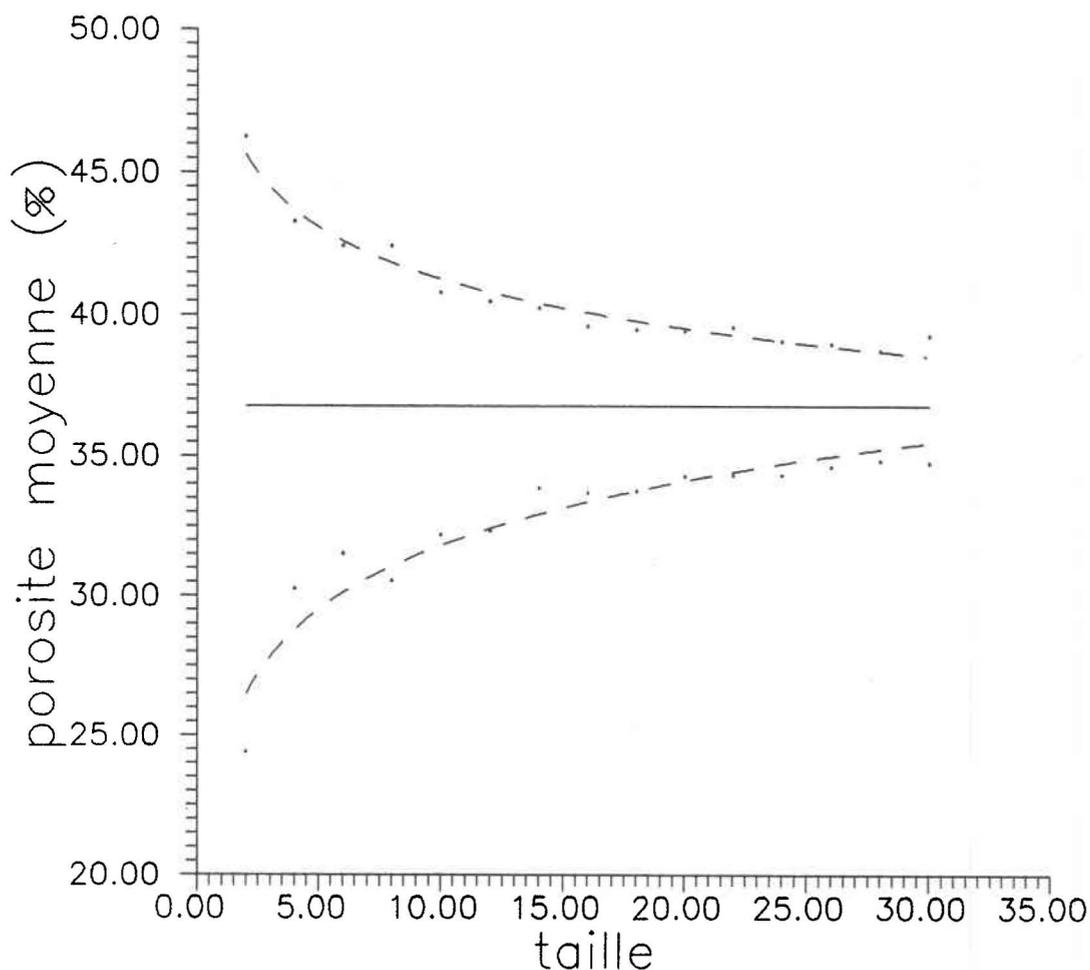


Figure 8 Porosités moyennes minimales et maximales en fonction de la taille des échantillons

Selon cet auteur, pour une population normale la distribution d'échantillonnage de la moyenne est complètement définie par la moyenne et la variance de la population. L'augmentation de la précision observée, lors de l'évaluation de la moyenne, aurait été beaucoup moins rapide si le coefficient de variation de la porosité avait été plus grand et l'inverse également vrai. On peut donc ajouter que l'estimation de la moyenne n'est pas plus privilégiée vers la sous-estimation que vers la surévaluation.

Puisque le graphique précédent ne donne que les limites maximales et minimales des estimations, ces derniers résultats seraient incomplets si on ne pouvait connaître, dans chacun des cas, le nombre d'estimations précises à $\pm 15\%$, $\pm 10\%$ ou $\pm 5\%$ des vraies caractéristiques statistiques de la population. Cette connaissance du nombre d'estimations précises est nécessaire afin de connaître l'efficacité des méthodes d'évaluation.

4.3 Efficacité de l'estimation de la moyenne

On constate en observant la figure 9 que l'estimation de la moyenne est assez fiable dans le sens qu'à chacune des précisions on atteint la limite de 100% des estimations exactes à une taille d'échantillon assez petite. Ainsi, la totalité des estimations étaient précises à $\pm 15\%$ lorsque $n \geq 6$, à $\pm 10\%$ lorsque $n \geq 14$ et à $\pm 5\%$ lorsque $n \geq 30$. Cet accroissement non-linéaire de "n", indique que pour une meilleure précision que $\pm 5\%$, la taille de l'échantillon devrait être très grande.

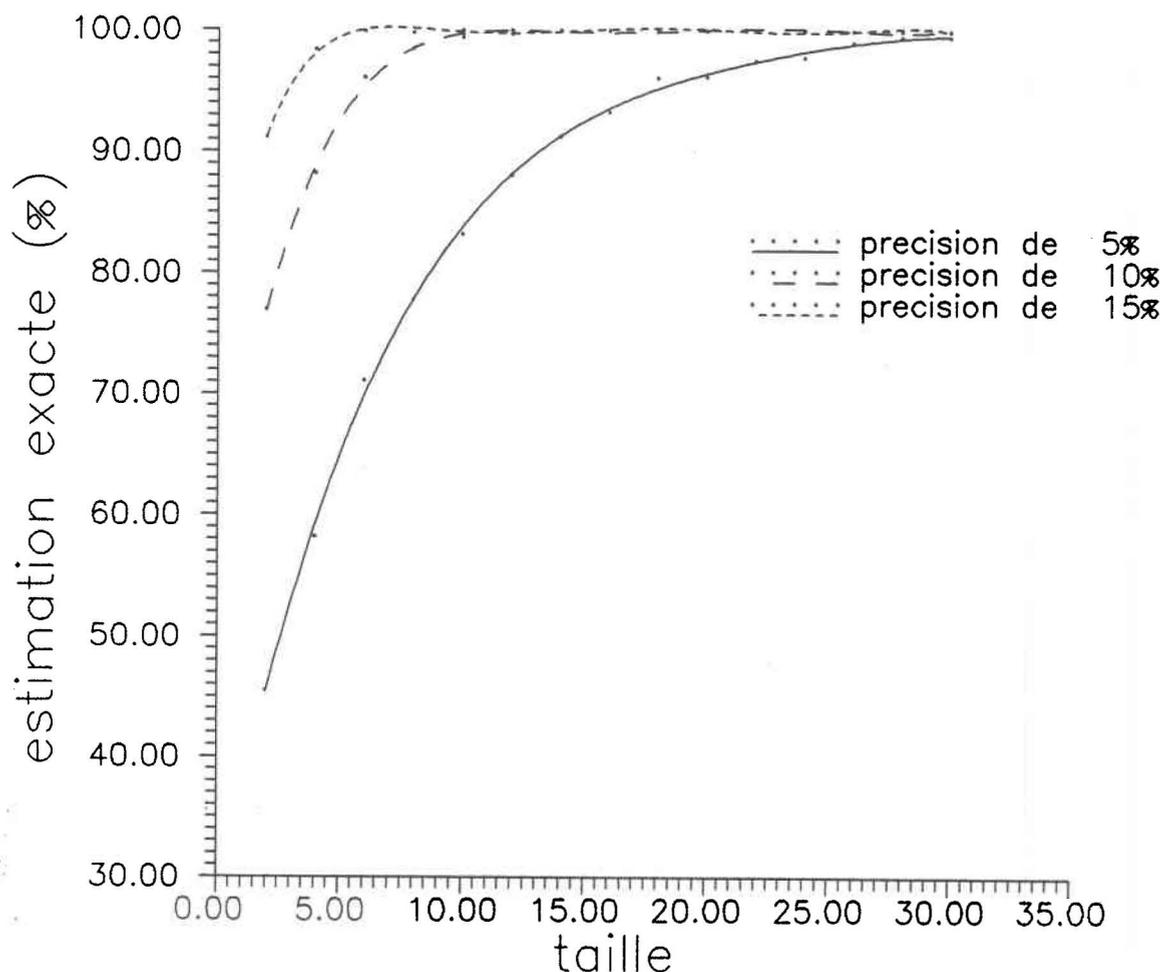


Figure 9 Efficacité de l'estimation de la porosité moyenne en fonction de la taille des échantillons

Cependant, il faut noter que n'ayant pas exécuté les tirages aléatoires parmi une population contenant un nombre infini d'individus. Ceci a pour effet de décaler quelque peu les trois courbes vers des valeurs plus petites de "n". Cet effet est d'autant plus important lorsque la taille des échantillons prélevés représente une proportion importante de la population finie. Pour pallier à cet inconvénient on peut appliquer une correction. Ainsi, avec la correction pour les précisions de $\pm 15\%$ et $\pm 10\%$ les courbes

seraient pratiquement inchangées, alors que pour la précision de $\pm 5\%$ la courbe serait décalée vers des valeurs plus élevées de "n". La correction qu'il faut appliquer dans ce cas est:

$$n = n_0 / (1 - n_0/N) \quad (10)$$

n = Taille d'échantillon corrigée pour une population infinie

n_0 = Taille d'échantillon pigée dans la population finie

N = Taille de la population

(Gilbert, 1987, p.31)

Noter que le graphique précédent et tous ceux de ce genre qui suivront n'ont cependant pas été corrigés. Le fait de ne pas avoir corrigé ce type de graphique n'aura pas de conséquences sérieuses sur les conclusions qu'on tirera de ceux-ci. En effet, sur un même graphique chaque courbe subit un décalage dans le même sens, proportionnel à la taille d'échantillon tirée dans la population finie.

4.4 Estimation de l'écart-type

Les résultats de la détermination des écarts-types minimaux et maximaux sont présentés à la figure 10. On remarque à l'examen de cette figure l'absence de symétrie aux faibles valeurs de "n" ($n \leq 8$), tandis que la symétrie s'installe aux grandes tailles d'échantillon. La distribution d'échantillonnage de la variance s'ajustant à une distribution khi-deux à $k=n-1$ degrés de liberté (n = taille de l'échantillon) (Deming, 1966, p.515) est responsable

de ce manque de symétrie.

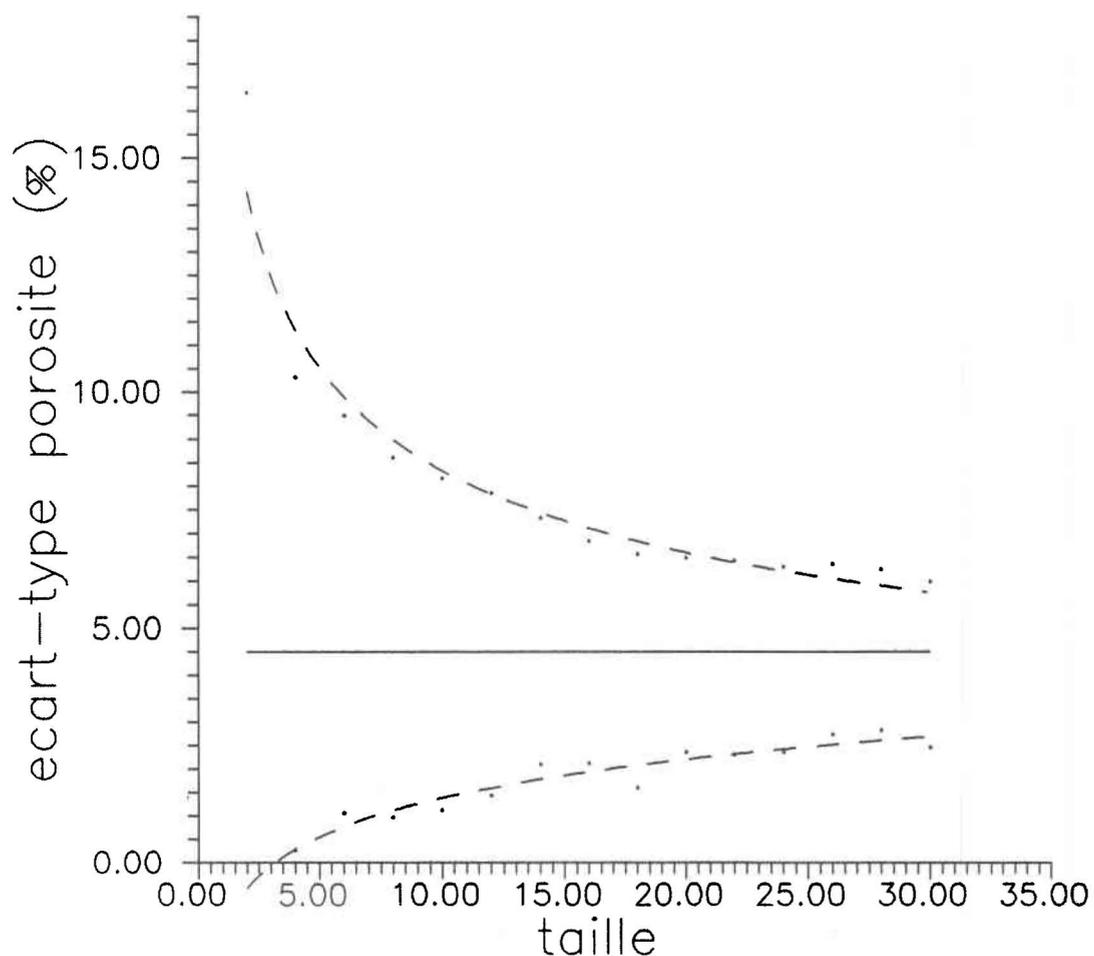


Figure 10 Ecarts-types minimaux et maximaux de la porosité en fonction de la taille des échantillons

Avec ce type de distribution statistique, la dissymétrie s'estompe lorsque le nombre de degrés de liberté augmente et la distribution d'échantillonnage ressemble alors plus à une distribution normale (Dagnélie, 1975, p.239).

Il est très intéressant de noter, d'après Deming (1966, p.512,) que le pic de la distribution d'échantillonnage des écarts-types estimés se situe en deçà de la vraie valeur de l'écart-type de la population, mais à mesure que "n" grandit le sommet de cette distribution d'échantillonnage se rapproche de la véritable valeur de l'écart-type. On remarque donc qu'en réalité la sous-estimation de l'écart-type est plus fréquente que la surévaluation. Cependant, lorsqu'il y a surestimation on peut surestimer de beaucoup l'écart-type, surtout lorsqu'on possède peu de points de mesure. Je réfère à l'annexe 4 le lecteur qui désire connaître la valeur du sommet de chaque distribution d'échantillonnage.

4.5 Efficacité de l'estimation de l'écart-type

Comme on le remarque à la figure 11 on obtient moins de succès avec l'estimation de l'écart-type que lors de l'estimation de la moyenne. Ce plus faible nombre d'estimations exactes ne surprend guère. La distribution d'échantillonnage de la variance est une cause importante de ce comportement. Rappelons que cette distribution n'est pas une distribution normale mais une khi-deux avec $k=n-1$ degrés de liberté. Ainsi, les chances d'une estimation exacte sont plus faible avec peu d'informations, mais que l'incertitude diminue rapidement à mesure qu'on acquiert de l'information.

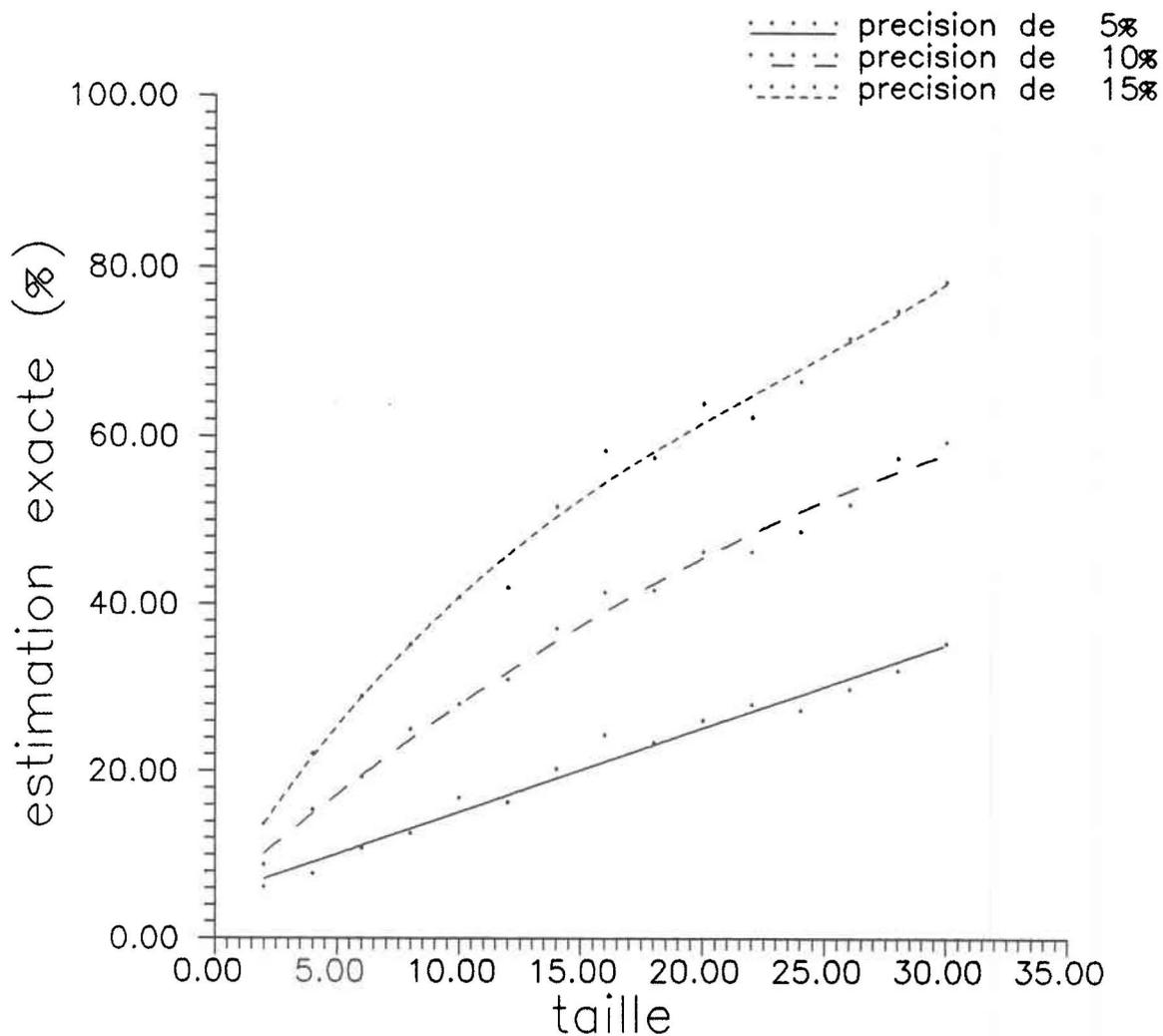


Figure 11 Efficacité de l'estimation de l'écart-type de la porosité en fonction de la taille des échantillons

Enfin, ces résultats indiquent qu'on doit avoir moins confiance en l'estimation de l'écart-type qu'en celle de la moyenne, surtout si on possède peu d'informations.

4.6 Autres façons d'estimer l'écart-type

Dans les paragraphes précédents on a mis en évidence que l'évaluation de la moyenne est plus précise que celle de l'écart-type. On peut cependant se servir de la moyenne évaluée pour trouver la valeur de l'écart-type. En effet, la relation du coefficient de variation ($cv=\sigma/u$), offre la possibilité d'évaluer l'écart-type d'une population si on a mesuré sa moyenne et qu'on est en mesure de connaître la valeur du coefficient de variation de cette population. Bien entendu, la justesse de l'écart-type estimé de cette façon, sera fonction de l'authenticité des évaluations de la moyenne et du coefficient de variation. Cependant, dans bien des cas, surtout lorsque la taille de l'échantillon est petite, cette technique peut apporter une très bonne amélioration de l'estimation de l'écart-type par rapport à la méthode utilisée habituellement.

Par contre c'est une technique qui laisse place à la subjectivité dans le choix du coefficient de variation, ce qui n'est certainement pas souhaitable à toutes les occasions. Mais avec une très bonne recherche bibliographique ou une bonne connaissance du contexte physique on peut évaluer des valeurs de coefficient de variation réaliste. Il est nécessaire dans un tel cas d'orienter la recherche de ce paramètre à l'intérieur du même groupe pédologique du sol étudié, ou au niveau de la formation pédologique, ou encore sur des sols semblables.

5. RESULTATS DES TIRAGES ALEATOIRES DANS LES
POPULATIONS LOGNORMALES

5.1 Méthodes d'estimation choisies

On a choisi d'exploiter trois méthodes d'estimation des paramètres statistiques. En premier lieu on a utilisé la méthode conventionnelle, usuellement employée avec les populations lognormales. La méthode des moments qui fut la deuxième testée, utilise les observations comme si elles provenaient d'une population normale. Finalement, on a voulu vérifier si la médiane d'une distribution lognormale n'était pas un meilleur estimateur de la moyenne d'une telle distribution. Dans ce cas, la médiane évaluée était considérée comme étant la moyenne et elle servait alors à l'évaluation de l'écart-type de la distribution par la formule employée avec la méthode conventionnelle.

On a utilisé les deux mêmes types de graphiques que ceux employés pour la représentation des résultats du chapitre 4 pour la distribution normale. Afin de mieux comparer chacune des méthodes, par rapport aux deux autres, et de diminuer le nombre de figures, les résultats portant sur l'estimation d'un paramètre par chacune des trois méthodes se retrouvent sur le même graphique. Ainsi, les minimums et les maximums d'un paramètre estimés par les trois méthodes, pour une seule population sont sur le même graphique. Le graphique du nombre d'estimations précises confronte les courbes du $\pm 15\%$ de précision pour les trois méthodes sur le même graphique et ce pour chaque population et chaque paramètre

statistique. Cependant on peut trouver en annexe les graphiques comparant, pour chaque méthode d'estimation et pour chaque paramètre statistique, les courbes des autres précisions, c'est-à-dire celles de $\pm 10\%$ et $\pm 5\%$.

5.2 Estimation de la moyenne d'une population lognormale

5.2.1 Population peu variable

Cette population peu variable est représentée par la conductivité hydraulique in situ de l'horizon A dont l'histogramme de fréquence est présenté à la figure 6.

A la figure 12, on montre les moyennes minimales et maximales estimées par les trois méthodes d'évaluation lors de la réalisation des tirages aléatoires.

Les trois méthodes présentent des courbes asymétriques par rapport à la vraie moyenne de la population. Cette asymétrie, surtout évidente lorsque la taille des échantillons est faible, porte à croire qu'il est possible de beaucoup surestimer la moyenne avec chacune des méthodes. Ces résultats indiquent, qu'aux faibles tailles d'échantillon, que la distribution d'échantillonnage de la moyenne d'une population lognormale, ne s'ajuste pas exactement à une distribution normale. Cependant, dans la littérature on n'a pas pu trouver d'information sur la forme de cette distribution d'échantillonnage sauf, qu'à mesure que "n" augmente elle s'adapte

de plus en plus à une loi normale (Warrick et Nielsen, 1980).

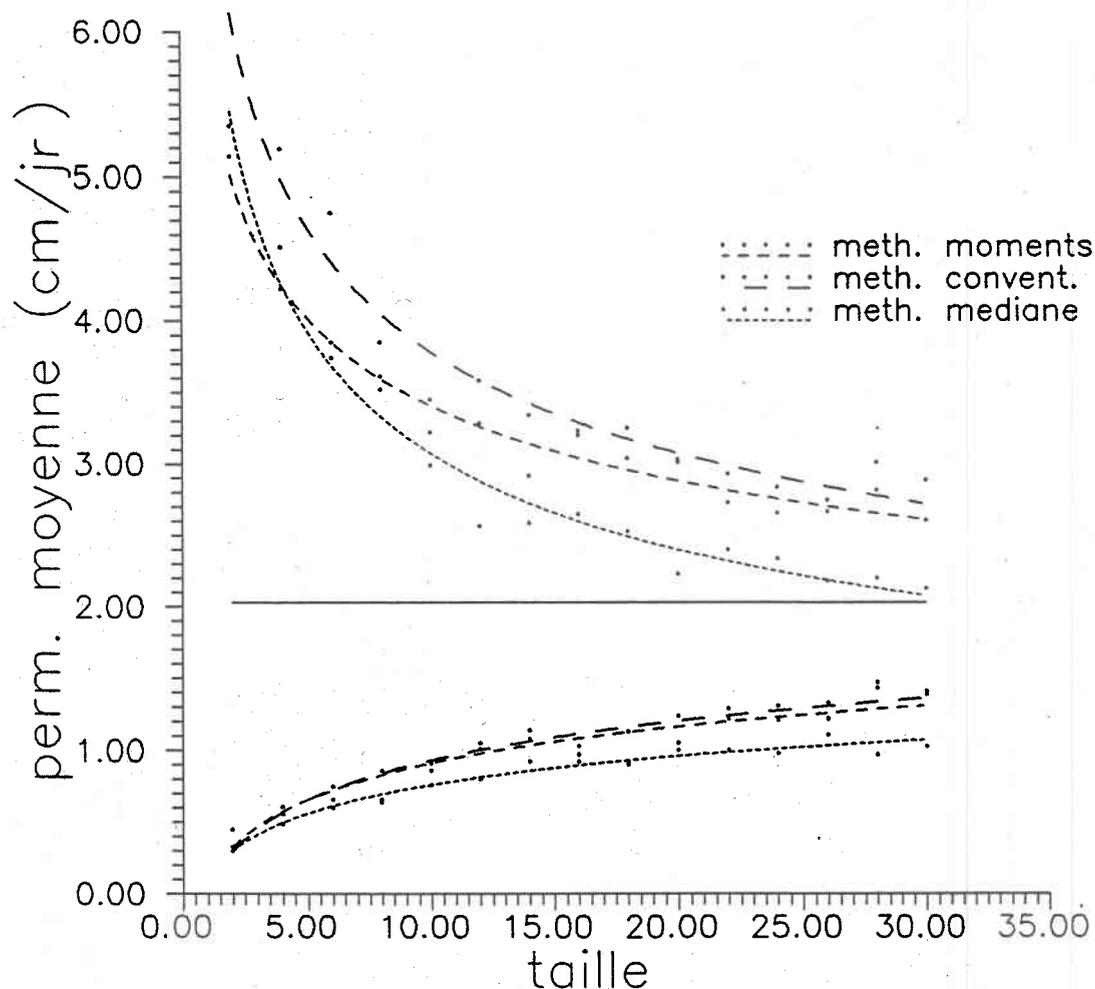


Figure 12 Moyennes minimales et maximales de la conductivité hydraulique in situ estimées par trois méthodes

Si, entre les trois méthodes, les limites minimales d'évaluation sont pratiquement comparables, on constate quelques différences pour les limites supérieures estimées. Ainsi, on peut observer que la méthode conventionnelle montre à chaque taille d'échantillon, la moyenne maximale la plus élevée, mais on note également qu'à mesure où l'information devient disponible, les

moyennes estimées par cette méthode tendent de plus en plus vers la vraie moyenne de la population. Ceci ne s'observe pas avec les estimations par la méthode de la médiane, où l'on remarque que les évaluations de celle-ci tendent vers une sous-estimation de la vraie moyenne; certainement vers la médiane de la population. Cependant, aux petites tailles d'échantillon la médiane semble être un meilleur estimateur de la moyenne que la méthode conventionnelle. Par contre, la méthode d'estimation qui a amené les estimations générales les moins biaisées est celle des moments. On soupçonne que cette méthode doive ici sa performance à la faible variation des valeurs de conductivité hydraulique in situ; les valeurs de cette propriété s'étalant de 0 à 6,5 cm/jr.

5.2.2 Population très variable

Il s'agit dans ce cas de la conductivité hydraulique, de l'horizon B, mesurée en laboratoire. L'histogramme de fréquence de cette population est montré à la figure 7.

Les résultats de l'estimation de la moyenne par les trois méthodes sont présentés à la figure 14. On remarque immédiatement beaucoup de différences entre les estimations par la méthode conventionnelle et celles réalisées par les deux autres méthodes. Avec la méthode conventionnelle une surestimation très importante de la moyenne fut fréquemment observée à plusieurs tailles d'échantillon.

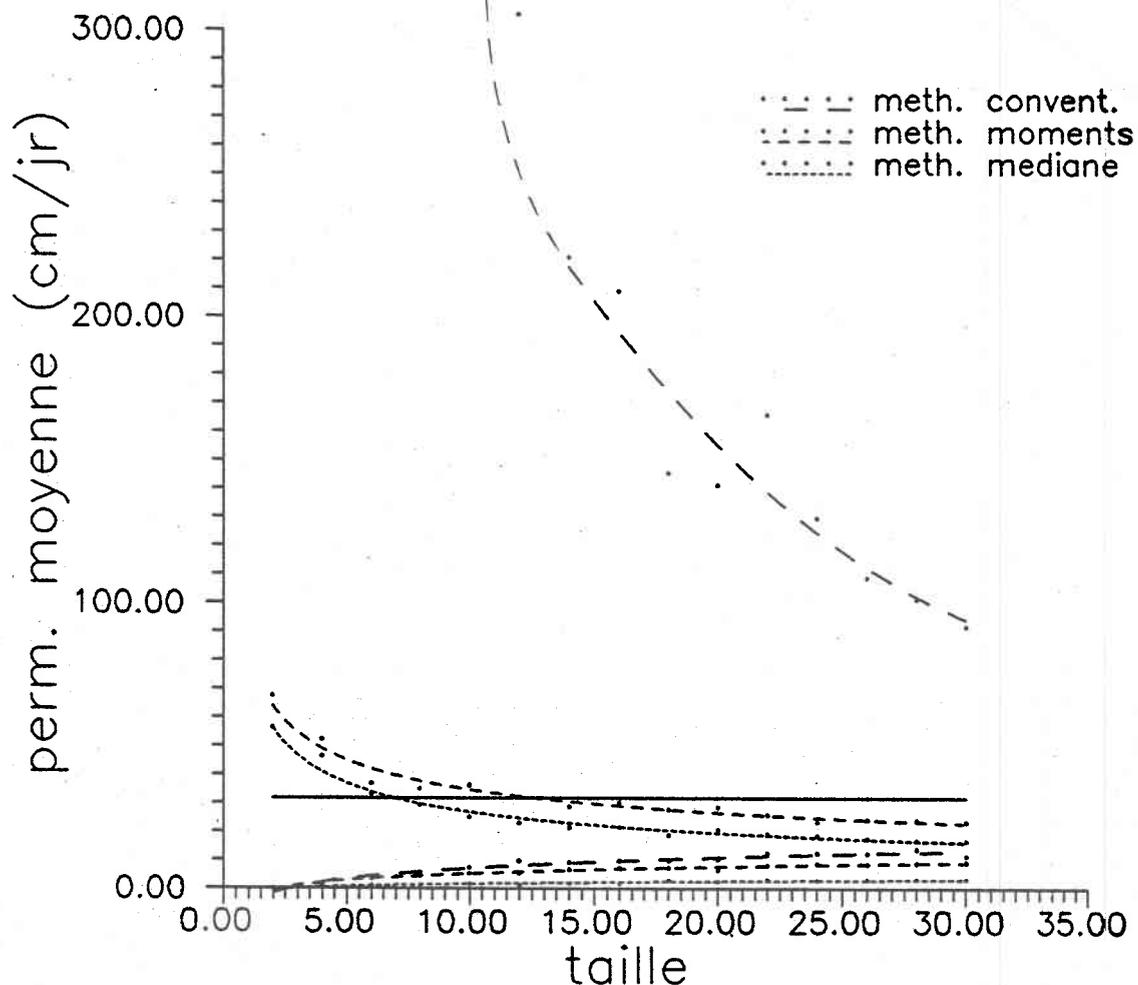


Figure 13 Moyennes minimales et maximales de la conductivité hydraulique en laboratoire estimées par les trois méthodes

Il est intéressant de noter que les estimations par la méthode des moments se comportent presque de la même manière que celles réalisées par la méthode de la médiane. Avec ces deux méthodes, à partir d'une certaine taille d'échantillon, les courbes représentant les moyennes maximales estimées passent sous la droite de la vraie moyenne de la population. Cette valeur de "n" à partir de laquelle on sous-estime toujours la moyenne est pour la méthode

de la médiane à $n \geq 7$ et pour la méthode des moments à $n \geq 12$. Il est ici plus évident, lorsque la dimension des échantillons augmente, que les estimations par les méthodes de la médiane et des moments ne tendent pas vers la vraie moyenne de la population. Dans ce cas, si on possède une somme importante d'information, on doit utiliser la méthode conventionnelle pour ne pas sous-estimer systématiquement la moyenne. Par contre, avec peu de points de mesure, les méthodes de la médiane et des moments semblent plus appropriées pour réaliser des estimations plus précises.

On est peu surpris de noter que la méthode conventionnelle puisse autant surestimer la moyenne comparativement à la méthode de la médiane. Si on considère l'équation 8, utilisée lors de l'estimation de la moyenne avec la méthode conventionnelle, on note qu'à la moyenne des logarithmes on additionne la demi-variance des logarithmes avant de transformer cette somme en anti-logarithme pour obtenir la moyenne. La valeur de la demi-variance des logarithmes n'est pas additionner à la demi-variance des logarithmes lors de l'estimation de la médiane; on obtient donc une estimation de la médiane qui est beaucoup moins grande que la moyenne.

Les graphiques 12 et 13 permettent de réaliser à quel point la variabilité des propriétés peut influencer les estimations de la moyenne d'une distribution lognormale; plus particulièrement sur l'erreur-type d'estimation relié à la méthode conventionnelle. En effet c'est cette dernière méthode qui semble la plus affectée par l'augmentation du coefficient de variation. Pour les deux

autres méthodes la perte de précision d'estimation de la moyenne fut moins influencée par l'augmentation du coefficient de variation.

5.3 Efficacité de l'estimation de la moyenne d'une population lognormale

5.3.1 Population peu variable

A la figure 14 on montre le nombre d'estimation de la moyenne précise à $\pm 15\%$ de la vraie moyenne de la population, pour les trois méthodes d'estimation.

On s'aperçoit qu'il y a peu de différences entre les courbes de la méthode des moments et celle de la méthode conventionnelle. Tandis qu'avec la méthode de la médiane, après avoir atteint un sommet d'efficacité à $n=8$, son nombre d'estimations exactes diminue continuellement. C'est-à-dire que dans les deux cas on observe nettement une augmentation du nombre d'estimations exactes de la moyenne avec l'accroissement de la taille des échantillons, la méthode des moments étant cependant la plus efficace. Ce dernier phénomène est certainement dû au fait qu'à mesure que "n" croît l'estimation tend vers la valeur de la médiane de la population valeur toujours inférieure à la moyenne. On pense aussi que la méthode des moments connaît dans ce cas un tel rendement d'estimations exactes, du fait de la faible variabilité de la conductivité hydraulique in situ. Cette conclusion devient plus

claire en comparant la figure 14 avec la figure 15 dans la section suivante.

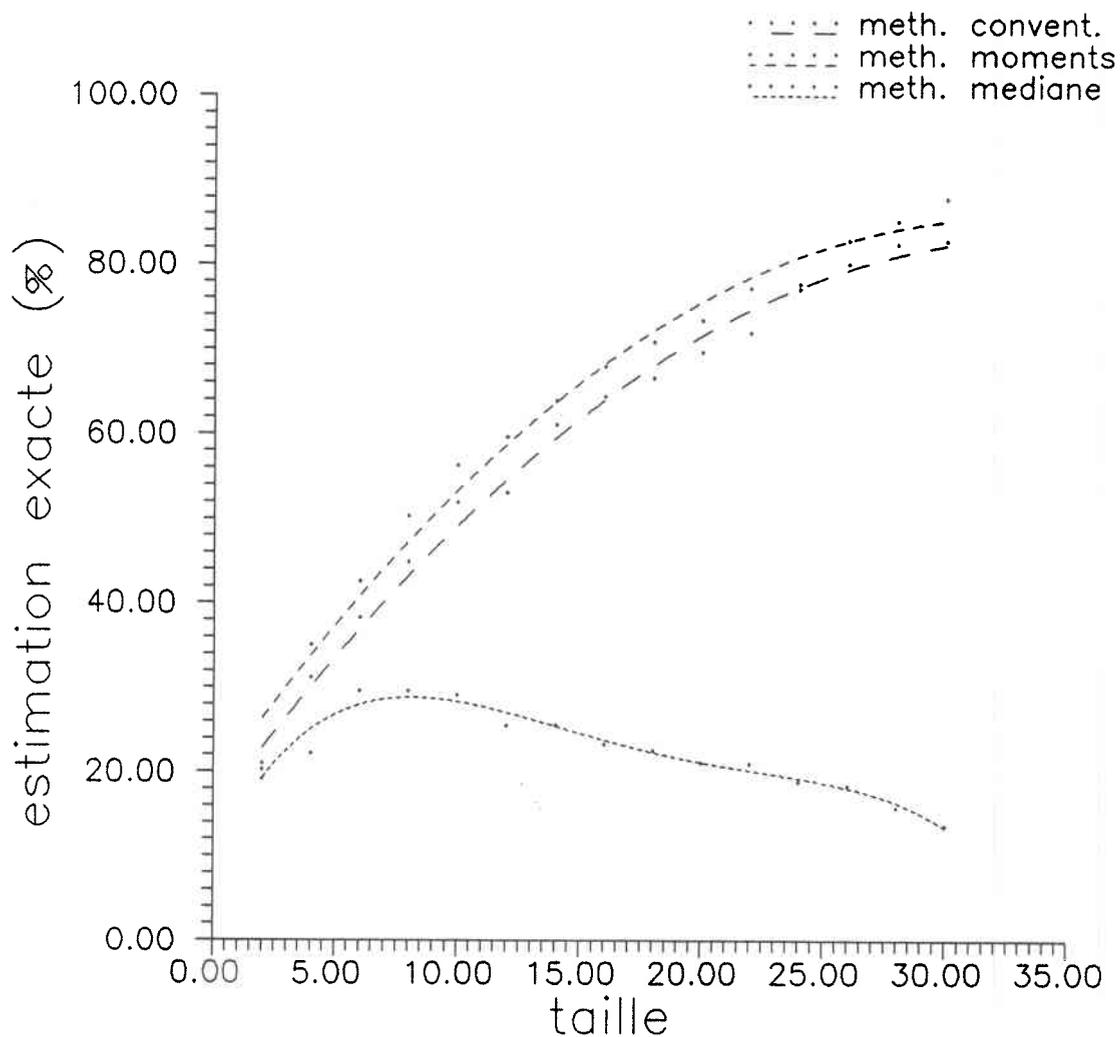


Figure 14 Efficacité de l'estimation de la moyenne de la conductivité hydraulique in situ pour une précision de $\pm 15\%$ en fonction de la taille des échantillons

5.3.2 Population très variable

Le nombre d'estimations précises à $\pm 15\%$ de la vraie moyenne de la distribution lognormale la plus variable, est présenté à la figure 15.

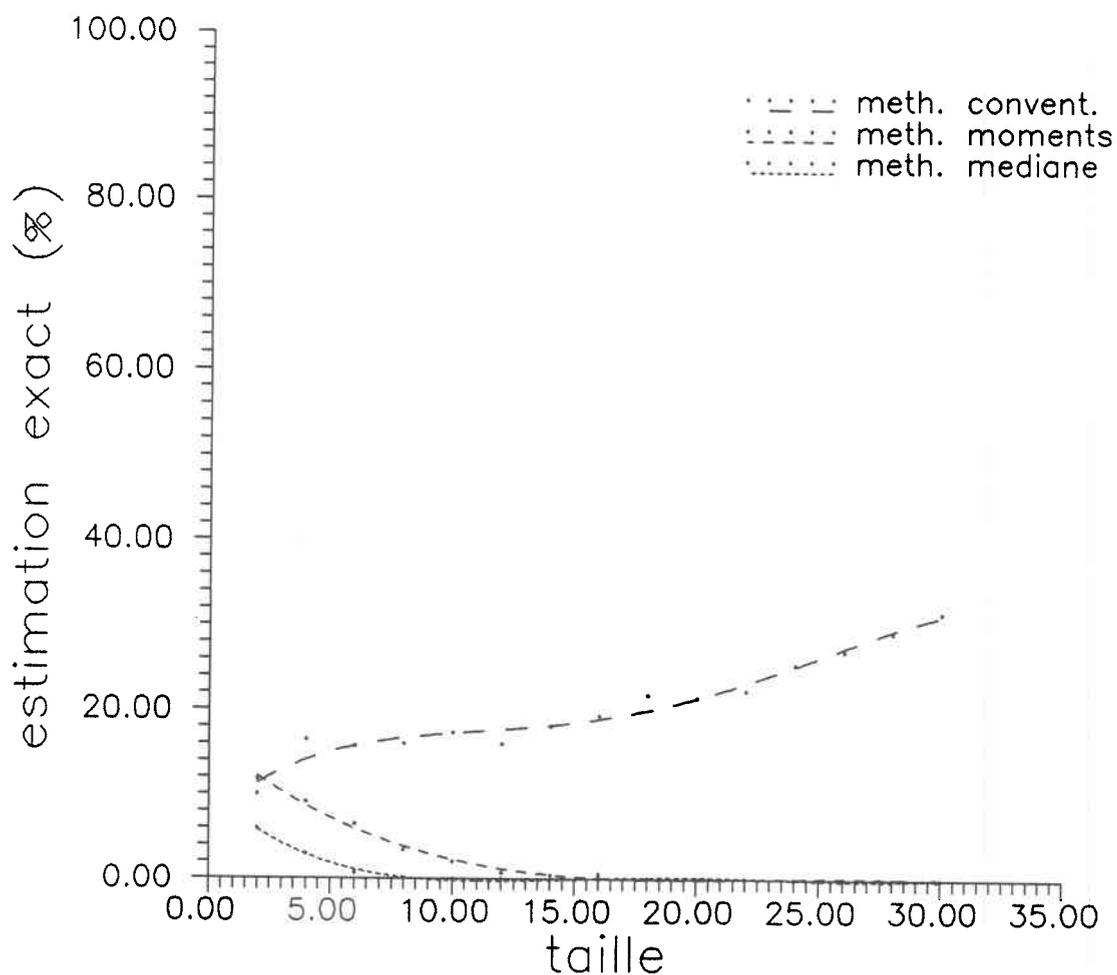


Figure 15 Efficacité de l'estimation de la moyenne de la conductivité hydraulique en laboratoire pour une précision de $\pm 15\%$ en fonction de la taille des échantillons

Sur cette figure on remarque que la méthode des moments est celle qui a le plus perdu de son efficacité, comparativement à celle démontrée avec la population lognormale moins variable. La méthode de la médiane montre aussi une baisse du nombre d'estimations exactes avec cette amplification de la variabilité. Même la méthode conventionnelle voit son rendement diminuer, mais démontre, ici, sa plus grande efficacité d'estimation de la moyenne que les deux autres méthodes.

Si l'augmentation de la variabilité est responsable du biais observé lors de l'estimation de la moyenne, on peut également dire qu'elle influence grandement le nombre d'estimations exactes, obtenues par chacune des méthodes d'estimation. Cette influence s'est surtout fait sentir pour la méthode d'estimation des moments. La méthode des moments qui s'était montrée très efficace avec la population lognormale la moins variable a complètement perdue de son efficacité avec l'autre population lognormale. La méthode conventionnelle s'est avérée moins efficace lors de l'estimation de la moyenne de la population lognormale la plus variable, mais la perte d'efficacité observée est moins importante que celle présentée par les deux autres méthodes.

On désire souligner que, comme lors de l'estimation des paramètres statistiques d'une distribution normale, les courbes des deux derniers graphiques devraient être un peu décalées vers des valeurs de "n" plus élevées. Ce décalage des courbes est dû au fait que les échantillons ne furent pas tirés dans une population contenant un nombre infini d'individus.

5.4 Estimation de l'écart-type d'une population lognormale

5.4.1 Population peu variable

Les écarts-types minimaux et maximaux approximés à l'aide des trois méthodes sont exposés à la figure 16. On signale, comme dans le cas des distributions normales, pour chacune des méthodes d'estimation, une dissymétrie évidente vers les valeurs élevées d'écart-type. Cette dissymétrie diminue rapidement à mesure que "n" croît, surtout pour les estimations par la méthode conventionnelle.

On doit noter que, pour chaque taille d'échantillon, les écarts-types minimaux estimés sont pratiquement identiques d'une méthode à l'autre. On ne peut en dire autant pour les écarts-types maximaux, pour lesquels on constate des différences considérables entre les estimations de chaque méthode.

C'est avec la méthode d'estimation conventionnelle qu'on a toujours obtenue l'écart-type maximal le plus éloigné de la vraie valeur du paramètre de la population. Alors, qu'au contraire c'est continuellement avec la méthode de la médiane que l'écart-type maximal évalué était le plus près du vrai écart-type de la population.

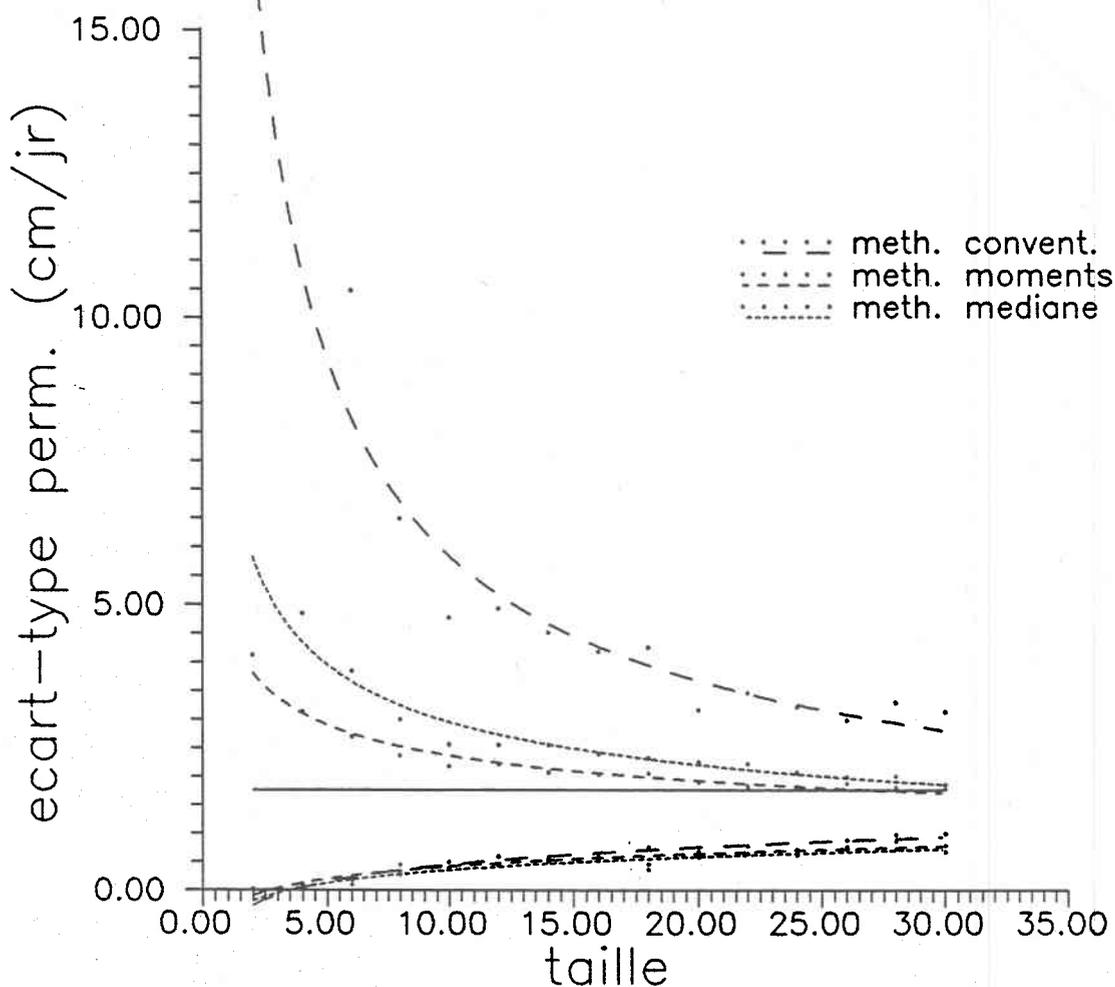


Figure 16 Estimation des écarts-types minimaux et maximaux de la conductivité hydraulique in situ en fonction de la taille des échantillons

Comme on a pu l'observer assez souvent, les estimations par les méthodes de la médiane et des moments ne tendent pas vers la vraie valeur de l'écart-type lorsque la grandeur des échantillons augmente. La méthode d'estimation conventionnelle a apporté les estimations les moins précises, mais à mesure que l'information devient disponible, les estimations qu'elle permet de réaliser tendent vers la vraie valeur d'écart-type de la distribution

statistique.

5.4.2 Population très variable

A la figure 17 on propose le graphique des écarts-types minimaux et maximaux qui ont été déterminés lors des tirages aléatoires dans les mesures de la population lognormale la plus variable. On mentionne que pour la méthode conventionnelle, il a été impossible de mettre sur la figure 17 la courbe illustrant les écarts-types maximaux évaluées. Ces valeurs sont toujours beaucoup trop grandes, par rapport aux résultats des deux autres techniques d'estimation, pour pouvoir apparaître sur ce graphique. Voici à titre indicatif quelques valeurs des écarts-types maximaux estimés résultant de l'utilisation de la méthode conventionnelle.

n=2 -----» écart-type maximum = $3,2 \times 10^{13}$

n=10 ----» écart-type maximum $\approx 8,0 \times 10^4$

n=30 ----» écart-type maximum = 1117,2

Finalement, comme on peut s'en rendre compte, il existe un important biais vers les valeurs très élevées de l'écart-type avec l'utilisation de la méthode conventionnelle.

Cependant, comme dans le cas de l'estimation de l'écart-type de la population lognormale peu variable, les écarts-types minimaux sont identiques, pour chaque taille d'échantillon, d'une méthode d'estimation à l'autre.

On note aussi, sur cette figure, que la méthode des moments est inadéquate pour estimer l'écart-type de cette population

lognormale très variable. Lors de son application on a sous-estimé systématiquement l'écart-type de cette distribution statistique. Cette dernière observation était attendue, étant donnée la très grande valeur devant la moyenne de l'écart-type de la population (118,75 cm/jr). Les valeurs de la conductivité hydraulique s'étalant de 0 à 70 cm/jr, on ne pouvait, en utilisant la méthode des moments calculer un écart-type d'une valeur de 118,75 cm/jr.

Dans le cas présent, aux faibles tailles d'échantillon, il semble que la méthode de la médiane soit le meilleur estimateur de l'écart-type, mais à partir d'une certaine taille d'échantillon, (dans ce cas $n=25$) on a toujours sous-estimé l'écart-type de la distribution statistique.

Avec les deux dernières figures, on note encore une fois que la variabilité influence chacune des méthodes d'estimation statistique. Pour la méthode conventionnelle le biais des estimations augmente beaucoup lorsque la variabilité devient importante. Tandis que la méthode des moments, qui avait montré les estimations les plus précises avec la population lognormale la moins variable, devient tout à fait inutilisable avec l'autre distribution lognormale. En effet, lors de son utilisation, elle sous-estime systématiquement l'écart-type. Les estimations de l'écart-type par la méthode de la médiane sont les plus précises lors de l'emploi de la distribution lognormale la plus variable.

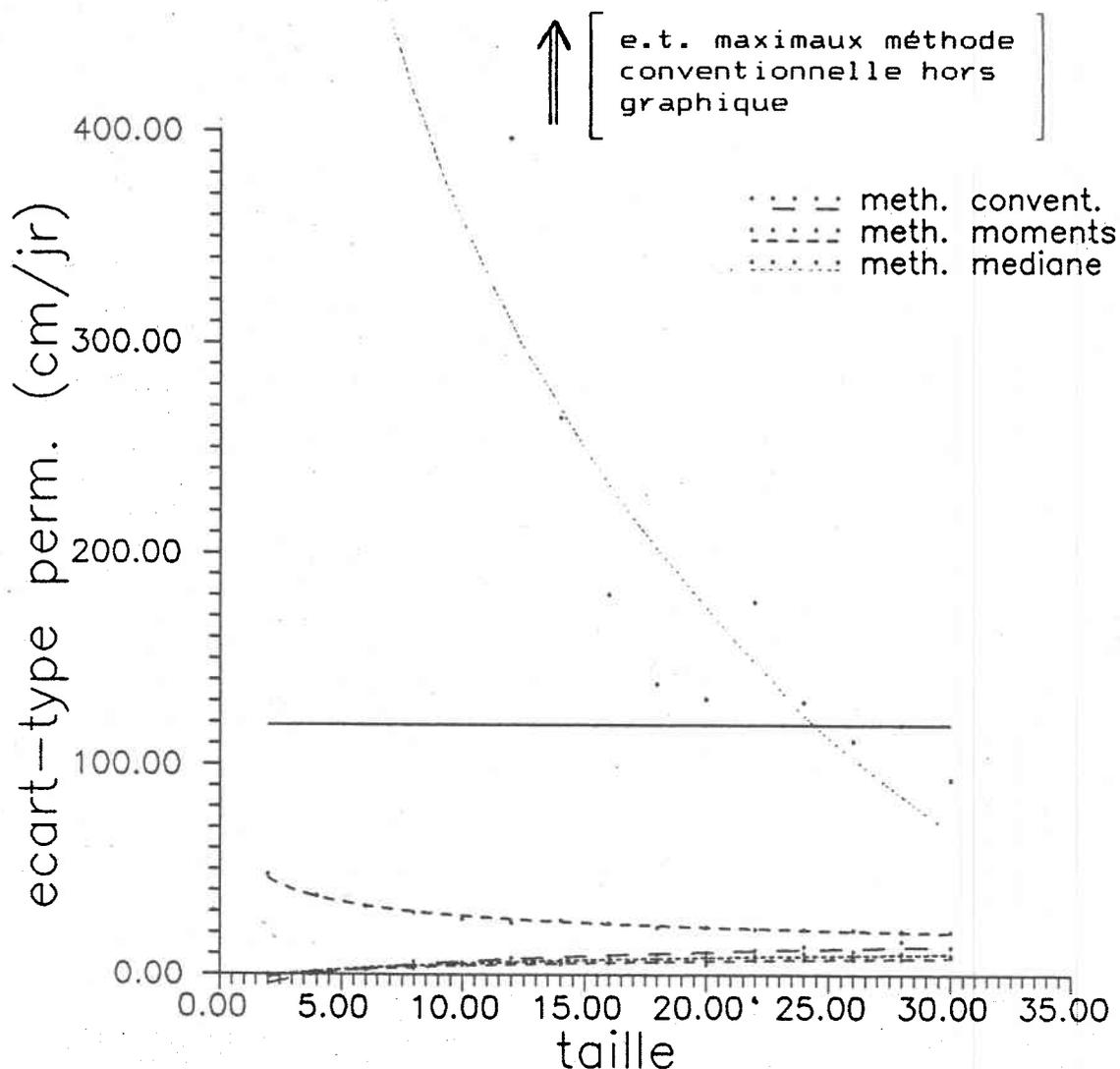


Figure 17 Estimation des écarts-types minimaux et maximaux de la conductivité hydraulique en laboratoire en fonction de la taille des échantillons

5.5 Efficacité de l'estimation de l'écart-type d'une population lognormale

5.5.1 Population peu variable

Comme lors de l'estimation de la moyenne, on désire connaître le nombre d'estimations de l'écart-type précises à $\pm 15\%$ de la vraie

valeur de l'écart-type de la population, par chacune des méthodes d'estimation, pour chacune des populations lognormales. Les résultats pour la population lognormale la moins variable, sont présentés à la figure 18.

A cette figure on doit premièrement s'attarder aux comportements des méthodes de la médiane et des moments. Les deux techniques montrent la même réaction, c'est-à-dire que le nombre d'estimations exactes augmente jusqu'à une certaine taille d'échantillon puis par la suite l'efficacité de chacune des méthodes diminue. En réalité la méthode de la médiane atteint son sommet d'efficacité à $n=10$, tandis que celui de la méthode des moments est à $n=14$. De plus, on retient que le pourcentage d'estimations exactes est toujours plus grand avec l'usage de la méthode d'estimation des moments qu'avec celle de la médiane.

La méthode conventionnelle révèle de façon évidente que son efficacité croît graduellement à mesure que le nombre d'informations augmente. Il est intéressant de noter, que lors de l'estimation des écarts-types minimaux et maximaux à la figure 16, même si la méthode conventionnelle manifestait moins de précision que les deux autres méthodes d'estimation, son nombre d'estimations exactes n'en demeure pas moins supérieur aux deux autres techniques.

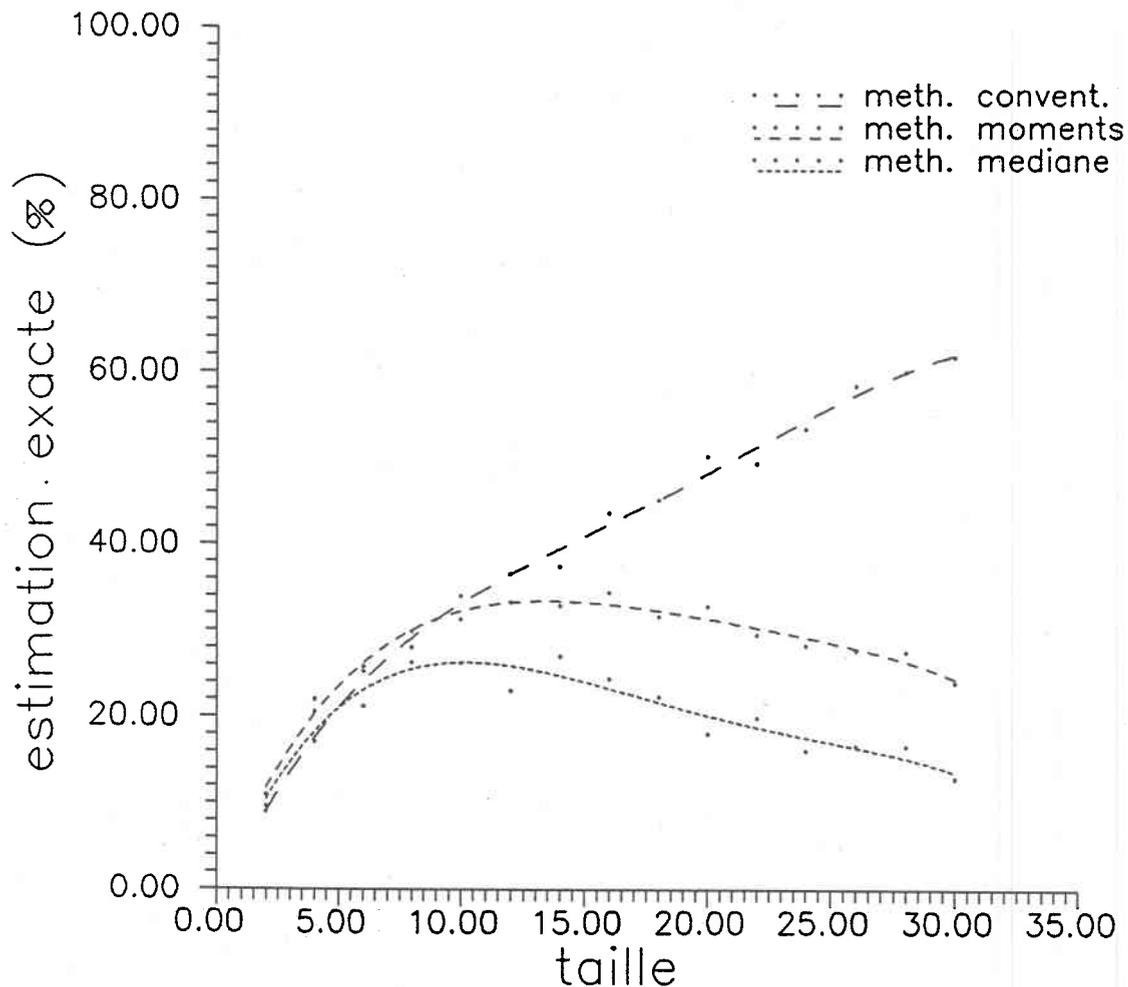


Figure 18 Efficacité de l'estimation de l'écart-type de la conductivité hydraulique in situ pour une précision de $\pm 15\%$ en fonction de la taille des échantillons

5.5.2 Population très variable

A la figure 19, où l'on présente le nombre d'estimations de l'écart-type précises à $\pm 15\%$ de la vraie valeur d'écart-type de la distribution lognormale la plus variable, on ne doit pas être surpris de remarquer l'absence de la courbe de la méthode des moments. On doit se souvenir qu'à la figure 17, on pouvait voir que la méthode des moments était inadéquate pour estimer l'écart-

type, car elle le sous-estimait systématiquement. Dans ce cas son nombre d'estimations exactes est toujours de zéro.

A l'examen de la figure 19, on constate que les deux méthodes n'offrent pas un rendement du nombre d'estimations exactes très éclatant. La méthode de la médiane affiche le même genre de comportement qu'avec la population lognormale la moins variable. On observe une hausse de l'efficacité d'estimation avec l'accroissement de "n" jusqu'à une certaine taille d'échantillon, par la suite son pourcentage d'estimations exactes diminue.

La méthode conventionnelle, même si elle s'avère moins efficace que lors de son utilisation avec l'autre distribution lognormale, témoigne encore que son efficacité prend de l'amplitude avec l'accroissement de "n", mais cette majoration du nombre d'estimation précise à $\pm 15\%$ de la vraie valeur d'écart-type se fait de façon plus faible qu'avec l'autre population lognormale.

Comme on vient de le voir, l'augmentation de la variabilité a fait diminuer considérablement le nombre d'estimations de l'écart-type précises à $\pm 15\%$ de la vraie valeur du paramètre de la population. La méthode des moments s'est avérée, par ailleurs, totalement inefficace lorsque la variabilité de la population lognormale est élevée. Les deux autres méthodes, celle de la médiane et celle conventionnelle, ont également perdu beaucoup d'efficacité d'estimation pour la population lognormale la plus variable.

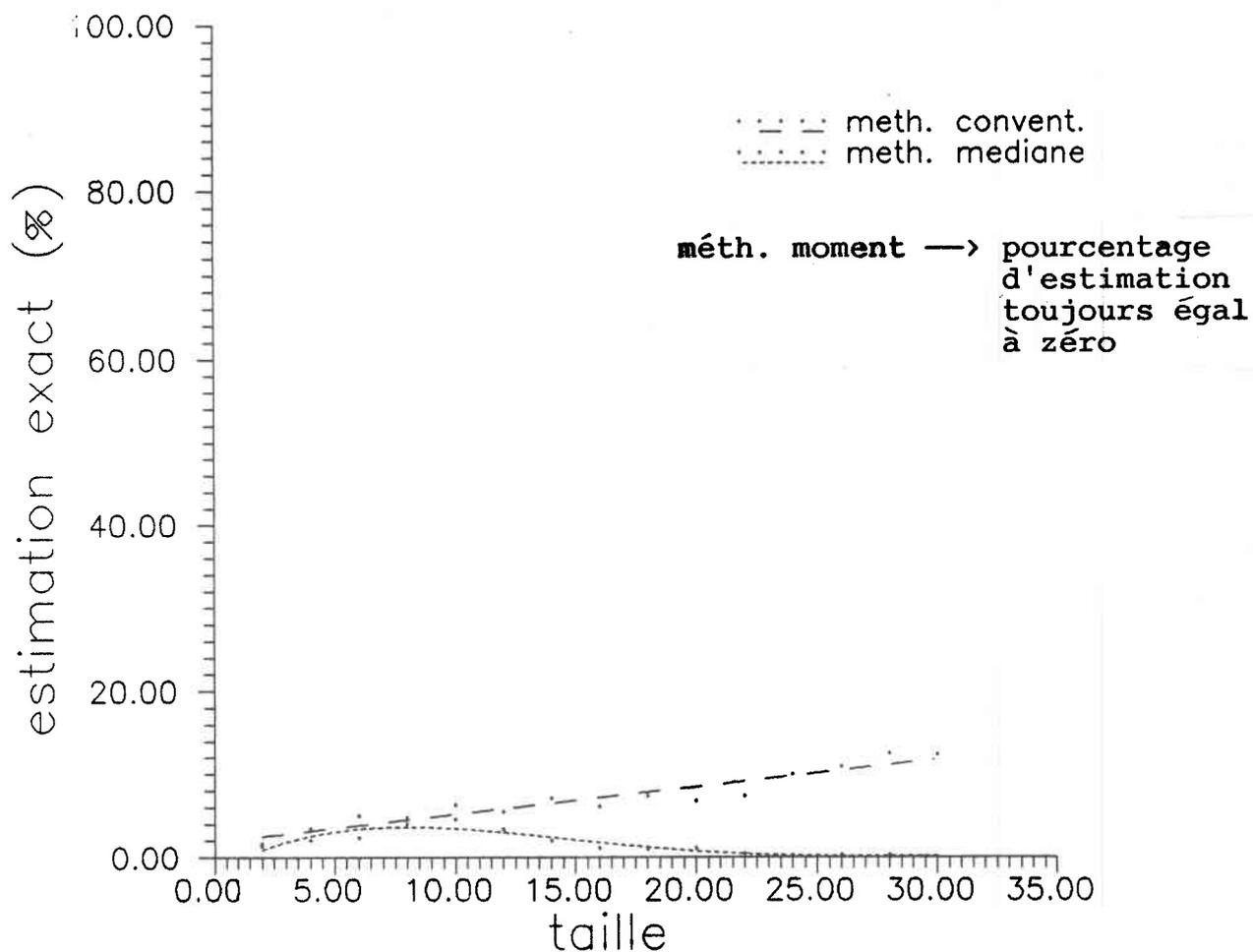


Figure 19 Efficacité de l'estimation de l'écart-type de la conductivité hydraulique en laboratoire pour une précision de $\pm 15\%$ en fonction de la taille des échantillons

6.

DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Dans le but de proposer une méthodologie d'acquisition des données de terrain pour la modélisation stochastique du transport de solutés à travers la zone non saturée des sols, on a exposé les résultats de plusieurs tirages aléatoires simples réalisés parmi des données se distribuant normalement ou lognormalement.

Pour la population normale, dans le cas de l'estimation de la moyenne, on a observé que les maximums et minimums évalués étaient symétriques par rapport à la vraie valeur de la moyenne de la population. Ceci indique qu'on a autant de chance de la surévaluer que de la sous-évaluer, ce qui ne fut pas noté lors de l'évaluation de l'écart-type de la population. En effet, la distribution d'échantillonnage de la variance (le carré de l'écart-type) s'ajuste à une distribution khi-deux avec $n-1$ degrés de liberté. Ce type de distribution statistique très dissymétrique lorsque "n" est petit tend à s'ajuster à une distribution normale seulement lorsque le nombre de degrés de liberté augmente. A cause de la forme de ce type de distribution statistique, si la taille des échantillons est faible, la surévaluation est numériquement beaucoup plus importante que la sous-évaluation. Cependant, la sous-évaluation est un événement qui arrive plus fréquemment. Finalement, on a pu constater qu'on obtient plus de succès lors de l'estimation de la moyenne que lors de celui de l'écart-type pour une distribution normale.

Grâce au fait qu'on disposait de deux distributions lognormales, présentant des coefficients de variation très différents, on a pu montrer l'influence de la variabilité sur différentes méthodes d'estimation des paramètres statistiques de ce type de population.

Dans le cas de l'estimation de la moyenne, lorsque "n" est faible, on considère que la méthode des moments est le meilleur estimateur, même par rapport à la méthode de la médiane bien que la différence entre les deux soit peu importante. La méthode des moments a toujours apporté un pourcentage d'estimations exactes supérieur à la méthode de la médiane et une erreur d'estimation généralement moins grande et ce avec les deux types de population lognormale.

Cependant, la supériorité de la méthode conventionnelle sur les deux autres, s'exprime pour des dimensions d'échantillon plus grandes. En effet le biais relié à cette méthode, important lorsque "n" est petit, diminue beaucoup avec l'augmentation de la taille des échantillons. Les méthodes de la médiane et des moments perdent de l'efficacité avec l'accroissement du nombre d'information, car leurs estimations ne tendent pas vers la vraie valeur de la moyenne de la distribution. La moyenne estimée par la méthode des moments tend vers le mode de la distribution, celle évaluée par la médiane vers la médiane, ces deux caractéristiques étant pour une distribution lognormale toujours inférieures à la vraie moyenne.

Par contre, pour l'estimation de l'écart-type, la méthode de la médiane s'est révélée le meilleur estimateur, même par rapport

à la méthode des moments. Les estimations par la méthode de la médiane ont manifesté moins de biais que celles obtenues par la méthode des moments. De plus, lors de l'application de la méthode des moments, on a sous-estimé de façon systématique l'écart-type de la population lognormale la plus variable. La méthode de la médiane qui s'est montrée efficace lorsque la taille des échantillons est faible, a montré même avec des échantillons plus importants qu'elle biaisait moins les estimations de l'écart-type que la méthode conventionnelle. Ainsi, même si son pourcentage d'estimations exactes est plus faible que celui de la méthode conventionnelle, on pense qu'elle est un meilleur estimateur de l'écart-type. Le fait que le biais des estimations soit moins important assure, que si l'estimation n'est pas exacte, qu'on est probablement plus près de la vraie valeur de l'écart-type que si la méthode conventionnelle avait été utilisée.

De même on devrait remarquer que la distribution lognormale se différencie de celle normale seulement par sa dissymétrie gauche. Par ailleurs cette dissymétrie est plus marquée pour une population plus variable. Quand l'écart-type devient plus petit devant la moyenne (Coefficient de variation petit) la distribution lognormale s'apparente de plus en plus à une distribution normale. Il est alors logique que les méthodes utilisées pour une distribution normale s'appliquent (au moins aussi bien) à une distribution (de moins en moins) lognormale.

Les résultats des tirages aléatoires dans les populations lognormales ont montré, comme pour la population normale, qu'on

avait plus de succès avec l'estimation de la moyenne que lors de celui de l'écart-type.

Avec la technique d'échantillonnage aléatoire simple on a été en mesure de constater que l'estimation des paramètres statistiques des distributions lognormales sont plus difficiles à estimer correctement que ceux des distributions normales. Cependant, on a démontré qu'il existe des alternatives mathématiques à la méthode conventionnelle pour estimer avec plus de succès la moyenne et l'écart-type lorsque la taille des échantillons est faible pour les distributions lognormales.

Il est recommandé pour des travaux futurs d'essayer de trouver la meilleure méthode pour estimer les percentiles d'une distribution normale ou lognormale. En effet, on peut justifier qu'une méthode d'ajustement est bonne si elle capable de bien estimer les percentiles d'une distribution, car ils sont directement reliés à la fonction de répartition. Une méthode peut être adéquate pour estimer la moyenne et l'écart-type sans être bonne pour estimer les percentiles, surtout si la moyenne et l'écart-type sont corrélés comme c'est le cas pour la loi lognormale.

Contrairement aux travaux précédents sur l'estimation des paramètres statistiques, le présent travail de recherche tient son originalité par la présentation du biais des estimations en terme de surévaluation et de sous-évaluation. L'utilisation de la médiane pour évaluer la moyenne et l'écart-type des populations lognormales constitue une autre originalité de ce travail.

BIBLIOGRAPHIE

- AITCHISON, J. et BROWN, J.A.C. (1957). The lognormal distribution, University Press, Cambridge, Grande-Bretagne, 176 p.
- ALBRECHT, K.A., LOGSDON, S.D., PARKER, J.C., BAKER, J.C. (1985). Spatial variability of hydraulic properties in the Emporia Series, Soil Sci. Soc. Amer. J., 49:1498-1502
- ANDERSON, S.H. et CASSEL, D.K. (1986). Statistical and autoregressive analysis of soil physical properties of Portsmouth sandy loam, Soil Sci. Soc. Amer. J., 50:1096-1104
- BAKER, F.G. (1978). Variability of hydraulic conductivity within and between nine Wisconsin soil series, Water Resour. Res, 14:103-108
- BANTON, O., et al (1991). Caractérisation de la variabilité spatiale des propriétés physique des sols; Statistique et géostatistique unidimensionnelles sur échantillon de taille faible, soumis au Canadian J. of Soil Sci.
- BIGGAR, J.W. et NIELSEN, D.R. (1976). Spatial variability of the leaching characteristics of a field soil, Water Resour. Res. 12:78-84
- BYERS, E. et STEPHENS, D.B. (1983). Statistical and stochastic analyses of hydraulic conductivity and particle-size in a fluvial sand, Soil Sci. Soc. Amer. J., 47:1072-1081
- CASSEL, D.K. et BAUER, A. (1975). Spatial variability in soils below depth of tillage: bulk density and fifteen atmosphere percentage, Soil Sci. Soc. Amer. J., 39:247-250
- COTE, D. (1977). Description et performance d'un prototype d'infiltromètre à charge constante, Génie Rural-Laval, 9:20-30
- CRESSIE, N.A.C. et HORTON, R. (1987). A robust-resistant spatial analysis of soil water infiltration, Water Resour. Res. 23:911-917
- DAGNELIE, P. (1975). Théorie et méthodes statistiques, applications agronomiques, Vol 1 et 2, Les presses agronomiques de Gembloux, Belgique, 378 p et 463 p.
- DANE, J.H., REED, R.B., et HOPMANS, J.W. (1986). Estimating soil parameters and sample size by bootstrapping, Soil Sci. Soc. Amer. J., 50:283-287

- DELHOMME, J.P. (1979). Spatial variability and uncertainty in groundwater flow parameters: A geostatistical approach, *Water Resour. Res.*, 15:269-280
- DEMING, W.E. (1966). *Some theory of sampling*, Dover Publication Inc., New-York, USA
- DUDEWICZ, E.J. et MISHRA, S.N. (1988). *Modern mathematical statistics*, John Wiley and Sons Inc., New-York, USA
- EFRON, B. (1979). *Computers and theory of statistics: thinking the unthinkable*, *SIAM Review*, 21:460-480
- FREEZE, R.A. (1975). A stochastic-conceptual of one-dimensional groundwater flow in nonuniform homogenous media, *Water Resour. Res.*, 11:725-741
- GILBERT, R.O. (1987). *Statistical methods for environmental pollution monitoring*, Van Nostrand Reinhold Company, New-York, USA
- GREMINGER, P.J., SUD, Y.K. et NIELSEN, D.R. (1985). Spatial variability of field-measured soil-water characteristics, *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 49:1075-1082
- HOEKSEMA, R.J. et KITANIDIS, P.K. (1985). Analysis of the spatial structure of properties of selected aquifers, *Water Resour. Res.*, 21:563-572
- JOHNSON, N.L. et LEONE, F.C. (1984). *Statistics and experimental design in engineering and physical sciences vol 1*, John Wiley and Sons Inc., New-York, USA
- JOURNEL, A.G. et HUIJBREGTS, Ch.J. (1978). *Mining geostatistics*, Academic Press Inc., New-York, USA
- de MARSILY, G. (1982). *Spatial variability of properties in porous media: A stochastic approach*, NATO advanced Study Institute Mechanics of fluids in porous media, Newark, USA
- PARKIN, T.B., MEISINGER, J.J., CHESTER, S.T, STARR, J.L. et ROBINSON, J.A. (1988). Evaluation of statistical estimation methods for lognormally distributed variables, *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 52:323-329
- RUSSO, D. (1984). Design of an optimal sampling network for estimating the variogramme, *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 48:708-716

- RUSSO, D., JURY, W.A., GARRISON, S. et HESHAM, E. (1987). The spatial variability of water and solute transport properties in unsaturated soil I. Analysis of property variation and spatial structure with statistical models, *Hilgardia*, 55 (4):1-30
- RUSSO, D. et JURY, W.A., (1987). A theoretical study of the estimating of the correlation scale in spatially variable fields 1. Stationary fields, *Water Resour. Res.*, 23:1257-1268
- SISSON, J.B. et WIERENGA, P.J. (1981). Spatial variability of steady-state rates as a stochastic process, *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 45:699-704
- VILLENEUVE, J.P., BANTON, O. et LAFRANCE, P. (1987). Développement d'un nouvel outil simple et adaptable pour l'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la contamination par les pesticides, Rapport scientifique INRS-Eau n° 233a, Sainte-Foy, Québec
- WARRICK, A.W. et NIELSEN, D.R. (1980). Spatial variability of soil physical properties in the field., p. 314-344 dans D. Hillel, *Applications of soil physics*, Academic Press, New-York, USA
- WILSON, B.G., ADAMS, B.J. et KARNEY, B.W (1990). Biais in log-transformed frequency distributions, *Journal of Hydrology*, 118:19-37

OUVRAGES NON CITES

- AGRICULTURE CANADA (1984). Analytical methods manual 1984 Land Resources Research Institute, B.H. Sheldrick editor, Ottawa, Canada, 231 p.
- BRESLER, E. (1989). Estimation of statistical moment of spatial field average for soil properties and crop yields, *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 53:1645-1653
- BUCKLAND, G.D. (1988). Graph for estimating field-scale hydraulic conductivity sampling requirements, *Can. Agric. Eng.*, 30:323-324
- HALD, A. (1967). *Statistical theory with engineering applications*, John Wiley and Sons Inc., New-York, USA

- HANSEN, M.H., HURWITZ, W.N. et MADOW, W.G. (1966). Sample survey methods and theory volume 1: methods and applications, John Wiley and Sons Inc., New-York, USA
- HIMURA, D.K. et BALSINGER, J.W. (1985). Bootstrap methods for evaluating sablefish pot index surveys, North Amer. J. Fish. Manage., 5:47-56
- LAFRANCE, P., BANTON, O. et VILLENEUVE, J.P. (1990). Spatial variability of total carbon, nitrogen and organic matter and their relationships in a sandy soil in Québec, soumis au Soil Sci. Soc. Amer. J.
- O'HALLORAN, I.P., KACHANOSKI, R.G. et STEWART, J.W.B. (1986). Influence of the spatial distribution of sand content on sampling patterns, Can. J. Soil Sci., 66:641-652
- PARKIN, T.B., CHESTER, S.T. et ROBINSON, J.A. (1990). Calculating confidence intervals for the mean of lognormally distributed variable, Soil Sci. Soc. Amer. J., 54:321-326
- RUSSO, D. et BRESLER, E. (1981). Soil hydraulic properties as stochastic processes: I An analysis of field spatial variability, Soil Sci. Soc. Amer. J., 45:682-687
- RUSSO, D. et BRESLER, E. (1982). Soil hydraulic properties as stochastic processes: II Errors of estimates in a heterogenous fields, Soil Sci. Soc. Amer. J., 46:20-26
- VIEIRA, S.R., NIELSEN, D.R. et BIGGAR, J.W. (1981). Spatial variability of field-measured infiltration rate, Soil Sci. Soc. Amer. J., 45:1040-1048
- WARRICK, A.W., MULLEN, G.J. et NIELSEN, D.R. (1977a). Scaling field-measured soil hydraulic properties using a similar media concept, Water Resour. Res., 13:355-362
- WARRICK, A.W., MULLEN, G.J. et NIELSEN, D.R. (1977b). Prediction of the soil water flux based upon field-measured soil-water properties, Soil Sci. Soc. Amer. J., 41:14-19

ANNEXE ITABLEAUX DES PROPRIETES MESUREES

STATIONS 1 à 30 -----> GRILLE #1

STATIONS 31 à 85 -----> GRILLE #2

POROSITE

STAT.	PORO. (%)						
1	34.1	23	38.9	45	44.5	67	34.8
2	32.2	24	43.7	46	36.7	68	32.3
3	36.2	25	44.2	47	34.5	69	39.3
4	25.1	26	37.2	48	42.8	70	37.5
5	40.8	27	46.0	49	36.2	71	36.8
6	42.4	28	33.0	50	31.5	72	33.4
7	39.8	29	36.3	51	37.7	73	35.4
8	39.5	30	38.9	52	41.1	74	30.9
9	37.2	31	43.7	53	28.5	75	35.0
10	40.5	32	34.1	54	39.3	76	34.8
11	39.3	33	36.2	55	29.8	77	39.7
12	40.7	34	39.0	56	33.0	78	35.8
13	37.8	35	31.5	57	31.7	79	36.1
14	33.8	36	37.3	58	24.5	80	38.0
15	38.1	37	37.0	59	30.0	81	40.4
16	34.7	38	41.2	60	31.1	82	34.6
17	37.4	39	35.2	61	38.7	83	39.9
18	39.6	40	39.0	62	24.3	84	36.2
19	33.5	41	47.7	63	44.8	85	32.1
20	38.5	42	37.8	64	37.2		
21	39.2	43	36.2	65	32.2		
22	39.4	44	38.9	66	38.9		

CONDUCTIVITE HYDRAULIQUE IN SITU

la conductivité hydraulique est exprimée en cm/jr

STAT.	CD.HYD.	STAT.	CD.HYD.	STAT.	CD.HYD.	STAT.	CD.HYD.
1	4.31	23	4.12	45	1.09	67	0.81
2	2.71	24	0.47	46	3.47	68	2.93
3	1.56	25	0.74	47	5.15	69	3.42
4	3.08	26	0.52	48	0.59	70	2.40
5	2.91	27	0.34	49	4.32	71	2.31
6	3.92	28	2.16	50	2.35	72	1.44
7	1.07	29	0.96	51	3.12	73	3.81
8	0.58	30	0.80	52	2.50	74	0.70
9	0.46	31	3.20	53	0.96	75	4.14
10	0.55	32	2.45	54	1.72	76	1.20
11	1.51	33	1.75	55	2.48	77	1.45
12	1.71	34	0.21	56	1.42	78	0.82
13	0.85	35	4.86	57	2.02	79	1.83
14	0.76	36	4.01	58	0.88	80	1.09
15	1.58	37	1.01	59	0.60	81	1.98
16	0.54	38	5.91	60	2.50	82	4.49
17	0.54	39	1.17	61	1.35	83	1.07
18	1.83	40	2.82	62	0.82	84	2.31
19	0.69	41	1.87	63	1.32		
20	0.42	42	6.17	64	2.11		
21	2.07	43	1.93	65	1.00		
22	0.63	44	3.37	66	1.43		

CONDUCTIVITE HYDRAULIQUE DE L'HORIZON "B"

la conductivité hydraulique est exprimée en cm/jr

STAT.	CD.HYD.	STAT.	CD.HYD.	STAT.	CD.HYD.	STAT.	CD.HYD.
1	2.65	23	2.28	45	11.31	67	52.22
2	0.12	24	8.74	46	4.55	68	8.66
3	16.97	25	36.85	47	6.72	69	22.00
4	2.03	26	16.90	48	0.50	70	7.86
5	2.76	27	26.78	49	8.52	71	13.79
6	9.37	28	8.62	50	0.19	72	5.57
7	21.12	29	11.84	51	0.22	73	1.50
8	7.42	30	29.16	52	9.90	74	10.87
9	8.06	31	27.04	53	22.00	75	46.39
10	5.41	32	2.21	54	3.18	76	16.79
11	16.29	33	3.31	55	7.95	77	17.23
12	0.80	34	20.24	56	17.41	78	24.26
13	29.11	35	0.02	57	26.95	79	46.39
14	0.64	36	0.66	58	19.97	80	47.36
15	17.50	37	8.31	59	33.76	81	68.04
16	14.67	38	7.95	60	41.09	82	19.18
17	14.93	39	16.13	61	9.37	83	6.89
18	23.42	40	26.78	62	1.33	84	28.06
19	31.24	41	0.02	63	9.54	85	10.69
20	9.10	42	6.98	64	67.60		
21	42.59	43	5.66	65	14.93		
22	22.53	44	39.50	66	43.48		

ANNEXE IITEST DE COMPARAISON ENTRE LES MESURES REALISEES SUR
CHACUNE DES DEUX GRILLES

Le test de Kolmogorov-Smirnov est un test non-paramétrique qui utilise toute l'information recueillie, dans l'état où elle fut recueillie, car il ne la transforme pas en classe. C'est le test tout indiqué pour traiter les distributions continues. Il possède de plus l'avantage de ne pas nécessiter le respect d'hypothèse de base comme la forme de la distribution de fréquence de la population. Avec ce test, afin de reconnaître si deux séries de mesure proviennent de la même population, on compare les courbes de fréquence cumulée de chaque série d'observation. La distance verticale maximale qui sépare les deux courbes (D_m) est comparée à la distance maximale permise (d_{max}). Cette distance maximale permise (d_{max}) est une fonction de la taille des échantillons (m et n) et d'un certain niveau de probabilité (α).

La fonction décrivant la distance maximale permise est par exemple:

$$\text{si } \alpha=0,01 \quad d_{max} = 1,63 (m+n)^{-1/2} / (m+n)^{-1/2}$$

$$\text{si } \alpha=0,10 \quad d_{max} = 1,22 (m+n)^{-1/2} / (m+n)^{-1/2}$$

(Dudewicz et Mishra, 1988)

Lorsque D_m est inférieure à d_{max} on doit accepter l'hypothèse que les deux séries de mesure proviennent de la même population selon le niveau de signification α . Dans le cas contraire on doit

conclure qu'au niveau de signification α , que les deux séries de mesure n'ont pas pour origine la même population. C'est avec ce test que furent comparées les mesures des deux grilles.

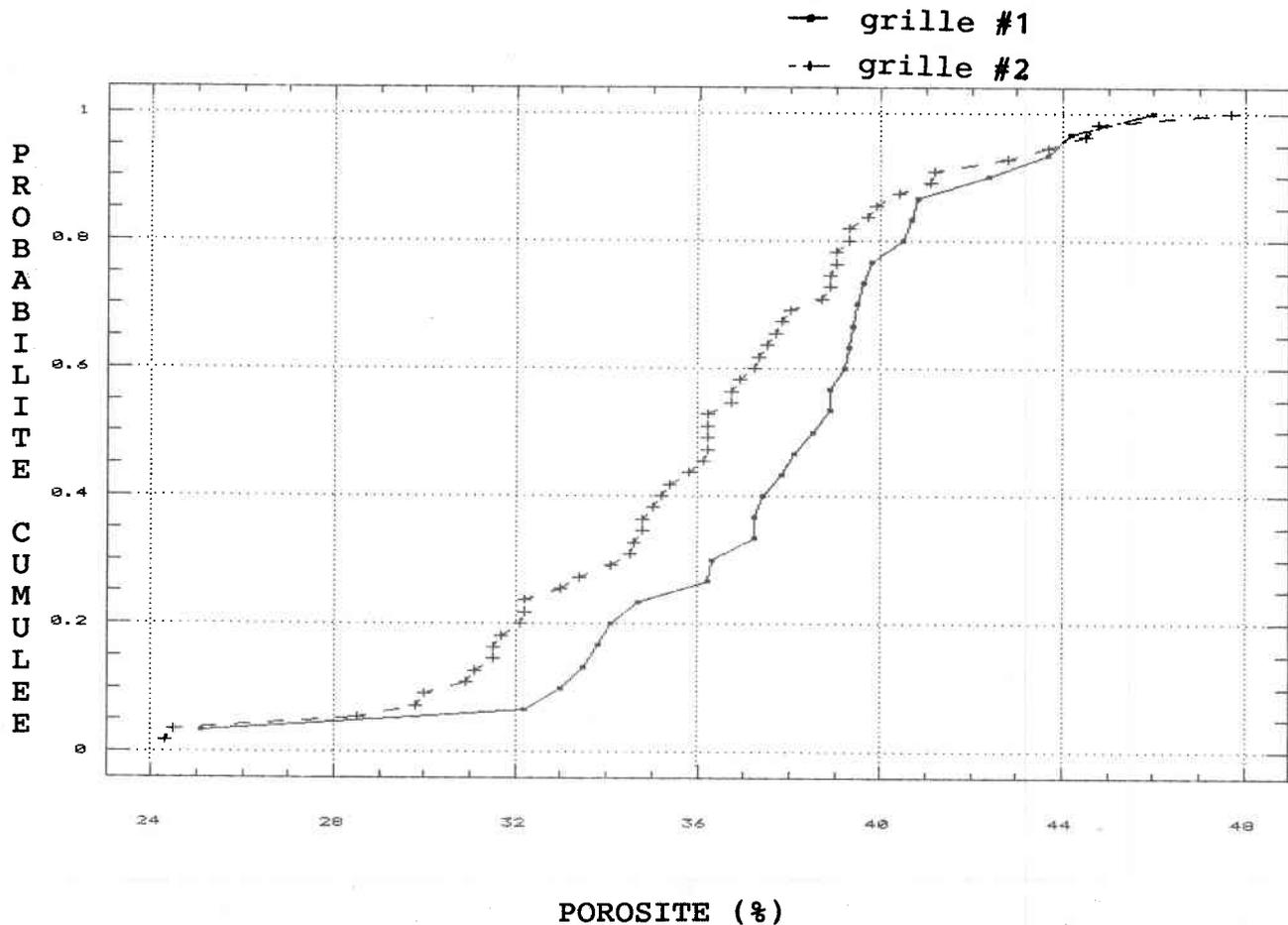


Figure II.I Courbes de fréquence cumulée des mesures de la porosité réalisées avec les deux grilles d'échantillonnage

Pour le cas de la porosité la distance maximale (D_m) entre les deux courbes est de 0,28. Ce qui permet de dire qu'à un niveau de signification α de 0,09 que les mesures proviennent de la même population.

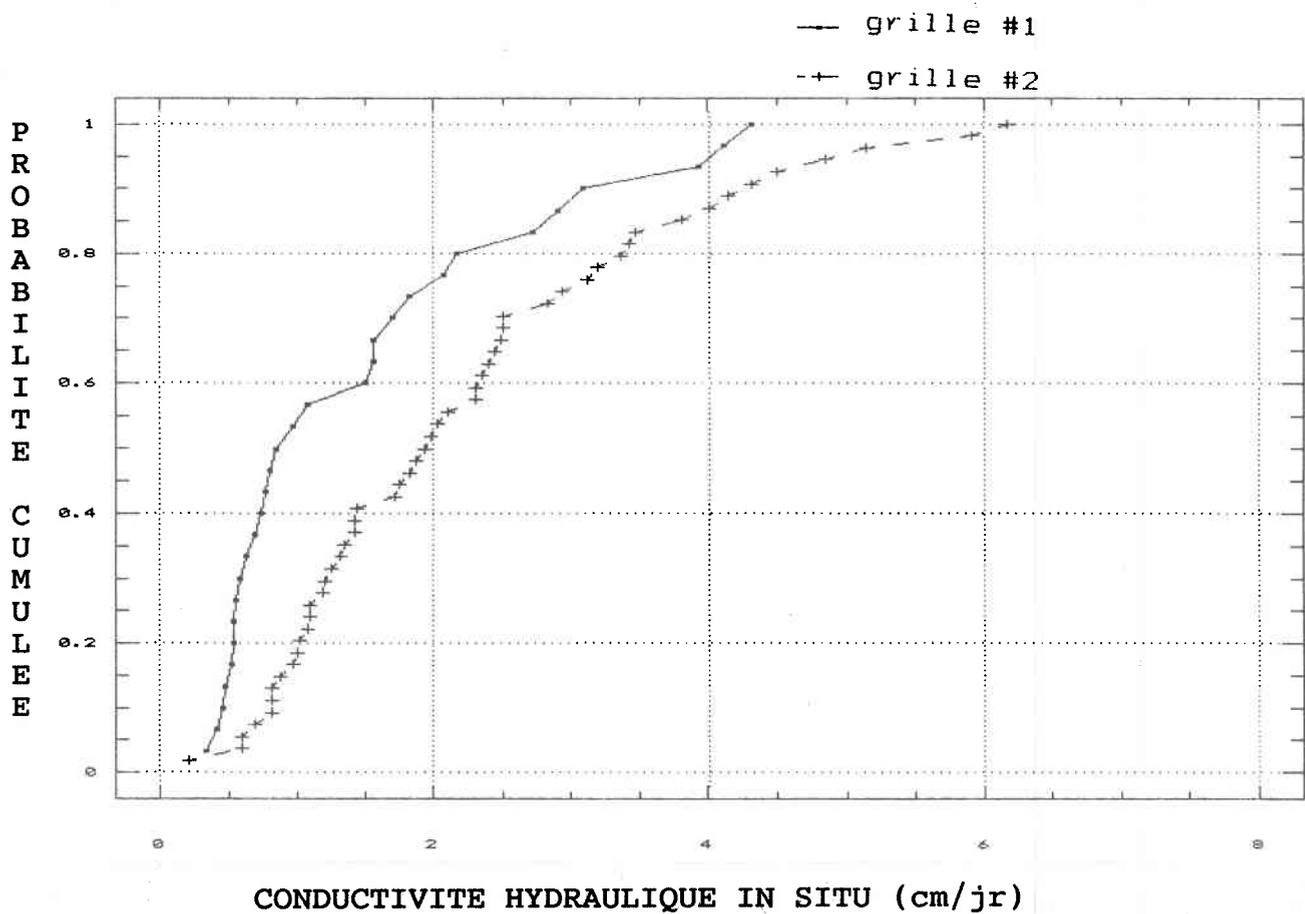


Figure II.II Courbes de fréquence cumulée des mesures de la conductivité hydraulique in situ réalisées avec les deux grilles d'échantillonnage

Avec les mesures de la conductivité hydraulique in situ (horizon "A"), la distance maximale (D_m) mesurée entre les deux courbes de fréquence cumulée est de 0,39. On peut alors dire qu'au niveau de signification α de 0,005 que les deux séries de mesure ont pour origine la même population.

La distance maximale (D_m) entre les deux courbes de la figure

II.III est de 0,13. Ce qui signifie qu'au niveau de signification α de 0,01 que les deux séries de mesure de la conductivité hydraulique de l'horizon "B" proviennent de la même population.

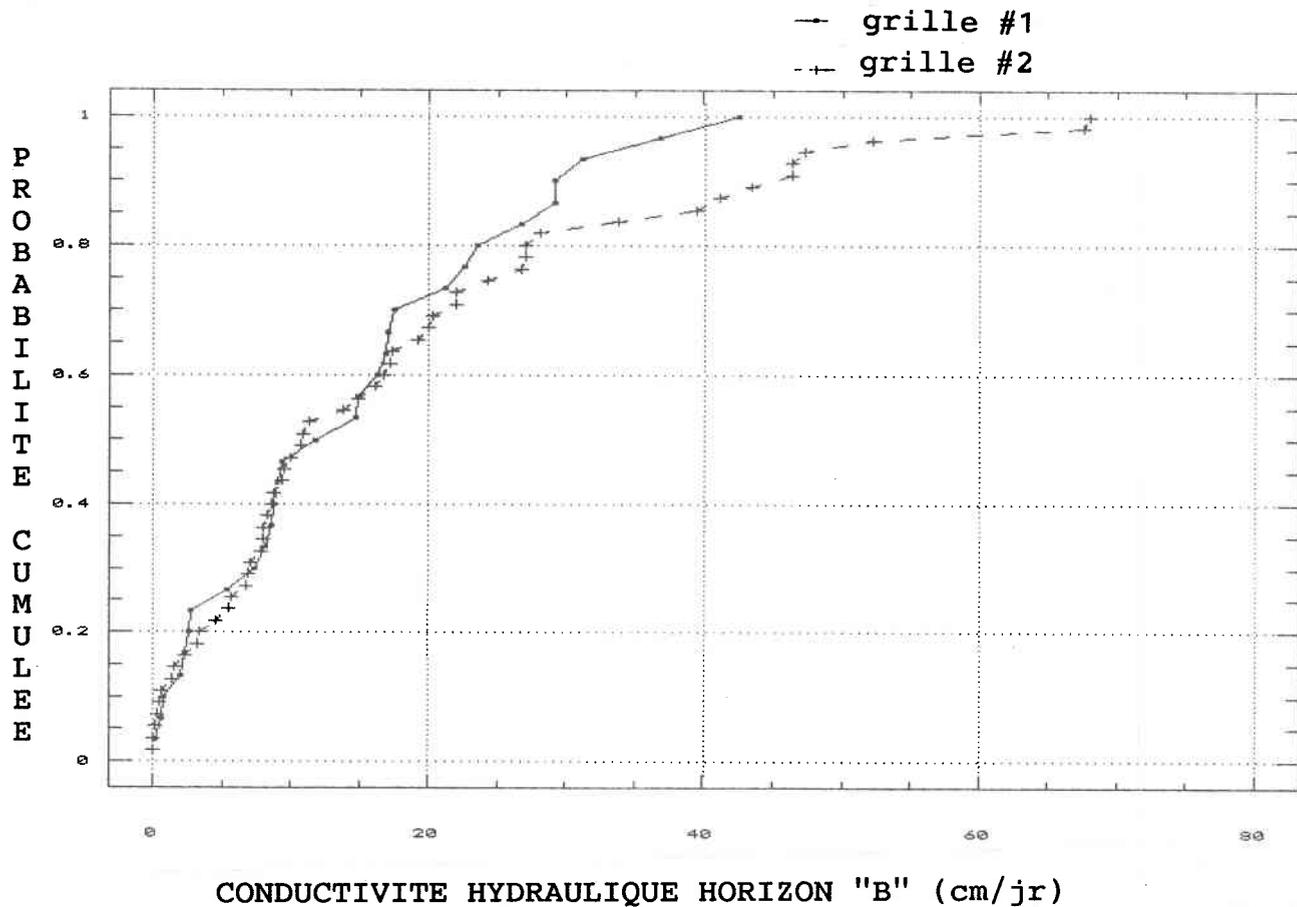


Figure II.III Courbes de fréquence cumulée des mesures de la conductivité hydraulique de l'horizon "B" réalisées avec les deux grilles d'échantillonnage

ANNEXE III

A l'annexe III, on présente les énoncés en langage BASIC des différents programmes informatiques à l'aide de laquelle furent accomplis les tirages aléatoires. Il faut noter qu'un seul programme utilise les mesures de la porosité, alors que trois autres utilisent les mesures de la conductivité hydraulique in situ. Il y a également trois différents programmes informatiques qui empruntent les mesures de la conductivité hydraulique de l'horizon "B".

```
1 REM PROGRAMME DE TIRAGE D'ECHANTILLON ALEATOIRE ET
2 REM EVALUATION DES PARAMETRES STATISTIQUES DE LA
3 REM POROSITE DE L'HORIZON "B"
4 REM
5 REM OUVERTURE DU FICHIER QUI CONTIENDRA LES RESULTATS
6 REM DES TIRAGES ALEATOIRES
7 REM
10 OPEN"o",#1,"CCC30"
11 REM
12 REM NJ = TAILLE DES ECHANTILLONS PIGES
13 REM NZ = NOMBRE DE TIRAGE ALEATOIRE
14 REM N = NOMBRE DE MESURE DE LA POROSITE
15 REM
20 NJ=30
50 NZ=1000
60 N=85
61 PRINT #1,"ECHANTILLONS DE TAILLE";NJ
62 PRINT #1,""
63 REM
64 REM DIMENSIONNEMENT DE QUELQUES VARIABLES
65 REM SS(NZ) = ECART-TYPE ESTIME
66 REM MOY(NZ) = MOYENNE ESTIMEE
67 REM B(N) = VALEUR ENTIERE DE LA FONCTION ALEATOIRE
68 REM A(N) = VALEURS DE LA POROSITE MESUREES
69 REM G(NJ) = VALEURS DE LA POROSITE QUI SERONT PIGEEES
70 DIM SS(NZ)
80 DIM MOY(NZ)
90 DIM B(N)
100 DIM A(N)
110 DIM G(NJ)
117 REM
118 REM LES VALEURS MESUREES DE LA POROSITE
119 REM
120 DATA 43.73,34.13,36.22,39.02,31.53,37.32,36.95,41.21
121 DATA 37.78,36.18,38.86,44.53,36.67,34.45,42.76,36.22
122 DATA 28.50,39.30,29.79,33.03,31.68,24.49,30.00,31.14
123 DATA 37.16,32.21,38.86,34.81,32.30,39.32,37.49,36.75
124 DATA 35.00,34.84,39.71,35.80,36.13,38.01,40.39,34.57
125 DATA 35.26,32.24,36.15,25.07,40.81,42.37,39.84,39.47
126 DATA 40.65,37.82,33.77,38.09,34.66,37.40,39.57,33.49
127 DATA 38.85,43.66,44.18,37.20,45.99,32.98,36.31,38.85
128 DATA 35.22,38.97,47.67,31.51,37.65,41.08,38.69,24.31
129 DATA 44.83,33.37,35.42,30.88,39.86,36.24,32.08,37.22
130 DATA 40.53,39.28,38.50,39.15,39.44
197 REM
198 REM BOUCLE DE LECTURE DES VALEURS DE LA POROSITE
199 REM
200 FOR I=1 TO N
```

```
200 FOR I=1 TO N
210 READ A(I)
220 NEXT I
221 REM
222 REM  INITIALISATION DES VARIABLES QUI SERVIRONT
223 REM  DANS LA PRESENTATION DES RESULTATS
224 REM
231 U=0
232 G=0
233 V=0
234 H=0
240 M=0
250 R=0
260 SS(1)=0
270 MOY(1)=0
280 J=0
290 D=0
297 REM
298 REM  DEBUT DE LA BOUCLE DES 1000 TIRAGES ALEATOIRES
299 REM
300 FOR Z= 1 TO NZ
307 REM
308 REM  REACTIVATION DE LA FONCTION ALEATOIRE
309 REM
310 RANDOMIZE TIMER
316 REM
317 REM  INITIALISATION DES VARIABLES QUI SERVIRONT
318 REM  DANS LES CALCULS
319 REM
320 S=0
330 C=0
340 S1=0
350 S2=0
357 REM
358 REM  DEBUT DE LA BOUCLE DU PIGEAGE ALEATOIRE D'UN ECHANTILLON
359 REM
360 FOR K=1 TO NJ
370 B(K) = (RND * N ) + 1
380 B(K) = INT(B(K))
390 IF B(K) =N+1 THEN B(K)=N
396 REM
397 REM  DEBUT DE LA BOUCLE OU ON COMPARE LA VALEUR QUI VIENT D'ETRE
398 REM  PIGEE AVEC CELLES PIGEEES AUPARAVANT
399 REM
400 FOR W=K-1 TO 1 STEP -1
410 IF B(K)=B(W) THEN 370
420 NEXT W
427 REM
428 REM  SOMMATION DES VALEURS PIGEEES
```

```
429 REM
430 G(K)=A(B(K))
440 C=C+G(K)
450 NEXT K
457 REM
458 REM  CALCUL DE LA MOYENNE
459 REM
460 MOY(Z)=C/NJ
466 REM
467 REM  TEST DE COMPARAISON ENTRE LA MOYENNE QUI VIENT D'ETRE CALCULEE ET
468 REM  CERTAINS NIVEAUX DE PRECISION DE LA VRAIE MOYENNE
469 REM
470 IF MOY(Z)>34.9 AND MOY(Z)<38.6 THEN M=M+1
480 IF MOY(Z)>33.1 AND MOY(Z)<40.4 THEN U=U+1
490 IF MOY(Z)>31.2 AND MOY(Z)<42.3 THEN G=G+1
496 REM
497 REM  BOUCLE DE LA SOMMATION DES ECARTS ENTRE LES OBSERVATIONS
498 REM  ET LA MOYENNE
499 REM
500 FOR K=1 TO NJ
510 S2=(MOY(Z)-G(K))^2
520 S1=S1+S2
530 NEXT K
537 REM
538 REM  CALCUL DE L'ECART-TYPE
539 REM
540 S=S1/(NJ-1)
550 SS(Z)=SQRT(S)
560 CV=SS(Z)*100/MOY(Z)
566 REM
567 REM  TESTS DE COMPARAISON ENTRE L'ECART-TYPE QUI VIENT D'ETRE ESTIME
568 REM  ET CERTAINS NIVEAUX DE PRECISION DU VRAI ECART-TYPE
569 REM
570 IF SS(Z)<4.8 AND SS(Z)>4.28 THEN R=R+1
580 IF SS(Z)<5 AND SS(Z)>4.05 THEN V=V+1
590 IF SS(Z)<5.2 AND SS(Z)>3.82 THEN H=H+1
600 NEXT Z
601 REM
602 REM  DEBUT DE LA RECHERCHE DE L'ECART-TYPE MINIMUM ET MAXIMUM ET DE LA
603 REM  MOYENNE MINIMUM ET MAXIMUM
604 REM
610 YY=SS(1)
620 XX=SS(1)
630 Y=MOY(1)
640 X=MOY(1)
650 FOR Z=2 TO NZ
660 IF SS(Z)<YY THEN YY=SS(Z)
670 IF SS(Z)>XX THEN XX=SS(Z)
```

```
680 IF MOY(Z)<Y THEN Y=MOY(Z)
690 IF MOY(Z)>X THEN X=MOY(Z)
700 NEXT Z
706 REM
707 REM DEBUT DE LA BOUCLE DU CALCUL DE LA MOYENNE DES MOYENNES
708 REM ET LA MOYENNE DES ECARTS-TYPES
709 REM
710 FOR Z=1 TO NZ
720 J=J+MOY(Z)
730 D=D+SS(Z)
740 NEXT Z
750 J=J/NZ
751 D=D/NZ
757 REM
758 REM IMPRESSION DES RESULTATS DANS LE FICHIER
759 REM
760 REM
761 PRINT #1,"MOYENNE DES 1000=";J
762 PRINT #1,"MOYENNE MINIMUM=";Y
763 PRINT #1,"MOYENNE MAXIMUM=";X
764 PRINT #1,"ECART-TYPE MOYEN DES 1000=";D
765 PRINT #1,"ECART-TYPE MINIMUM=";YY
766 PRINT #1,"ECART-TYPE MAXIMUM=";XX
767 PRINT #1,"A 5% DE LA MOYENNE=";M/10
768 PRINT #1,"A 10% DE LA MOYENNE=";U/10
769 PRINT #1,"A 15% DE LA MOYENNE=";G/10
770 PRINT #1,"A 5% DE L'ECART-TYPE=";R/10
771 PRINT #1,"A 10% DE L'ECART-TYPE=";V/10
772 PRINT #1,"A 15% DE L'ECART-TYPE=";H/10
807 REM
808 REM FERMETURE DU FICHIER CONTENANT LES RESULTATS
809 REM
810 CLOSE #1
811 SOUND 230,12
812 SOUND 343,7
813 SOUND 499,9
814 SOUND 450,5
815 SOUND 373,6
816 SOUND 537,7
820 END
```

```
1 REM PROGRAMME DE TIRAGE D'ECHANTILLON ELEATOIRE ET
2 REM EVALUATION DE LA MOYENNE ET DE L'ECART-TYPE DE
3 REM LA CONDUCTIVITE HYDRAULIQUE (HORIZON "B") SELON
4 REM LA METHODE DES MOMENTS
5 REM
6 REM
7 REM OUVERTURE DU FICHIER QUI CONTIENDRA LES RESULTATS
8 REM
10 OPEN"o",#1,"EEE30"
11 REM
12 REM NJ = TAILLE DES ECHANTILLONS PIGES
13 REM NZ = NOMBRE DE TIRAGE D'ECHANTILLON ALEATOIRE
14 REM N = NOMBRE DE MESURE DE AL COND. HYDRAULIQUE
15 REM
20 NJ=30
50 NZ=1000
60 N=85
61 PRINT #1,"ECHANTILLONS DE TAILLE";NJ
62 PRINT #1,""
63 REM DIMENSIONNEMENT DE QUELQUES VARIABLES
64 REM SS(NZ) = ECART-TYPE ESTIME
65 REM MOY(NZ) = MOYENNE ESTIMEE
66 REM B(N) = VALEUR ENTIERE DE LA FONCTION ALEATOIRE
67 REM A(N) = VALEUR MESUREE DE LA COND. HYDRAULIQUE
68 REM G(NJ) = VALEUR PIGEE DE LA COND. HYDRAULIQUE
69 REM
70 DIM SS(NZ)
80 DIM MOY(NZ)
90 DIM B(N)
100 DIM A(N)
110 DIM G(NJ)
111 REM
112 REM MESURES DE LA CONDUCTIVITE HYDRAULIQUE
113 REM
120 DATA 2.6509,0.1167,16.9658,2.0324,2.7572,9.3680
121 DATA 16.2859,0.7953,29.1076,0.6362,17.4965,14.6685
122 DATA 9.1021,42.5934,22.5334,2.2798,8.7303,36.8480
123 DATA 11.8414,29.1601,27.0395,2.2091,3.3138,20.2367
124 DATA 7.9534,16.1271,26.7758,0.0177,6.9811,5.6553
125 DATA 6.7161,0.5037,8.5199,0.1944,0.2209,9.8967
126 DATA 26.9531,19.9714,33.7574,41.0914,9.3671,1.3255
127 DATA 43.4756,52.2270,8.6599,22.0035,7.8648,13.7853
128 DATA 46.3907,16.7903,17.2308,24.2569,46.3954
129 DATA 28.0559,10.6920,6.8916,19.1749,68.0403
130 DATA 21.1196,7.4231,8.0591,5.4081,14.9334,23.4179
131 DATA 31.2369,16.8964,26.7758,8.6158,0.0177,0.6627
132 DATA 8.3062,39.5000,11.3113,4.5508,22.0035,3.1813
133 DATA 7.9534,17.4075,9.5439,67.5995,14.9334,5.5672
134 DATA 1.5023,10.8688,47.3610
```

```
197 REM
198 REM  LECTURE DES MESURES DE LA COND. HYDRAULIQUE
200 FOR I=1 TO N
210 READ A(I)
220 NEXT I
221 REM
222 REM  INITIALISATION DES VARIABLES QUI SONT UTILISEES
223 REM  LORS DE LA PRESENTATION DES RESULTATS ET DANS
224 REM  QUELQUES CALCULS
225 REM
231 U=0
232 G=0
233 V=0
234 H=0
240 M=0
250 R=0
260 SS(1)=0
270 MOY(1)=0
280 J=0
290 D=0
291 REM
292 REM  DEBUT DE LA BOUCLE DU PIGEAGE DES 1000 TIRAGES
293 REM
300 FOR Z= 1 TO NZ
301 REM
302 REM  REACTIVATION DE LA FONCTION ALEATOIRE
303 REM
310 RANDOMIZE TIMER
311 REM
312 REM  INITIALISATION DE QUELQUES VARIABLES
313 REM  UTILISEES DANS LES CALCULS
314 REM
320 S=0
330 C=0
340 S1=0
350 S2=0
351 REM
352 REM  TIRAGE ALEATOIRE D'UN ECHANTILLON
353 REM
360 FOR K=1 TO NJ
370 B(K) = (RND * N ) + 1
380 B(K) = INT(B(K))
390 IF B(K) =N+1 THEN B(K)=N
391 REM
392 REM  TESTS DE COMPARAISON ENTRE LA VALEUR QUI VIENT
393 REM  D'ETRE PIGEE ET CELLES QUI LE FURENT AUPARAVANT
394 REM
395 REM
```

```
400 FOR W=K-1 TO 1 STEP -1
410 IF B(K)=B(W) THEN 370
420 NEXT W
430 G(K)=A(B(K))
431 REM
432 REM  SOMMATION DES VALEURS FIGEES
433 REM
440 C=C+G(K)
450 NEXT K
451 REM
452 REM  CALCUL DE LA MOYENNE
453 REM
460 MOY(Z)=C/NJ
461 REM
462 REM  COMPARAISON ENTRE LA MOYENNE EVALUEE ET CERTAINS
463 REM  NIVEAUX DE PRECISION DE LA VRAIE MOYENNE
464 REM
470 IF MOY(Z)>30.4 AND MOY(Z)<33.6 THEN M=M+1
480 IF MOY(Z)>28.7 AND MOY(Z)<35.2 THEN U=U+1
490 IF MOY(Z)>27.2 AND MOY(Z)<36.8 THEN G=G+1
491 REM
492 REM  BOUCLE DU CALCUL DE L'ECART-TYPE
493 REM
500 FOR K=1 TO NJ
510 S2=(MOY(Z)-G(K))^2
520 S1=S1+S2
530 NEXT K
540 S=S1/(NJ-1)
550 SS(Z)=SQR(S)
560 REM
561 REM  COMPARAISON ENTRE L'ECART-TYPE EVALUE ET CERTAINS
562 REM  NIVEAUX DE PRECISION DU VRAI ECART-TYPE
563 REM
570 IF SS(Z)<125! AND SS(Z)>112! THEN R=R+1
580 IF SS(Z)<131! AND SS(Z)>106! THEN V=V+1
590 IF SS(Z)<137! AND SS(Z)>100! THEN H=H+1
600 NEXT Z
610 YY=SS(1)
611 REM
612 REM  RECHERCHE DE L'ECART-TYPE MINIMUM ET MAXIMUM ET
613 REM  DE LA MOYENNE MINIMUM ET MAXIMUM
614 REM
620 XX=SS(1)
630 Y=MOY(1)
640 X=MOY(1)
650 FOR Z=2 TO NZ
660 IF SS(Z)<YY THEN YY=SS(Z)
670 IF SS(Z)>XX THEN XX=SS(Z)
```

```
680 IF MOY(Z)<Y THEN Y=MOY(Z)
690 IF MOY(Z)>X THEN X=MOY(Z)
700 NEXT Z
701 REM
702 REM  CALCUL DE LA MOYENNE DES MOYENNES ET DE LA
703 REM  MOYENNE DES ECARTS-TYPES
704 REM
710 FOR Z=1 TO NZ
720 J=J+MOY(Z)
730 D=D+SS(Z)
740 NEXT Z
750 J=J/NZ
751 D=D/NZ
752 REM
753 REM  PRESENTATION DES RESULTATS
754 REM
760 REM
761 PRINT #1,"MOYENNE DES 1000=";J
762 PRINT #1,"MOYENNE MINIMUM=";Y
763 PRINT #1,"MOYENNE MAXIMUM=";X
764 PRINT #1,"ECART-TYPE MOYEN DES 1000=";D
765 PRINT #1,"ECART-TYPE MINIMUM=";YY
766 PRINT #1,"ECART-TYPE MAXIMUM=";XX
767 PRINT #1,"A 5% DE LA MOYENNE=";M/10
768 PRINT #1,"A 10% DE LA MOYENNE=";U/10
769 PRINT #1,"A 15% DE LA MOYENNE=";G/10
770 PRINT #1,"A 5% DE L'ECART-TYPE=";R/10
771 PRINT #1,"A 10% DE L'ECART-TYPE=";V/10
772 PRINT #1,"A 15% DE L'ECART-TYPE=";H/10
801 REM
802 REM  FERMETURE DU FICHER CONTENANT LES RESULTATS
803 REM
810 CLOSE #1
811 SOUND 230,12
812 SOUND 1122,12
813 SOUND 555,12
820 END
```

```
1 REM PROGRAMME DE TIRAGE D'ECHANTILLON ALEATOIRE ET
2 REM EVALUATION DE LA MOYENNE ET DE L'ECART-TYPE DE
3 REM LA CONDUCTIVITE HYDRAULIQUE (HORIZON "B") SELON
4 REM LA METHODE DE LA MEDIANE
5 REM
6 REM
7 REM OUVERTURE DU FICHIER QUI CONTIENDRA LES RESULTATS
8 REM
9 REM
10 OPEN"o",#1,"JJJ30"
11 REM
12 REM NJ = TAILLE DES ECHANTILLONS PIGES
13 REM NZ = NOMBRE D'ECHANTILLON PIGE
14 REM N = NOMBRE DE MESURE DE LA COND. HYDRAULIQUE
15 REM
20 NJ=30
50 NZ=1000
60 N=85
61 PRINT #1,"ECHANTILLONS DE TAILLE";NJ
62 PRINT #1,""
63 REM DIMENSIONNEMENT DE QUELQUES VARIABLES
64 REM SS(NZ) = ECART-TYPE EVALUE
65 REM MEDI(NZ) = MEDIANE EVALUEE
66 REM SSS(NZ) = VARIANCE EVALUEE
67 REM MY(NZ) = MOYENNE DES LOG. DE LA COND. HYDRAULIQUE
68 REM MOY(NZ) = MOYENNE EVALUEE --> MEDIANE EVALUEE
69 REM B(N) = VALEUR ENTIERE DE LA FONCTION ALEATOIRE
70 REM A(N) = LOG. DES MESURES DE LA COND. HYD.
71 REM G(NJ) = LOG DES MESURES PIGES DE LA COND. HYD.
72 REM
73 DIM MY(NZ)
74 DIM SS(NZ)
75 DIM MEDI(NZ)
76 DIM SSS(NZ)
80 DIM MOY(NZ)
90 DIM B(N)
100 DIM A(N)
110 DIM G(NJ)
111 REM
112 REM LOGARITHMES DES MESURES DE LA COND. HYDRAULIQUE
113 REM
114 REM
120 DATA 3.297,2.781,1.907,2.074,2.255,2.624,3.838,0.793
121 DATA 4.215,1.719,3.861,1.198,-4.036,2.144,3.295,2.704
122 DATA 1.944,-1.638,2.995,3.774,2.386,2.954,-4.036,1.732
123 DATA 3.838,1.928,-0.412,3.679,2.293,3.715,2.161,2.820
124 DATA 3.091,2.236,3.091,2.847,2.370,2.074,1.512,1.158
125 DATA 0.972,2.087,2.704,3.603,-2.149,1.686,3.153,2.826
126 DATA 3.288,0.710,-0.229,2.209,2.152,1.014,3.372,3.749
127 DATA 3.115,3.373,3.051,2.862,0.824,2.004,2.685,2.169
128 DATA 3.288,-0.685,2.858,0.406,4.220,3.007,-1.509
129 DATA 3.520,3.955,3.334,2.118,2.425,0.281,2.060,3.189
130 DATA 2.831,2.789,3.442,2.472,2.236,-0.451
```

```
196 REM
197 REM  LECTURE DES LOGS DES MESURES
198 REM  DE LA CONDUCTIVITE HYDRAULIQUE
199 REM
200 FOR I=1 TO N
210 READ A(I)
220 NEXT I
221 REM
222 REM  INITIALISATION DE QUELQUES VARIABLES QUI
223 REM  SERVIRONT A LA PRESENTATION DES RESULTATS
224 REM
231 U=0
232 G=0
233 V=0
234 H=0
240 M=0
250 R=0
280 J=0
290 D=0
291 REM
293 REM  DEBUT DE LA BOUCLE DU TIRAGE DES 1000
294 REM  ECHANTILLONS ALEATOIRES
295 REM
300 FOR Z= 1 TO NZ
301 REM
302 REM  REACTIVATION DE LA FONCTION ALEATOIRE
303 REM
304 RANDOMIZE TIMER
305 REM
306 REM  INITIALISATION DE QUELQUES VARIABLES QUI
307 REM  SERVIRONT DANS LES CALCULS
308 REM
310 REM
311 SS(Z)=0
312 MOY(Z)=0
313 MY(Z)=0
314 MEDI(Z)=0
315 SSS(Z)=0
320 S=0
330 C=0
340 S1=0
350 S2=0
351 REM
352 REM  TIRAGE D'UN ECHANTILLON ALEATOIRE
353 REM
360 FOR K=1 TO NJ
370 B(K) = (RND * N ) + 1
380 B(K) = INT(B(K))
```

```

390 IF B(K) =N+1 THEN B(K)=N
391 REM
392 REM COMPARAISON ENTRE LA VALEUR PIGEE ET CELLES
393 REM QUI LE FURENT AUPARAVANT
394 REM
400 FOR W=K-1 TO 1 STEP -1
410 IF B(K)=B(W) THEN 370
420 NEXT W
430 G(K)=A(B(K))
431 REM
432 REM SOMMATION DES LOGS PIGES
433 REM
440 C=C+G(K)
450 NEXT K
451 REM
452 REM
453 REM CALCUL DE LA MOYENNE ET DE L'ECART-TYPE DES
454 REM LOGS PIGES AINSI QUE LE CALCUL DE LA MOYENNE
455 REM ET DE L'ECART-TYPE DE LA COND. HYDRAULIQUE
456 REM
457 MY(Z)=C/NJ
458 FOR K=1 TO NJ
459 S2=(MY(Z)-G(K))^2
460 S1=S1 + S2
461 NEXT K
462 S=S1/(NJ-1)
463 MEDI(Z)=EXP(MY(Z))
464 MOY(Z)=MEDI(Z)
465 SSS(Z)=MOY(Z)*MOY(Z)*(EXP(S)-1)
466 SS(Z)=SQR(SSS(Z))
467 REM COMPARAISON ENTRE LA MOYENNE ET L'ECART-TYPE
468 REM ESTIMES ET CERTAINS NIVEAUX DE PRECISION
469 REM
470 IF MOY(Z)>30.4 AND MOY(Z)<33.6 THEN M=M+1
480 IF MOY(Z)>28.7 AND MOY(Z)<35.2 THEN U=U+1
490 IF MOY(Z)>27.2 AND MOY(Z)<36.8 THEN G=G+1
570 IF SS(Z)<125! AND SS(Z)>112! THEN R=R+1
580 IF SS(Z)<131! AND SS(Z)>106! THEN V=V+1
590 IF SS(Z)<137! AND SS(Z)>100! THEN H=H+1
600 NEXT Z
601 REM
602 REM RECHERCHE DE LA MOYENNE MINIMUM ET MAXIMUM
603 REM ET DE L'ECART-TYPE MINIMUM ET MAXIMUM
604 REM
605 REM
610 YY=SS(1)
620 XX=SS(1)
630 Y=MOY(1)

```

```
640 X=MOY(1)
650 FOR Z=2 TO NZ
660 IF SS(Z)<YY THEN YY=SS(Z)
670 IF SS(Z)>XX THEN XX=SS(Z)
680 IF MOY(Z)<Y THEN Y=MOY(Z)
690 IF MOY(Z)>X THEN X=MOY(Z)
700 NEXT Z
701 REM
702 REM  CALCUL DE LA MOYENNE DES MOYENNES ET DE
703 REM  LA MOYENNE DES ECARTS-TYPES
704 REM
710 FOR Z=1 TO NZ
720 J=J+MOY(Z)
730 D=D+SS(Z)
740 NEXT Z
750 J=J/NZ
751 D=D/NZ
752 REM
753 REM  ECRITURE DES RESULTATS DANS LE FICHER
754 REM
760 REM
761 PRINT #1,"MOYENNE DES 1000=";J
762 PRINT #1,"MOYENNE MINIMUM=";Y
763 PRINT #1,"MOYENNE MAXIMUM=";X
764 PRINT #1,"ECART-TYPE MOYEN DES 1000=";D
765 PRINT #1,"ECART-TYPE MINIMUM=";YY
766 PRINT #1,"ECART-TYPE MAXIMUM=";XX
767 PRINT #1,"A 5% DE LA MOYENNE=";M/10
768 PRINT #1,"A 10% DE LA MOYENNE=";U/10
769 PRINT #1,"A 15% DE LA MOYENNE=";G/10
770 PRINT #1,"A 5% DE L'ECART-TYPE=";R/10
771 PRINT #1,"A 10% DE L'ECART-TYPE=";V/10
772 PRINT #1,"A 15% DE L'ECART-TYPE=";H/10
773 PRINT #1,""
774 PRINT #1,""
775 PRINT #1,""
800 REM
801 REM  FERMETURE DU FICHER CONTENANT LES RESULTATS
802 REM
810 CLOSE #1
811 SOUND 230,12
812 SOUND 1122,12
813 SOUND 555,12
820 END
```

```
1 REM PROGRAMME DE TIRAGE D'ECHANTILLON ALEATOIRE ET
2 REM EVALUATION DE LA MOYENNE ET DE L'ECART-TYPE DE LA
3 REM CONDUCTIVITE HYDRAULIQUE DE L'HORIZON "B" PAR
4 REM LA METHODE CONVENTIONNELLE
5 REM
6 REM
7 REM OUVERTURE DU FICHIER QUI CONTIENDRA LES RESULTATS
8 REM
9 REM
10 OPEN"o",#1,"TTT30"
11 REM
12 REM NJ = TAILLE DES ECHANTILLONS FIGES
13 REM N = NOMBRE DE MESURE DE LA COND. HYD.
14 REM NZ = NOMBRE D'ECHANTILLON ALEATOIRE
15 REM
20 NJ=30
40 N=85
50 NZ=1000
59 PRINT #1,"ECHANTILLON DE TAILLE";NJ
60 PRINT #1,""
61 REM
62 REM DIMENSIONNEMENT DE QUELQUES VARIABLES
63 REM MY(NZ) = MOYENNE EVALUEE
64 REM SSS(NZ) = ECART-TYPE EVALUEE
65 REM SS(NZ) = VARIANCE EVALUEE
66 REM MOY(NZ) = MOYENNE DES LOGARITHMES FIGES
67 REM B(N) = VALEUR ENTIERE DE LA FONCTION ALEATOIRE
68 REM A(N) = VALEURS DES LOGS DE LA COND. HYD.
69 REM G(NJ) = VALEURS DES LOGS DE LA COND. HYD. FIGES
70 DIM SS(NZ)
71 DIM MY(NZ)
72 DIM SSS(NZ)
80 DIM MOY(NZ)
90 DIM B(N)
100 DIM A(N)
110 DIM G(NJ)
111 REM
112 REM LES LOGARITHMES DE LA COND. HYD.
113 REM
120 DATA 3.297,2.781,1.907,2.074,2.255,2.624,3.838,0.793
121 DATA 4.215,1.719,3.861,1.198,-4.036,2.144,3.295,2.704
122 DATA 1.944,-1.638,2.995,3.774,2.386,2.954,-4.036,1.732
123 DATA 3.838,1.928,-0.412,3.679,2.293,3.715,2.161,2.820
124 DATA 3.091,2.236,3.091,2.847,2.370,2.074,1.512,1.158
125 DATA 0.972,2.087,2.704,3.603,-2.149,1.686,3.153,2.826
126 DATA 3.288,0.710,-0.229,2.209,2.152,1.014,3.372,3.749
127 DATA 3.115,3.373,3.051,2.862,0.824,2.004,2.685,2.169
128 DATA 3.288,-0.685,2.858,0.406,4.220,3.007,-1.509
129 DATA 3.520,3.955,3.334,2.118,2.425,0.281,2.060
130 DATA 3.189,2.831,2.789,3.442,2.472,2.236,-0.451
```

```
131 REM  LECTURE DES LOGARITHMES DE LA COND. HYD.
132 REM
150 FOR I=1 TO N
160 READ A(I)
170 NEXT I
180 REM
181 REM  INITIALISATION DES VARIABLES QUI SERVIRONT
182 REM  DANS LA PRESENTATION DES RESULTATS
183 REM
190 M=0
200 R=0
201 J=0
202 D=0
203 U=0
204 G=0
205 V=0
206 H=0
210 REM
211 REM  DEBUT DE LA BOUCLE DES 1000 TIRAGES ALEATOIRES
212 REM
230 FOR Z= 1 TO NZ
233 REM
234 REM  REACTIVATION DE LA FONCTION ALEATOIRE
235 REM
236 RANDOMIZE TIMER
237 REM
238 REM  INITIALISATION DES VARIABLES QUI SERVIRONT
239 REM  DANS LES CALCULS
240 REM
241 SS(Z)=0
242 SSS(Z)=0
243 MY(Z)=0
244 MOY(Z)=0
250 S=0
260 C=0
270 S1=0
280 S2=0
281 REM
282 REM  TIRAGE ALEATOIRE D'UN ECHANTILLON
283 REM
290 FOR K=1 TO NJ
300 B(K) = (RND * N ) + 1
310 B(K) = INT(B(K))
320 IF B(K) =N+1 THEN B(K)=N
321 REM
322 REM  BOUCLE DE COMPARAISON ENTRE LA VALEUR PIGEE
323 REM  ET CELLEE QUI LE FURENT AUPARAVANT
324 REM
```

```
330 FOR W=K-1 TO 1 STEP -1
340 IF B(K)=B(W) THEN 300
350 NEXT W
360 G(K)=A(B(K))
361 REM
362 REM SOMMATION DES MESURES PIGEEES
363 REM
370 C=C+G(K)
380 NEXT K
381 REM
382 REM CALCUL DE LA MOYENNE DES LOGS PIGEEES
383 REM
390 MOY(Z)=C/NJ
391 REM
392 REM ECART-TYPE DES LOGS PIGEEES
393 REM
410 FOR K=1 TO NJ
420 S2=(MOY(Z)-G(K))^2
430 S1=S1+S2
440 NEXT K
441 REM
442 REM EVALUATION DE LA MOYENNE ET DE L'ECART-TYPE
443 REM DE LA COND. HYD.
444 REM
450 S=S1/(NJ-1)
451 S3=S/2
452 MY(Z)=EXP(MOY(Z)+S3)
453 SS(Z)=MY(Z)*MY(Z)*(EXP(S)-1)
454 SSS(NZ)=SQR(SS(NZ))
468 REM
469 REM TESTS DE COMPARAISON ENTRE LA MOYENNE ET
470 REM L'ECART-TYPE ESTIMES ET CERTAINS NIVEAUX DE
471 REM PRECISION DES VRAIS PARAMETRES
472 IF MY(Z)>30.4 AND MY(Z)<33.62 THEN M=M+1
473 IF SSS(Z)<125 AND SSS(Z)>112 THEN R=R+1
474 IF MY(Z)>28.7 AND MY(Z)<35.3 THEN U=U+1
475 IF SSS(Z)<131 AND SSS(Z)>106 THEN V=V+1
476 IF MY(Z)>27.2 AND MY(Z)<36.9 THEN G=G+1
477 IF SSS(Z)<137 AND SSS(Z)>100 THEN H=H+1
478 NEXT Z
487 REM
488 REM RECHERCHE DE LA MOYENNE MINIMUM ET MAXIMUM
489 REM ET DE L'ECART-TYPE MINIMUM ET MAXIMUM
490 REM
491 YY=SSS(1)
492 XX=SSS(1)
500 Y=MY(1)
510 X=MY(1)
```

```
520 FOR Z=2 TO NZ
530 IF MY(Z)<Y THEN Y=MY(Z)
540 IF MY(Z)>X THEN X=MY(Z)
541 IF SSS(Z)<YY THEN YY=SSS(Z)
542 IF SSS(Z)>XX THEN XX=SSS(Z)
550 NEXT Z
551 REM
552 REM CALCULS DE LA MOYENNE DES MOYENNES ET DE
553 REM LA MOYENNE DES ECARTS-TYPES
554 REM
560 FOR Z=1 TO NZ
570 J=J+MY(Z)
580 D=D+SSS(Z)
590 NEXT Z
600 J=J/NZ
601 D=D/NZ
608 REM
609 REM IMPRESSION DES RESULTATS DANS LE FICHER
610 REM
611 PRINT #1,"MOYENNE DES 1000=";J
612 PRINT #1,"MOYENNE MINIMUM=";Y
613 PRINT #1,"MOYENNE MAXIMUM=";X
614 PRINT #1,"ECART-TYPE DES 1000=";D
615 PRINT #1,"ECART-TYPE MINIMUM=";YY
616 PRINT #1,"ECART-TYPE MAXIMUM=";XX
617 PRINT #1,"A 5% DE LA MOYENNE=";M/10
618 PRINT #1,"A 10% DE LA MOYENNE=";U/10
619 PRINT #1,"A 15% DE LA MOYENNE=";G/10
620 PRINT #1,"A 5% DE L'ECART-TYPE=";R/10
621 PRINT #1,"A 10% DE L'ECART-TYPE=";V/10
622 PRINT #1,"A 15% DE L'ECART-TYPE=";H/10
623 PRINT #1," "
630 PRINT #1," "
640 PRINT #1," "
655 REM
656 REM FERMETURE DU FICHER CONTENANT LES RESULTATS
657 REM
660 CLOSE #1
661 SOUND 369,2
662 SOUND 599,11
663 SOUND 469,7
664 SOUND 369,2
665 SOUND 499,9
667 SOUND 569,5
668 SOUND 399,9
669 SOUND 669,10
670 END
```

```
1 REM
2 REM PROGRAMME DE TIRAGE D'ECHANTILLON ALEATOIRE ET
3 REM EVALUATION DES PARAMETRES STATISTIQUES DE LA
4 REM CONDUCTIVITE HYDRAULIQUE IN SITU (HORIZON "A")
5 REM PAR LA METHODE CONVENTIONNELLE
6 REM
7 REM
8 REM OUVERTURE DU FICHIER QUI CONTIENDRA LES
9 REM RESULTATS DES TIRAGES ALEATOIRES
10 OPEN"o",#1,"YYY30"
11 REM
12 REM NJ = TAILLE DES ECHANTILLONS PIGES
13 REM NZ = NOMBRE DE TIRAGE ALEATOIRE
14 REM N = NOMBRE DE MESURE DE LA COND. HYDRAULIQUE
15 REM
20 NJ=30
40 N=84
50 NZ=1000
60 PRINT #1,"ECHANTILLON DE TAILLE";NJ
61 PRINT #1,""
62 REM
63 REM DIMENSIONNEMENT DE QUELQUES VARIABLES
64 REM MY(NZ) = MOYENNE DE LA COND. HYDRAULIQUE
65 REM MOY(NZ)= MOYENNE DES LOGARITHMES DE LA COND. HYD.
66 REM SSS(NZ)= ECART-TYPE DE LA COND. HYDRAULIQUE
67 REM SS(NZ) = VARIANCE DE LA CONDUCTIVITE HYDRAULIQUE
68 REM B(N) = VALEUR ENTIERE DE LA FONCTION ALEATOIRE
69 REM A(N) = VALEUR DES LOG. DE LA COND. HYDRAULIQUE
70 REM G(NJ)= VALEUR PIGEE DE LA COND. HYDRAULIQUE
71 REM
72 DIM MY(NZ)
80 DIM SSS(NZ)
90 DIM SS(NZ)
100 DIM MOY(NZ)
110 DIM B(N)
120 DIM A(N)
130 DIM G(NJ)
137 REM
138 REM LES VALEURS DES LOGARITHMES DE LA COND. HYD.
139 REM
140 DATA 1.164,1.038,1.146,-0.129,-0.207,0.182,0.894,0.628
150 DATA 0.219,0.560,1.820,1.139,0.917,1.231,-0.205,-1.542
160 DATA 0.875,0.603,1.580,1.214,-0.043,-0.200,0.836,0.089
170 DATA 0.279,0.367,0.683,0.010,1.244,0.910,0.744,1.337
180 DATA 0.353,-0.005,-0.364,0.071,0.160,-0.524,0.703
181 DATA 1.461,-0.786,-0.622,-0.301,0.997,-0.590,0.604
182 DATA -1.090,1.125,0.535,-0.879,0.772,1.068,-0.168
183 DATA -0.463,-0.225,0.066,0.456,1.414,-0.541,-0.617
184 DATA 0.856,-0.509,1.076,0.659,0.914,0.299,1.390,0.083
185 DATA 0.545,1.503,1.777,1.639,0.360,1.421,0.836,-0.654
186 DATA 0.447,0.411,-0.376,0.725,-0.038,1.367,-0.269,-0.758
```

```
187 REM
188 REM BOUCLE DE LECTURE DES DONNEES
189 REM
190 FOR I=1 TO N
200 READ A(I)
210 NEXT I
221 REM
222 REM INITIALISATION DES VARIABLES QUI SERVIRONT
223 REM DANS LA PRESENTATION DES RESULTATS
224 REM
230 M=0
231 U=0
232 V=0
233 G=0
234 H=0
240 R=0
250 J=0
260 D=0
261 REM
262 REM DEBUT DE LA BOUCLE DES 1000 TIRAGES ALEATOIRES
263 REM
310 FOR Z= 1 TO NZ
311 REM
312 REM REACTIVATION DE LA FONCTION ALEATOIRE
313 REM
315 RANDOMIZE TIMER
316 REM
317 REM INITIALISATION DES VARIABLES QUI SERVIRONT
318 REM DANS LES CALCULS
319 REM
320 REM
321 SS(Z)=0
322 SSS(Z)=0
323 MY(Z)=0
324 MOY(Z)=0
330 S=0
340 C=0
350 S1=0
360 S2=0
367 REM
368 REM TIRAGE DES ECHANTILLONS ALEATOIRES
369 REM
370 FOR K=1 TO NJ
380 B(K) = (RND * N ) + 1
390 B(K) = INT(B(K))
400 IF B(K) =N+1 THEN B(K)=N
405 REM
406 REM DEBUT DE LA BOUCLE DE COMPARAISON ENTRE LA
```

```
407 REM  VALEUR QUI VIENT D'ETRE FIGEE ET CELLES QUI
408 REM  LE FURENT AUPARAVANT
409 REM
410 FOR W=K-1 TO 1 STEP -1
420 IF B(K)=B(W) THEN 380
430 NEXT W
440 G(K)=A(B(K))
441 REM
442 REM  SOMMATION DES VALEURS FIGEES
443 REM
450 C=C+G(K)
460 NEXT K
461 REM
462 REM  MOYENNE DES LOGARITHMES
463 REM
470 MOY(Z)=C/NJ
471 REM
472 REM  BOUCLE DU CALCUL DE LA VARIANCE DES LOG.
473 REM
480 FOR K=1 TO NJ
490 S2=(MOY(Z)-G(K))^2
500 S1=S1+S2
510 NEXT K
520 S=S1/(NJ-1)
530 S3=S/2
531 REM
532 REM  DEBUT DE LA SECTION OU ON ESTIME LES
533 REM  PARAMETRES STATISTIQUES DE LA POPULATION
534 REM
540 MY(Z)=EXP(MOY(Z)+S3)
550 SS(Z)=MY(Z)*MY(Z)*(EXP(S)-1)
560 SSS(Z)=SQR(SS(Z))
561 REM
562 REM  TESTS DE COMPARAISON ENTRE LA MOYENNE ET
563 REM  L'ECART-TYPE QUI VIENNENT D'ETRE EVALUES
564 REM  ET CERTAINS NIVEAUX DE PRECISION DE
565 REM  CHACUN DES PARAMETRES
566 REM
570 IF MY(Z)>1.92 AND MY(Z)<2.14 THEN M=M+1
580 IF SSS(Z)<1.86 AND SSS(Z)>1.66 THEN R=R+1
581 IF MY(Z)>1.82 AND MY(Z)<2.24 THEN U=U+1
582 IF SSS(Z)<1.95 AND SSS(Z)>1.57 THEN V=V+1
583 IF MY(Z)>1.72 AND MY(Z)<2.35 THEN G=G+1
584 IF SSS(Z)<2.03 AND SSS(Z)>1.49 THEN H=H+1
590 NEXT Z
591 REM
592 REM  DEBUT DE LA RECHERCHE DE L'ECART-TYPE MINIMUM
593 REM  ET MAXIMUM ET DE LA MOYENNE MINIMUM ET MAXIMUM
```

```
594 REM
600 YY=SSS(1)
610 XX=SSS(1)
620 Y=MY(1)
630 X=MY(1)
640 FOR Z=2 TO NZ
650 IF MY(Z)<Y THEN Y=MY(Z)
660 IF MY(Z)>X THEN X=MY(Z)
670 IF SSS(Z)<YY THEN YY=SSS(Z)
680 IF SSS(Z)>XX THEN XX=SSS(Z)
690 NEXT Z
691 REM
692 REM DEBUT DE LA BOUCLE DU CALCUL DE LA MOYENNE DES
693 REM MOYENNES ET DE LA MOYENNE DES ECARTS-TYPES
694 REM
700 FOR Z=1 TO NZ
710 J=J+MY(Z)
720 D=D+SSS(Z)
730 NEXT Z
740 J=J/NZ
741 D=D/NZ
750 REM
751 REM IMPRESSION DES RESULTATS DANS LE FICHER
752 REM
753 PRINT #1,"MOYENNE MAXIMUM=";X
754 PRINT #1,"ECART-TYPE MOYEN DES 1000=";D
755 PRINT #1,"ECART-TYPE MINIMUM=";YY
756 PRINT #1,"ECART-TYPE MAXIMUM=";XX
757 PRINT #1,"A 5% DE LA MOYENNE=";M/10
758 PRINT #1,"A 10% DE LA MOYENNE=";U/10
759 PRINT #1,"A 15% DE LA MOYENNE=";G/10
760 PRINT #1,"A 5% DE L'ECART-TYPE=";R/10
761 PRINT #1,"A 10% DE L'ECART-TYPE=";V/10
762 PRINT #1,"A 15% DE L'ECART-TYPE=";H/10
763 PRINT #1,""
770 PRINT #1," "
780 PRINT #1," "
781 REM
782 REM FERMETURE DU FICHER CONTENANT LES RESULTATS
783 REM
800 CLOSE #1
810 SOUND 523.25,10
811 SOUND 587.33,10
812 SOUND 659.26,10
813 SOUND 698.46,10
814 SOUND 783.99,10
815 SOUND 880!,10
816 SOUND 987.77,10
817 SOUND 1046.5,10
850 END
```

```

1 REM PROGRAMME DE TIRAGE D'ECHANTILLON ALEATOIRE ET
2 REM EVALUATION DES PARAMETRES STATISTIQUES DE LA
3 REM CONDUCTIVITE HYDRAULIQUE IN SITU (HORIZON "A")
4 REM PAR LA METHODE DE LA MEDIANE
5 REM
6 REM OUVERTURE DU FICHER QUI CONTIENDRA LES RESULTATS
7 REM
10 OPEN"o",#1,"XXX10"
11 REM
12 REM NJ = TAILLE DES ECHANTILLONS PIGES
13 REM NZ = NOMBRE D'ECHANTILLON ALEATOIRE
14 REM N = NOMBRE DE MESURE DE LA CONDUCTIVITE HYDRAULIQUE
15 REM
20 NJ=10
50 NZ=1000
60 N=84
61 PRINT #1,"ECHANTILLONS DE TAILLE";NJ
62 PRINT #1,""
63 REM DIMENSIONNEMENT DE QUELQUES VARIABLES
64 REM SS(NZ) = ECART-TYPE ESTIME
65 REM MEDI(NZ) = MEDIANE ESTIMEE
66 REM SSS(NZ) = VARIANCE ESTIMEE
67 REM MY(NZ) = MOYENNE DES LOGARITHMES DE LA COND. HYD.
68 REM MOY(NZ) = MOYENNE ESTIMEE
69 REM B(N) = VALEUR ENTIERE DE LA FONCTION ALEATOIRE
70 REM A(N) = VALEURS DES LOGARITHMES DE LA COND. HYD.
71 REM G(NJ) = VALEURS DES LOGARITHMES DE LA COND. HYD. PIGES
72 REM
73 DIM SS(NZ)
74 DIM MEDI(NZ)
75 DIM SSS(NZ)
76 DIM MY(NZ)
80 DIM MOY(NZ)
90 DIM B(N)
100 DIM A(N)
110 DIM G(NJ)
111 REM
112 REM LES LOGARITHMES DE LA CONDUCTIVITE HYDRAULIQUE
113 REM
120 DATA 1.461,-0.786,-0.622,-0.301,0.997,-0.590,0.604
121 DATA -1.090,1.125,0.535,-0.879,0.772,1.068,-0.168
122 DATA -0.463,-0.225,-0.541,-0.617,-0.758,0.066,0.456
123 DATA -0.129,-0.207,0.182,0.894,0.628,0.856,-0.509
124 DATA 1.139,0.917,1.231,-0.205,-1.542,0.659,0.914
125 DATA 1.214,-0.043,-0.200,0.836,0.089,1.390,0.083
126 DATA 0.010,1.244,0.910,0.744,1.337,1.503,1.777
127 DATA 0.071,0.160,-0.524,0.703,0.360,1.421,0.836
128 DATA -0.654,0.447,0.411,0.376,0.725,-0.038,1.367
129 DATA -0.269,1.414,1.164,1.038,1.146,1.076,0.219
130 DATA 0.560,1.820,0.299,0.875,0.603 1.580,0.545
131 DATA 0.279,0.367,0.683,1.639,0.353,-0.005,-0.364

```

```
195 REM
196 REM  LECTURE DES LOGARITHMES DE LA COND. HYD.
197 REM
200 FOR I=1 TO N
210 READ A(I)
220 NEXT I
221 REM
222 REM  INITIALISATION DES VARIABLES QUI SERVIRONT DANS LA
223 REM  PRESENTATION DES RESULTATS
224 REM
231 U=0
232 G=0
233 V=0
234 H=0
240 M=0
250 R=0
280 J=0
290 D=0
291 REM
292 REM  DEBUT DE LA BOUCLE DES 1000 TIRAGES ALEATOIRES
293 REM
300 FOR Z= 1 TO NZ
301 REM
302 REM  REACTIVATION DE LA FONCTION ALEATOIRE
303 REM
304 RANDOMIZE TIMER
305 REM
306 REM  INITIALISATION DES VARIABLES QUI SERVIRONT
307 REM  AUX CALCULS
308 REM
310 REM
311 SS(Z)=0
312 MOY(Z)=0
313 MY(Z)=0
314 SSS(Z)=0
315 MEDI(Z)=0
320 S=0
330 C=0
340 S1=0
350 S2=0
351 REM
352 REM  TIRAGE ALEATOIRE D'UN ECHANTILLON
353 REM
360 FOR K=1 TO NJ
370 B(K) = (RND * N ) + 1
380 B(K) = INT(B(K))
390 IF B(K) =N+1 THEN B(K)=N
391 REM
```

```
392 REM BOUCLE DE COMPARAISON DE LA VALEUR QUI VIENT
393 REM D'ETRE PIGEE AVEC CELLES QUI LE FURENT AUPARAVANT
394 REM
400 FOR W=K-1 TO 1 STEP -1
410 IF B(K)=B(W) THEN 370
420 NEXT W
421 REM
422 REM SOMMATION DES VALEURS PIGEEES
423 REM
430 G(K)=A(B(K))
440 C=C+G(K)
450 NEXT K
451 REM
452 REM
453 REM CALCULS DE LA MOYENNE DES LOGS, DE LA MOYENNE
454 REM (MEDIANE) ET DE L'ECART-TYPE DE LA COND. HYD.
455 REM
456 REM
457 MY(Z)=C/NJ
458 FOR K=1 TO NJ
459 S2=(MY(Z)-G(K))^2
460 S1=S1+S2
461 NEXT K
462 S=S1/(NJ-1)
463 MEDI(Z)=EXP(MY(Z))
464 MOY(Z)=MEDI(Z)
465 SSS(Z)=MOY(Z)*MOY(Z)*(EXP(S)-1)
466 SS(Z)=SQR(SSS(Z))
467 REM TESTS DE COMPARAISON ENTRE LA MOYENNE ET
468 REM L'ECART-TYPE ESTIMES AVEC CERTAINS NIVEAUX
469 REM DE PRECISION P/R AUX VRAIS PARAMETRES
470 IF MOY(Z)>1.92 AND MOY(Z)<2.14 THEN M=M+1
480 IF MOY(Z)>1.82 AND MOY(Z)<2.24 THEN U=U+1
490 IF MOY(Z)>1.7 AND MOY(Z)<2.34 THEN G=G+1
570 IF SS(Z)>1.67 AND SS(Z)<1.85 THEN R=R+1
580 IF SS(Z)>1.58 AND SS(Z)<1.94 THEN V=V+1
590 IF SS(Z)>1.5 AND SS(Z)<2.03 THEN H=H+1
600 NEXT Z
601 REM
602 REM RECHERCHE DE L'ECART-TYPE MINIMUM ET MAXIMUM
603 REM ET DE LA MOYENNE MINIMUM ET MAXIMUM
604 REM
605 REM
610 YY=SS(1)
620 XX=SS(1)
630 Y=MOY(1)
640 X=MOY(1)
650 FOR Z=2 TO NZ
```

```
660 IF SS(Z)<YY THEN YY=SS(Z)
670 IF SS(Z)>XX THEN XX=SS(Z)
680 IF MOY(Z)<Y THEN Y=MOY(Z)
690 IF MOY(Z)>X THEN X=MOY(Z)
700 NEXT Z
701 REM
702 REM  CALCULS DE LA MOYENNE DES MOYENNES ET DE LA
703 REM  MOYENNE DES ECARTS-TYPES
704 REM
710 FOR Z=1 TO NZ
720 J=J+MOY(Z)
730 D=D+SS(Z)
740 NEXT Z
750 J=J/NZ
751 D=D/NZ
757 REM
758 REM  IMPRESSION DES RESULTATS DANS LE FICHER
759 REM
760 REM
761 PRINT #1,"MOYENNE DES 1000=";J
762 PRINT #1,"MOYENNE MINIMUM=";Y
763 PRINT #1,"MOYENNE MAXIMUM=";X
764 PRINT #1,"ECART-TYPE MOYEN DES 1000=";D
765 PRINT #1,"ECART-TYPE MINIMUM=";YY
766 PRINT #1,"ECART-TYPE MAXIMUM=";XX
767 PRINT #1,"A 5% DE LA MOYENNE=";M/10
768 PRINT #1,"A 10% DE LA MOYENNE=";U/10
769 PRINT #1,"A 15% DE LA MOYENNE=";G/10
770 PRINT #1,"A 5% DE L'ECART-TYPE=";R/10
771 PRINT #1,"A 10% DE L'ECART-TYPE=";V/10
772 PRINT #1,"A 15% DE L'ECART-TYPE=";H/10
773 PRINT #1,""
774 PRINT #1,""
775 PRINT #1,""
799 REM
800 REM  FERMETURE DU FICHER CONTENANT LES RESULTATS
801 REM
810 CLOSE #1
811 SOUND 784,9
812 SOUND 659,9
813 SOUND 699,9
814 SOUND 587,9
816 SOUND 659,9
817 SOUND 699,9
818 SOUND 784,9
819 SOUND 587,9
820 END
```

```
1 REM
2 REM PROGRAMME DE TIRAGE D'ECHANTILLON ALEATOIRE ET
3 REM EVALUATION DES PARAMETRES STATISTIQUES DE LA
4 REM CONDUCTIVITE HYDRAULIQUE IN SITU (HORIZON "A")
5 REM PAR LA METHODE DES MOMENTS
6 REM
7 REM OUVERTURE DU FICHER QUI CONTIENDRA LES RESULTATS
8 REM
9 REM
10 OPEN"o",#1,"PPP30"
11 REM
12 REM NJ = TAILLE DES ECHANTILLONS PIGES
13 REM NZ = NOMBRE DE TIRAGE ALEATOIRE
14 REM N = NOMBRE DE MESURE DE LA COND. HYDRAULIQUE
15 REM
20 NJ=30
50 NZ=1000
60 N=84
61 PRINT #1,"ECHANTILLONS DE TAILLE";NJ
62 PRINT #1,""
63 REM
64 REM DIMENSIONNEMENT DE QUELQUES VARIABLES
65 REM SS(NZ) = ECART-TYPE ESTIME
66 REM MOY(NZ)= MOYENNE ESTIMEE
67 REM B(N) = VALEUR ENTIERE DE LA FONCTION ALEATOIRE
68 REM A(N) = VALEURS MESUREES DE LA COND. HYDRAULIQUE
69 REM G(NJ) = VALEUR PIGEE DE LA COND. HYDRAULIQUE
70 DIM SS(NZ)
80 DIM MOY(NZ)
90 DIM B(N)
100 DIM A(N)
110 DIM G(NJ)
111 REM
112 REM LES VALEURS MESUREES DE LA COND. HYDRAULIQUE
113 REM
120 DATA 4.3098,2.7113,1.5643,3.0815,2.9081,3.9246,1.0678
121 DATA 1.5086,1.7076,0.8453,0.7639,1.5771,0.5393,0.5371
122 DATA 2.0650,0.6291,4.1129,0.4686,0.7404,0.5200,0.3360
123 DATA 3.201,2.445,1.750,0.214,4.855,4.014,1.010,5.910
124 DATA 1.932,3.366,1.087,3.468,5.150,0.592,4.322,2.353
125 DATA 1.827,1.093,1.979,4.493,1.074,2.306,2.484,1.423
126 DATA 1.348,0.819,1.322,2.105,0.995,1.433,3.806,0.695
127 DATA 0.813,2.933,3.423,2.398,2.306,1.444
128 DATA 0.5821,0.4558,0.5542,1.8296,0.6869,0.4151,2.1634
129 DATA 0.9630,0.7982,1.174,2.824,1.874,6.171,3.124
130 DATA 2.495,0.958,1.724,2.020,0.879,0.601,2.501
131 DATA 4.124,1.200,1.245,0.815
```

```
190 REM
191 REM BOUCLE DE LECTURE DES MESURES DE LA
192 REM CONDUCTIVITE HYDRAULIQUE
193 REM
200 FOR I=1 TO N
210 READ A(I)
220 NEXT I
221 REM
222 REM INITIALISATION DES VARIABLES QUI SERVIRONT
223 REM DANS LA PRESENTATION DES RESULTATS ET
224 REM CERTAINES A DES CALCULS
225 REM
231 U=0
232 G=0
233 V=0
234 H=0
240 M=0
250 R=0
260 SS(1)=0
270 MOY(1)=0
280 J=0
290 D=0
291 REM
292 REM BOUCLE DES 1000 TIRAGES ALEATOIRES
293 REM
300 FOR Z= 1 TO NZ
301 REM
302 REM REACTIVATION DE LA FONCTION ALEATOIRE
303 REM
310 RANDOMIZE TIMER
311 REM
312 REM INITIALISATION DES VARIABLES QUI SERVIRONT
313 REM DANS LES CALCULS
314 REM
320 S=0
330 C=0
340 S1=0
350 S2=0
351 REM
352 REM TIRAGE ALEATOIRE D'UN ECHANTILLON
353 REM
360 FOR K=1 TO NJ
370 B(K) = (RND * N ) + 1
380 B(K) = INT(B(K))
390 IF B(K) =N+1 THEN B(K)=N
391 REM
392 REM BOUCLE DE COMPARAISON ENTRE LA VALEUR PIGEE
393 REM ET CELLES QUI LE FURENT AUPARAVANT
```

```
630 Y=MOY(1)
640 X=MOY(1)
650 FOR Z=2 TO NZ
660 IF SS(Z)<YY THEN YY=SS(Z)
670 IF SS(Z)>XX THEN XX=SS(Z)
680 IF MOY(Z)<Y THEN Y=MOY(Z)
690 IF MOY(Z)>X THEN X=MOY(Z)
700 NEXT Z
701 REM
702 REM  CALCULS DE LA MOYENNE DES MOYENNES ET DE LA
703 REM  MOYENNE DES ECARTS-TYPES
704 REM
710 FOR Z=1 TO NZ
720 J=J+MOY(Z)
730 D=D+SS(Z)
740 NEXT Z
750 J=J/NZ
751 D=D/NZ
760 REM
761 REM  IMPRESSION DES RESULTATS DANS LE FICHER
762 REM
763 REM
764 PRINT #1,"ECART-TYPE MOYEN DES 1000=";D
765 PRINT #1,"ECART-TYPE MINIMUM=";YY
766 PRINT #1,"ECART-TYPE MAXIMUM=";XX
767 PRINT #1,"A 5% DE LA MOYENNE=";M/10
768 PRINT #1,"A 10% DE LA MOYENNE=";U/10
769 PRINT #1,"A 15% DE LA MOYENNE=";G/10
770 PRINT #1,"A 5% DE L'ECART-TYPE=";R/10
771 PRINT #1,"A 10% DE L'ECART-TYPE=";V/10
772 PRINT #1,"A 15% DE L'ECART-TYPE=";H/10
800 REM
801 REM  FERMETURE DU FICHER CONTENANT LES RESULTATS
802 REM
810 CLOSE #1
811 SOUND 230,12
812 SOUND 2222,12
813 SOUND 900,12
820 END
```

```
394 REM
400 FOR W=K-1 TO 1 STEP -1
410 IF B(K)=B(W) THEN 370
420 NEXT W
430 G(K)=A(B(K))
440 C=C+G(K)
441 REM
442 REM  SOMMATION DES VALEURS FIGEES
443 REM
450 NEXT K
451 REM
452 REM  CALCUL DE LA MOYENNE
453 REM
460 MOY(Z)=C/NJ
461 REM
462 REM  TESTS DE COMPARAISON ENTRE LA MOYENNE ESTIMEE
463 REM  ET CERTAINS NIVEAUX DE PRECISION DE LA VRAIE
464 REM  MOYENNE DE LA POPULATION
465 REM
470 IF MOY(Z)>1.92 AND MOY(Z)<2.14 THEN M=M+1
480 IF MOY(Z)>1.82 AND MOY(Z)<2.24 THEN U=U+1
490 IF MOY(Z)>1.72 AND MOY(Z)<2.35 THEN G=G+1
491 REM
492 REM  BOUCLE DU CALCUL DE L'ECART-TYPE
493 REM
500 FOR K=1 TO NJ
510 S2=(MOY(Z)-G(K))^2
520 S1=S1+S2
530 NEXT K
540 S=S1/(NJ-1)
550 SS(Z)=SOR(S)
560 REM
561 REM  TESTS DE COMPARAISON ENTRE L'ECART-TYPE ESTIME
562 REM  ET CERTAINS NIVEAUX DE PRECISION DU VRAI
563 REM  ECART-TYPE DE LA POPULATION
564 REM
570 IF SS(Z)<1.86 AND SS(Z)>1.66 THEN R=R+1
580 IF SS(Z)<1.95 AND SS(Z)>1.57 THEN V=V+1
590 IF SS(Z)<2.03 AND SS(Z)>1.49 THEN H=H+1
600 NEXT Z
601 REM
602 REM  DEBUT DE LA RECHERCHE DE L'ECART-TYPE MINIMUM
603 REM  ET MAXIMUM ET DE LA MOYENNE MINIMUM ET MAXIMUM
604 REM
605 REM
610 YY=SS(1)
620 XX=SS(1)
630 Y=MOY(1)
```

ANNEXE IV

A l'annexe IV, on fait connaître les résultats des tirages aléatoires réalisés grâce aux programmes informatiques présentés à l'annexe III.

Résultats des tirages aléatoires parmi les mesures de la porosité

ECHANTILLONS DE TAILLE 2

MOYENNE DES 1000= 36.71158
MOYENNE MINIMUM= 24.4
MOYENNE MAXIMUM= 46.25
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 3.53053
ECART-TYPE MINIMUM= 0
ECART-TYPE MAXIMUM= 16.39073
A 5% DE LA MOYENNE= 45.5
A 10% DE LA MOYENNE= 77
A 15% DE LA MOYENNE= 91.2
A 5% DE L'ECART-TYPE= 6.1
A 10% DE L'ECART-TYPE= 8.8
A 15% DE L'ECART-TYPE= 13.7

ECHANTILLONS DE TAILLE 4

MOYENNE DES 1000= 36.685
MOYENNE MINIMUM= 30.25
MOYENNE MAXIMUM= 43.285
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 4.210121
ECART-TYPE MINIMUM= .2723352
ECART-TYPE MAXIMUM= 10.31047
A 5% DE LA MOYENNE= 58.2
A 10% DE LA MOYENNE= 88.2
A 15% DE LA MOYENNE= 98.4
A 5% DE L'ECART-TYPE= 7.7
A 10% DE L'ECART-TYPE= 15.4
A 15% DE L'ECART-TYPE= 22.1

ECHANTILLONS DE TAILLE 6

MOYENNE DES 1000= 36.81399
MOYENNE MINIMUM= 31.51667
MOYENNE MAXIMUM= 42.425
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 4.30776
ECART-TYPE MINIMUM= 1.051483
ECART-TYPE MAXIMUM= 9.490318
A 5% DE LA MOYENNE= 71.1
A 10% DE LA MOYENNE= 96.1
A 15% DE LA MOYENNE= 99.9
A 5% DE L'ECART-TYPE= 10.8
A 10% DE L'ECART-TYPE= 19.3
A 15% DE L'ECART-TYPE= 29

ECHANTILLONS DE TAILLE 8

MOYENNE DES 1000= 36.72695
MOYENNE MINIMUM= 30.55375
MOYENNE MAXIMUM= 42.42375
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 4.348577
ECART-TYPE MINIMUM= .9869636
ECART-TYPE MAXIMUM= 8.609919
A 5% DE LA MOYENNE= 77.8
A 10% DE LA MOYENNE= 98.5
A 15% DE LA MOYENNE= 99.8
A 5% DE L'ECART-TYPE= 12.6
A 10% DE L'ECART-TYPE= 25
A 15% DE L'ECART-TYPE= 35.2

ECHANTILLONS DE TAILLE 10

MOYENNE DES 1000= 36.78413
MOYENNE MINIMUM= 32.196
MOYENNE MAXIMUM= 40.789
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 4.363936
ECART-TYPE MINIMUM= 1.106567
ECART-TYPE MAXIMUM= 8.173493
A 5% DE LA MOYENNE= 83.2
A 10% DE LA MOYENNE= 99.4
A 15% DE LA MOYENNE= 100
A 5% DE L'ECART-TYPE= 16.8
A 10% DE L'ECART-TYPE= 28
A 15% DE L'ECART-TYPE= 40.8

ECHANTILLONS DE TAILLE 12

MOYENNE DES 1000= 36.75203
MOYENNE MINIMUM= 32.35333
MOYENNE MAXIMUM= 40.4775
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 4.351665
ECART-TYPE MINIMUM= 1.441862
ECART-TYPE MAXIMUM= 7.862204
A 5% DE LA MOYENNE= 88.1
A 10% DE LA MOYENNE= 99.7
A 15% DE LA MOYENNE= 100
A 5% DE L'ECART-TYPE= 16.3
A 10% DE L'ECART-TYPE= 31
A 15% DE L'ECART-TYPE= 42

ECHANTILLONS DE TAILLE 14

MOYENNE DES 1000= 36.78945
MOYENNE MINIMUM= 33.87072
MOYENNE MAXIMUM= 40.24929
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 4.433466
ECART-TYPE MINIMUM= 2.095837
ECART-TYPE MAXIMUM= 7.325385
A 5% DE LA MOYENNE= 91.3
A 10% DE LA MOYENNE= 100
A 15% DE LA MOYENNE= 100
A 5% DE L'ECART-TYPE= 20.3
A 10% DE L'ECART-TYPE= 37.1
A 15% DE L'ECART-TYPE= 51.6

ECHANTILLONS DE TAILLE 16

MOYENNE DES 1000= 36.71446
MOYENNE MINIMUM= 33.69563
MOYENNE MAXIMUM= 39.60375
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 4.406826
ECART-TYPE MINIMUM= 2.126449
ECART-TYPE MAXIMUM= 6.842405
A 5% DE LA MOYENNE= 93.3
A 10% DE LA MOYENNE= 100
A 15% DE LA MOYENNE= 100
A 5% DE L'ECART-TYPE= 24.3
A 10% DE L'ECART-TYPE= 41.4
A 15% DE L'ECART-TYPE= 58.3

ECHANTILLONS DE TAILLE 18

MOYENNE DES 1000= 36.75914
MOYENNE MINIMUM= 33.75166
MOYENNE MAXIMUM= 39.48056
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 4.472078
ECART-TYPE MINIMUM= 1.597516
ECART-TYPE MAXIMUM= 6.573152
A 5% DE LA MOYENNE= 96.1
A 10% DE LA MOYENNE= 100
A 15% DE LA MOYENNE= 100
A 5% DE L'ECART-TYPE= 23.4
A 10% DE L'ECART-TYPE= 41.7
A 15% DE L'ECART-TYPE= 57.5

ECHANTILLONS DE TAILLE 20

MOYENNE DES 1000= 36.79572
MOYENNE MINIMUM= 34.28851
MOYENNE MAXIMUM= 39.4275
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 4.419246
ECART-TYPE MINIMUM= 2.370746
ECART-TYPE MAXIMUM= 6.486231
A 5% DE LA MOYENNE= 96.2
A 10% DE LA MOYENNE= 100
A 15% DE LA MOYENNE= 100
A 5% DE L'ECART-TYPE= 26.1
A 10% DE L'ECART-TYPE= 46.3
A 15% DE L'ECART-TYPE= 63.9

ECHANTILLONS DE TAILLE 22

MOYENNE DES 1000= 36.82238
MOYENNE MINIMUM= 34.32454
MOYENNE MAXIMUM= 39.54864
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 4.428533
ECART-TYPE MINIMUM= 2.29645
ECART-TYPE MAXIMUM= 6.429662
A 5% DE LA MOYENNE= 97.5
A 10% DE LA MOYENNE= 100
A 15% DE LA MOYENNE= 100
A 5% DE L'ECART-TYPE= 28
A 10% DE L'ECART-TYPE= 46.3
A 15% DE L'ECART-TYPE= 62.3

ECHANTILLONS DE TAILLE 24

MOYENNE DES 1000= 36.78222
MOYENNE MINIMUM= 34.33042
MOYENNE MAXIMUM= 39.06833
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 4.440123
ECART-TYPE MINIMUM= 2.373144
ECART-TYPE MAXIMUM= 6.303551
A 5% DE LA MOYENNE= 97.8
A 10% DE LA MOYENNE= 100
A 15% DE LA MOYENNE= 100
A 5% DE L'ECART-TYPE= 27.3
A 10% DE L'ECART-TYPE= 48.7
A 15% DE L'ECART-TYPE= 66.6

ECHANTILLONS DE TAILLE 26

MOYENNE DES 1000= 36.77607
MOYENNE MINIMUM= 34.61884
MOYENNE MAXIMUM= 38.96654
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 4.463697
ECART-TYPE MINIMUM= 2.741389
ECART-TYPE MAXIMUM= 6.360397
A 5% DE LA MOYENNE= 99
A 10% DE LA MOYENNE= 100
A 15% DE LA MOYENNE= 100
A 5% DE L'ECART-TYPE= 29.9
A 10% DE L'ECART-TYPE= 51.9
A 15% DE L'ECART-TYPE= 71.7

ECHANTILLONS DE TAILLE 28

MOYENNE DES 1000= 36.76795
MOYENNE MINIMUM= 34.81857
MOYENNE MAXIMUM= 38.72643
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 4.457864
ECART-TYPE MINIMUM= 2.83391
ECART-TYPE MAXIMUM= 6.238929
A 5% DE LA MOYENNE= 99.5
A 10% DE LA MOYENNE= 100
A 15% DE LA MOYENNE= 100
A 5% DE L'ECART-TYPE= 32.1
A 10% DE L'ECART-TYPE= 57.5
A 15% DE L'ECART-TYPE= 75

ECHANTILLONS DE TAILLE 30

MOYENNE DES 1000= 36.72521
MOYENNE MINIMUM= 34.74567
MOYENNE MAXIMUM= 39.27434
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 4.423971
ECART-TYPE MINIMUM= 2.456828
ECART-TYPE MAXIMUM= 5.985955
A 5% DE LA MOYENNE= 99.5
A 10% DE LA MOYENNE= 100
A 15% DE LA MOYENNE= 100
A 5% DE L'ECART-TYPE= 35.4
A 10% DE L'ECART-TYPE= 59.4
A 15% DE L'ECART-TYPE= 78.4

Résultats des tirages aléatoires parmi les mesures de la conductivité hydraulique en laboratoire et évaluation des paramètres statistiques par la méthode conventionnelle

ECHANTILLON DE TAILLE 2

MOYENNE DES 1000= 24325.25
 MOYENNE MINIMUM= 1.766801E-02
 MOYENNE MAXIMUM= 5406711
 ECART-TYPE DES 1000= 8.534408E+10
 ECART-TYPE MINIMUM= 0
 ECART-TYPE MAXIMUM= 3.190561E+13
 A 5% DE LA MOYENNE= 3.4
 A 10% DE LA MOYENNE= 6
 A 15% DE LA MOYENNE= 10
 A 5% DE L'ECART-TYPE= .3
 A 10% DE L'ECART-TYPE= 1.1
 A 15% DE L'ECART-TYPE= 1.7

ECHANTILLON DE TAILLE 4

MOYENNE DES 1000= 136.8308
 MOYENNE MINIMUM= 1.560031
 MOYENNE MAXIMUM= 7189.801
 ECART-TYPE DES 1000= 91398.91
 ECART-TYPE MINIMUM= 1.198687
 ECART-TYPE MAXIMUM= 9855963
 A 5% DE LA MOYENNE= 4.4
 A 10% DE LA MOYENNE= 11.4
 A 15% DE LA MOYENNE= 16.5
 A 5% DE L'ECART-TYPE= 1.6
 A 10% DE L'ECART-TYPE= 2.1
 A 15% DE L'ECART-TYPE= 3.5

ECHANTILLON DE TAILLE 6

MOYENNE DES 1000= 60.89392
 MOYENNE MINIMUM= 1.163279
 MOYENNE MAXIMUM= 1305.938
 ECART-TYPE DES 1000= 3955.935
 ECART-TYPE MINIMUM= 2.56413
 ECART-TYPE MAXIMUM= 330432.2
 A 5% DE LA MOYENNE= 5.4
 A 10% DE LA MOYENNE= 11.1
 A 15% DE LA MOYENNE= 15.7
 A 5% DE L'ECART-TYPE= 1.6
 A 10% DE L'ECART-TYPE= 2.8
 A 15% DE L'ECART-TYPE= 5

ECHANTILLON DE TAILLE 8

MOYENNE DES 1000= 47.09226
MOYENNE MINIMUM= 5.740961
MOYENNE MAXIMUM= 583.1654
ECART-TYPE DES 1000= 1315.12
ECART-TYPE MINIMUM= 6.420372
ECART-TYPE MAXIMUM= 190791.6
A 5% DE LA MOYENNE= 5.9
A 10% DE LA MOYENNE= 12.2
A 15% DE LA MOYENNE= 16
A 5% DE L'ECART-TYPE= 1.5
A 10% DE L'ECART-TYPE= 3.2
A 15% DE L'ECART-TYPE= 4.8

ECHANTILLON DE TAILLE 10

MOYENNE DES 1000= 41.97361
MOYENNE MINIMUM= 7.52041
MOYENNE MAXIMUM= 653.2425
ECART-TYPE DES 1000= 656.6056
ECART-TYPE MINIMUM= 4.565809
ECART-TYPE MAXIMUM= 79194.59
A 5% DE LA MOYENNE= 4.7
A 10% DE LA MOYENNE= 10.6
A 15% DE LA MOYENNE= 17.3
A 5% DE L'ECART-TYPE= 2.2
A 10% DE L'ECART-TYPE= 3.6
A 15% DE L'ECART-TYPE= 6.3

ECHANTILLON DE TAILLE 12

MOYENNE DES 1000= 38.52772
MOYENNE MINIMUM= 9.852907
MOYENNE MAXIMUM= 305.0762
ECART-TYPE DES 1000= 385.6238
ECART-TYPE MINIMUM= 8.041853
ECART-TYPE MAXIMUM= 23044.97
A 5% DE LA MOYENNE= 5.3
A 10% DE LA MOYENNE= 11.1
A 15% DE LA MOYENNE= 16
A 5% DE L'ECART-TYPE= 2.2
A 10% DE L'ECART-TYPE= 4.1
A 15% DE L'ECART-TYPE= 5.5

ECHANTILLON DE TAILLE 14

MOYENNE DES 1000= 37.97805
MOYENNE MINIMUM= 9.383092
MOYENNE MAXIMUM= 220.6134
ECART-TYPE DES 1000= 343.0911
ECART-TYPE MINIMUM= 5.021592
ECART-TYPE MAXIMUM= 9634.463
A 5% DE LA MOYENNE= 6.3
A 10% DE LA MOYENNE= 13
A 15% DE LA MOYENNE= 18.1
A 5% DE L'ECART-TYPE= 3
A 10% DE L'ECART-TYPE= 5.3
A 15% DE L'ECART-TYPE= 7.1

ECHANTILLON DE TAILLE 16

MOYENNE DES 1000= 37.28488
MOYENNE MINIMUM= 9.994436
MOYENNE MAXIMUM= 208.6909
ECART-TYPE DES 1000= 301.3766
ECART-TYPE MINIMUM= 8.288109
ECART-TYPE MAXIMUM= 9336.118
A 5% DE LA MOYENNE= 6.1
A 10% DE LA MOYENNE= 12.6
A 15% DE LA MOYENNE= 19.3
A 5% DE L'ECART-TYPE= 1.9
A 10% DE L'ECART-TYPE= 3.9
A 15% DE L'ECART-TYPE= 6.1

ECHANTILLON DE TAILLE 18

MOYENNE DES 1000= 36.56023
MOYENNE MINIMUM= 10.02468
MOYENNE MAXIMUM= 145.3365
ECART-TYPE DES 1000= 248.0699
ECART-TYPE MINIMUM= 10.07434
ECART-TYPE MAXIMUM= 4143.786
A 5% DE LA MOYENNE= 5.9
A 10% DE LA MOYENNE= 12.1
A 15% DE LA MOYENNE= 21.8
A 5% DE L'ECART-TYPE= 2.3
A 10% DE L'ECART-TYPE= 4.9
A 15% DE L'ECART-TYPE= 7.4

HANTILLON DE TAILLE 20

YENNE DES 1000= .35.06617
YENNE MINIMUM= 10.51943
YENNE MAXIMUM= 141.0531
ART-TYPE DES 1000= 218.1796
ART-TYPE MINIMUM= 10.9096
ART-TYPE MAXIMUM= 3565.239
5% DE LA MOYENNE= 6.1
10% DE LA MOYENNE= 13
15% DE LA MOYENNE= 21.5
5% DE L'ECART-TYPE= 1.4
10% DE L'ECART-TYPE= 3.8
15% DE L'ECART-TYPE= 6.8

HANTILLON DE TAILLE 22

YENNE DES 1000= 35.99059
YENNE MINIMUM= 12.71634
YENNE MAXIMUM= 165.5122
ART-TYPE DES 1000= 217.8248
ART-TYPE MINIMUM= 11.90665
ART-TYPE MAXIMUM= 3202.429
5% DE LA MOYENNE= 6.5
10% DE LA MOYENNE= 15.3
15% DE LA MOYENNE= 22.3
5% DE L'ECART-TYPE= 2.4
10% DE L'ECART-TYPE= 4.9
15% DE L'ECART-TYPE= 7.4

HANTILLON DE TAILLE 24

YENNE DES 1000= 34.85195
YENNE MINIMUM= 12.74633
YENNE MAXIMUM= 129.5426
ART-TYPE DES 1000= 191.0423
ART-TYPE MINIMUM= 13.66077
ART-TYPE MAXIMUM= 2245.144
5% DE LA MOYENNE= 8.899999
10% DE LA MOYENNE= 17.2
15% DE LA MOYENNE= 25.4
5% DE L'ECART-TYPE= 3.7
10% DE L'ECART-TYPE= 6.9
15% DE L'ECART-TYPE= 10

ECHANTILLON DE TAILLE 26

MOYENNE DES 1000= 34.55416
MOYENNE MINIMUM= 12.57171
MOYENNE MAXIMUM= 108.5488
ECART-TYPE DES 1000= 183.2479
ECART-TYPE MINIMUM= 11.43891
ECART-TYPE MAXIMUM= 1803.298
A 5% DE LA MOYENNE= 10.6
A 10% DE LA MOYENNE= 18.6
A 15% DE LA MOYENNE= 27
A 5% DE L'ECART-TYPE= 2.9
A 10% DE L'ECART-TYPE= 7.6
A 15% DE L'ECART-TYPE= 10.9

ECHANTILLON DE TAILLE 28

MOYENNE DES 1000= 34.24462
MOYENNE MINIMUM= 14.09624
MOYENNE MAXIMUM= 101.1367
ECART-TYPE DES 1000= 169.8562
ECART-TYPE MINIMUM= 16.15424
ECART-TYPE MAXIMUM= 1722.836
A 5% DE LA MOYENNE= 8.600001
A 10% DE LA MOYENNE= 19.3
A 15% DE LA MOYENNE= 29.1
A 5% DE L'ECART-TYPE= 5.6
A 10% DE L'ECART-TYPE= 9.7
A 15% DE L'ECART-TYPE= 12.5

ECHANTILLON DE TAILLE 30

MOYENNE DES 1000= 34.32942
MOYENNE MINIMUM= 11.68417
MOYENNE MAXIMUM= 91.76158
ECART-TYPE DES 1000= 169.463
ECART-TYPE MINIMUM= 13.34385
ECART-TYPE MAXIMUM= 1117.175
A 5% DE LA MOYENNE= 10.1
A 10% DE LA MOYENNE= 22.4
A 15% DE LA MOYENNE= 31.5
A 5% DE L'ECART-TYPE= 4.3
A 10% DE L'ECART-TYPE= 8.100001
A 15% DE L'ECART-TYPE= 12.4

Résultats des tirages aléatoires parmi les mesures de la conductivité hydraulique in situ et évaluation des paramètres statistiques par la méthode conventionnelle

119

ECHANTILLON DE TAILLE 2

MOYENNE DES 1000= 2.320191
MOYENNE MINIMUM= .3326689
MOYENNE MAXIMUM= 19.39000
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 3.179762
ECART-TYPE MINIMUM= 3.397531E-03
ECART-TYPE MAXIMUM= 326.6086
A 5% DE LA MOYENNE= 7.6
A 10% DE LA MOYENNE= 13.2
A 15% DE LA MOYENNE= 19.2
A 5% DE L'ECART-TYPE= 3.7
A 10% DE L'ECART-TYPE= 6.6
A 15% DE L'ECART-TYPE= 9

ECHANTILLON DE TAILLE 4

MOYENNE DES 1000= 2.15273
MOYENNE MINIMUM= .5554912
MOYENNE MAXIMUM= 5.185629
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 2.016495
ECART-TYPE MINIMUM= 9.794358E-02
ECART-TYPE MAXIMUM= 14.38101
A 5% DE LA MOYENNE= 10.2
A 10% DE LA MOYENNE= 20
A 15% DE LA MOYENNE= 31.2
A 5% DE L'ECART-TYPE= 6.7
A 10% DE L'ECART-TYPE= 12.6
A 15% DE L'ECART-TYPE= 17.1

ECHANTILLON DE TAILLE 6

MOYENNE DES 1000= 2.107483
MOYENNE MINIMUM= .7498398
MOYENNE MAXIMUM= 4.745662
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 1.850574
ECART-TYPE MINIMUM= .1776018
ECART-TYPE MAXIMUM= 10.47449
A 5% DE LA MOYENNE= 13.6
A 10% DE LA MOYENNE= 24.8
A 15% DE LA MOYENNE= 38.3
A 5% DE L'ECART-TYPE= 8.600001
A 10% DE L'ECART-TYPE= 18
A 15% DE L'ECART-TYPE= 25.2

ECHANTILLON DE TAILLE 8

120

MOYENNE DES 1000= 2.081724
MOYENNE MINIMUM= .8647516
MOYENNE MAXIMUM= 3.848586
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 1.810113
ECART-TYPE MINIMUM= .4509715
ECART-TYPE MAXIMUM= 6.488504
A 5% DE LA MOYENNE= 17
A 10% DE LA MOYENNE= 31.3
A 15% DE LA MOYENNE= 44.9
A 5% DE L'ECART-TYPE= 10.4
A 10% DE L'ECART-TYPE= 18.7
A 15% DE L'ECART-TYPE= 28

ECHANTILLON DE TAILLE 10

MOYENNE DES 1000= 2.056745
MOYENNE MINIMUM= .8559042
MOYENNE MAXIMUM= 3.466188
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 1.767362
ECART-TYPE MINIMUM= .5037214
ECART-TYPE MAXIMUM= 4.769927
A 5% DE LA MOYENNE= 19.6
A 10% DE LA MOYENNE= 37.6
A 15% DE LA MOYENNE= 51.9
A 5% DE L'ECART-TYPE= 13
A 10% DE L'ECART-TYPE= 24.6
A 15% DE L'ECART-TYPE= 34

ECHANTILLON DE TAILLE 12

MOYENNE DES 1000= 2.061603
MOYENNE MINIMUM= 1.054995
MOYENNE MAXIMUM= 3.576423
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 1.762824
ECART-TYPE MINIMUM= .5972978
ECART-TYPE MAXIMUM= 4.931111
A 5% DE LA MOYENNE= 18.4
A 10% DE LA MOYENNE= 36.2
A 15% DE LA MOYENNE= 53.1
A 5% DE L'ECART-TYPE= 12.4
A 10% DE L'ECART-TYPE= 25.9
A 15% DE L'ECART-TYPE= 36.5

ECHANTILLON DE TAILLE 14

MOYENNE DES 1000= 2.033423
MOYENNE MINIMUM= 1.077414
MOYENNE MAXIMUM= 3.33613
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 1.760074
ECART-TYPE MINIMUM= .5694724
ECART-TYPE MAXIMUM= 4.512743
A 5% DE LA MOYENNE= 22.7
A 10% DE LA MOYENNE= 41.8
A 15% DE LA MOYENNE= 61.1
A 5% DE L'ECART-TYPE= 14.7
A 10% DE L'ECART-TYPE= 27.5
A 15% DE L'ECART-TYPE= 37.3

ECHANTILLON DE TAILLE 16

MOYENNE DES 1000= 2.036652
MOYENNE MINIMUM= .9231776
MOYENNE MAXIMUM= 3.234903
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 1.773109
ECART-TYPE MINIMUM= .5844158
ECART-TYPE MAXIMUM= 4.176716
A 5% DE LA MOYENNE= 23.6
A 10% DE LA MOYENNE= 46.3
A 15% DE LA MOYENNE= 64.4
A 5% DE L'ECART-TYPE= 16.3
A 10% DE L'ECART-TYPE= 30.4
A 15% DE L'ECART-TYPE= 43.5

ECHANTILLON DE TAILLE 18

MOYENNE DES 1000= 2.04259
MOYENNE MINIMUM= 1.134293
MOYENNE MAXIMUM= 3.245885
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 1.763828
ECART-TYPE MINIMUM= .760132
ECART-TYPE MAXIMUM= 4.253883
A 5% DE LA MOYENNE= 25.7
A 10% DE LA MOYENNE= 47.3
A 15% DE LA MOYENNE= 66.6
A 5% DE L'ECART-TYPE= 18.2
A 10% DE L'ECART-TYPE= 33.8
A 15% DE L'ECART-TYPE= 45.1

ECHANTILLON DE TAILLE 20

MOYENNE DES 1000= 2.037453
MOYENNE MINIMUM= 1.236308
MOYENNE MAXIMUM= 3.026243
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 1.76623
ECART-TYPE MINIMUM= .6925968
ECART-TYPE MAXIMUM= 3.162474
A 5% DE LA MOYENNE= 29
A 10% DE LA MOYENNE= 50.6
A 15% DE LA MOYENNE= 69.6
A 5% DE L'ECART-TYPE= 19.7
A 10% DE L'ECART-TYPE= 36.6
A 15% DE L'ECART-TYPE= 50.1

ECHANTILLON DE TAILLE 22

MOYENNE DES 1000= 2.038249
MOYENNE MINIMUM= 1.289393
MOYENNE MAXIMUM= 2.925492
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 1.753171
ECART-TYPE MINIMUM= .7766572
ECART-TYPE MAXIMUM= 3.460218
A 5% DE LA MOYENNE= 28.8
A 10% DE LA MOYENNE= 52.3
A 15% DE LA MOYENNE= 71.9
A 5% DE L'ECART-TYPE= 19.4
A 10% DE L'ECART-TYPE= 36
A 15% DE L'ECART-TYPE= 49.3

ECHANTILLON DE TAILLE 24

MOYENNE DES 1000= 2.033157
MOYENNE MINIMUM= 1.313968
MOYENNE MAXIMUM= 2.844554
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 1.767515
ECART-TYPE MINIMUM= .706547
ECART-TYPE MAXIMUM= 3.212919
A 5% DE LA MOYENNE= 33.1
A 10% DE LA MOYENNE= 58.1
A 15% DE LA MOYENNE= 77.1
A 5% DE L'ECART-TYPE= 21.1
A 10% DE L'ECART-TYPE= 40.3
A 15% DE L'ECART-TYPE= 53.4

ECHANTILLON DE TAILLE 26

MOYENNE DES 1000= 2.037348
MOYENNE MINIMUM= 1.2288
MOYENNE MAXIMUM= 2.752031
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 1.764769
ECART-TYPE MINIMUM= .8910524
ECART-TYPE MAXIMUM= 2.984815
A 5% DE LA MOYENNE= 34.8
A 10% DE LA MOYENNE= 61.2
A 15% DE LA MOYENNE= 80.1
A 5% DE L'ECART-TYPE= 23.7
A 10% DE L'ECART-TYPE= 43.1
A 15% DE L'ECART-TYPE= 58.4

ECHANTILLON DE TAILLE 28

MOYENNE DES 1000= 2.024081
MOYENNE MINIMUM= 1.429413
MOYENNE MAXIMUM= 3.006611
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 1.752456
ECART-TYPE MINIMUM= .9790443
ECART-TYPE MAXIMUM= 3.294521
A 5% DE LA MOYENNE= 35.8
A 10% DE LA MOYENNE= 63.3
A 15% DE LA MOYENNE= 82.5
A 5% DE L'ECART-TYPE= 22.7
A 10% DE L'ECART-TYPE= 43.8
A 15% DE L'ECART-TYPE= 60

ECHANTILLON DE TAILLE 30

MOYENNE DES 1000= 2.037384
MOYENNE MINIMUM= 1.407239
MOYENNE MAXIMUM= 2.888909
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 1.75534
ECART-TYPE MINIMUM= .9967414
ECART-TYPE MAXIMUM= 3.130526
A 5% DE LA MOYENNE= 40
A 10% DE LA MOYENNE= 62.8
A 15% DE LA MOYENNE= 82.9
A 5% DE L'ECART-TYPE= 22.9
A 10% DE L'ECART-TYPE= 44.4
A 15% DE L'ECART-TYPE= 61.7

Résultats des tirages aléatoires parmi les mesures de la conductivité hydraulique in situ et évaluation des paramètres statistiques par la méthode des moments

124

ECHANTILLONS DE TAILLE 2

MOYENNE DES 1000= 1.977605
MOYENNE MINIMUM= .45045
MOYENNE MAXIMUM= 5.14195
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 1.076556
ECART-TYPE MINIMUM= 1.55564E-03
ECART-TYPE MAXIMUM= 4.125968
A 5% DE LA MOYENNE= 7.1
A 10% DE LA MOYENNE= 13.7
A 15% DE LA MOYENNE= 21
A 5% DE L'ECART-TYPE= 4.9
A 10% DE L'ECART-TYPE= 8.3
A 15% DE L'ECART-TYPE= 10.9

ECHANTILLONS DE TAILLE 4

MOYENNE DES 1000= 1.964137
MOYENNE MINIMUM= .606
MOYENNE MAXIMUM= 4.222
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 1.254355
ECART-TYPE MINIMUM= .1112923
ECART-TYPE MAXIMUM= 3.137379
A 5% DE LA MOYENNE= 12.4
A 10% DE LA MOYENNE= 23.5
A 15% DE LA MOYENNE= 35.1
A 5% DE L'ECART-TYPE= 8.2
A 10% DE L'ECART-TYPE= 16.1
A 15% DE L'ECART-TYPE= 22

ECHANTILLONS DE TAILLE 6

MOYENNE DES 1000= 1.961359
MOYENNE MINIMUM= .6596667
MOYENNE MAXIMUM= 3.845267
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 1.286537
ECART-TYPE MINIMUM= .214099
ECART-TYPE MAXIMUM= 2.700606
A 5% DE LA MOYENNE= 15.5
A 10% DE LA MOYENNE= 29.3
A 15% DE LA MOYENNE= 42.6
A 5% DE L'ECART-TYPE= 8.899999
A 10% DE L'ECART-TYPE= 17.5
A 15% DE L'ECART-TYPE= 25.8

ECHANTILLONS DE TAILLE 8

MOYENNE DES 1000= 1.982635
MOYENNE MINIMUM= .6447875
MOYENNE MAXIMUM= 3.610237
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 1.321624
ECART-TYPE MINIMUM= .2747747
ECART-TYPE MAXIMUM= 2.366976
A 5% DE LA MOYENNE= 18.1
A 10% DE LA MOYENNE= 32
A 15% DE LA MOYENNE= 50.3
A 5% DE L'ECART-TYPE= 10.9
A 10% DE L'ECART-TYPE= 22.2
A 15% DE L'ECART-TYPE= 29.9

ECHANTILLONS DE TAILLE 10

MOYENNE DES 1000= 1.982011
MOYENNE MINIMUM= .9095001
MOYENNE MAXIMUM= 3.22362
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 1.335978
ECART-TYPE MINIMUM= .3998818
ECART-TYPE MAXIMUM= 2.17903
A 5% DE LA MOYENNE= 21.3
A 10% DE LA MOYENNE= 39.5
A 15% DE LA MOYENNE= 56.3
A 5% DE L'ECART-TYPE= 13.7
A 10% DE L'ECART-TYPE= 23.8
A 15% DE L'ECART-TYPE= 31.3

ECHANTILLONS DE TAILLE 12

MOYENNE DES 1000= 1.9855
MOYENNE MINIMUM= 1.0125
MOYENNE MAXIMUM= 3.28055
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 1.340093
ECART-TYPE MINIMUM= .4588439
ECART-TYPE MAXIMUM= 2.210312
A 5% DE LA MOYENNE= 22.5
A 10% DE LA MOYENNE= 44
A 15% DE LA MOYENNE= 59.6
A 5% DE L'ECART-TYPE= 12.2
A 10% DE L'ECART-TYPE= 23.7
A 15% DE L'ECART-TYPE= 33.3

ECHANTILLONS DE TAILLE 14

126

MOYENNE DES 1000= 1.988166
MOYENNE MINIMUM= 1.14225
MOYENNE MAXIMUM= 2.922536
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 1.359581
ECART-TYPE MINIMUM= .5192453
ECART-TYPE MAXIMUM= 2.072762
A 5% DE LA MOYENNE= 25.1
A 10% DE LA MOYENNE= 45.6
A 15% DE LA MOYENNE= 63.9
A 5% DE L'ECART-TYPE= 10.9
A 10% DE L'ECART-TYPE= 22
A 15% DE L'ECART-TYPE= 32.9

ECHANTILLONS DE TAILLE 16

MOYENNE DES 1000= 1.999169
MOYENNE MINIMUM= 1.039825
MOYENNE MAXIMUM= 3.195631
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 1.365898
ECART-TYPE MINIMUM= .5488039
ECART-TYPE MAXIMUM= 2.031245
A 5% DE LA MOYENNE= 26.5
A 10% DE LA MOYENNE= 49.1
A 15% DE LA MOYENNE= 67.9
A 5% DE L'ECART-TYPE= 11.5
A 10% DE L'ECART-TYPE= 23
A 15% DE L'ECART-TYPE= 34.4

ECHANTILLONS DE TAILLE 18

MOYENNE DES 1000= 1.981556
MOYENNE MINIMUM= .9181723
MOYENNE MAXIMUM= 3.04255
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 1.361476
ECART-TYPE MINIMUM= .4552652
ECART-TYPE MAXIMUM= 2.045411
A 5% DE LA MOYENNE= 31.2
A 10% DE LA MOYENNE= 52.1
A 15% DE LA MOYENNE= 70.8
A 5% DE L'ECART-TYPE= 8.8
A 10% DE L'ECART-TYPE= 18.9
A 15% DE L'ECART-TYPE= 31.6

ECHANTILLONS DE TAILLE 20

MOYENNE DES 1000= 1.985061
MOYENNE MINIMUM= 1.052055
MOYENNE MAXIMUM= 3.006305
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 1.371422
ECART-TYPE MINIMUM= .6206813
ECART-TYPE MAXIMUM= 1.898429
A 5% DE LA MOYENNE= 30.7
A 10% DE LA MOYENNE= 54.1
A 15% DE LA MOYENNE= 73.4
A 5% DE L'ECART-TYPE= 7.9
A 10% DE L'ECART-TYPE= 19.8
A 15% DE L'ECART-TYPE= 32.8

ECHANTILLONS DE TAILLE 22

MOYENNE DES 1000= 1.980037
MOYENNE MINIMUM= 1.22165
MOYENNE MAXIMUM= 2.734073
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 1.361618
ECART-TYPE MINIMUM= .7816272
ECART-TYPE MAXIMUM= 1.828335
A 5% DE LA MOYENNE= 30.4
A 10% DE LA MOYENNE= 59.7
A 15% DE LA MOYENNE= 77.2
A 5% DE L'ECART-TYPE= 6.6
A 10% DE L'ECART-TYPE= 17.1
A 15% DE L'ECART-TYPE= 29.5

ECHANTILLONS DE TAILLE 24

MOYENNE DES 1000= 1.984858
MOYENNE MINIMUM= 1.214913
MOYENNE MAXIMUM= 2.676621
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 1.37076
ECART-TYPE MINIMUM= .7238586
ECART-TYPE MAXIMUM= 1.829327
A 5% DE LA MOYENNE= 32.1
A 10% DE LA MOYENNE= 56.9
A 15% DE LA MOYENNE= 77.7
A 5% DE L'ECART-TYPE= 5.7
A 10% DE L'ECART-TYPE= 14.9
A 15% DE L'ECART-TYPE= 28.3

ECHANTILLONS DE TAILLE 26

128

MOYENNE DES 1000= 1.989848
MOYENNE MINIMUM= 1.3328
MOYENNE MAXIMUM= 2.668088
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 1.374805
ECART-TYPE MINIMUM= .7673258
ECART-TYPE MAXIMUM= 1.883278
A 5% DE LA MOYENNE= 37.5
A 10% DE LA MOYENNE= 63.6
A 15% DE LA MOYENNE= 82.9
A 5% DE L'ECART-TYPE= 4.6
A 10% DE L'ECART-TYPE= 13.8
A 15% DE L'ECART-TYPE= 27.7

ECHANTILLONS DE TAILLE 28

MOYENNE DES 1000= 1.991473
MOYENNE MINIMUM= 1.470793
MOYENNE MAXIMUM= 2.819004
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 1.376337
ECART-TYPE MINIMUM= .8656037
ECART-TYPE MAXIMUM= 1.807563
A 5% DE LA MOYENNE= 39.1
A 10% DE LA MOYENNE= 66
A 15% DE LA MOYENNE= 85.2
A 5% DE L'ECART-TYPE= 3
A 10% DE L'ECART-TYPE= 12.8
A 15% DE L'ECART-TYPE= 27.5

ECHANTILLONS DE TAILLE 30

MOYENNE DES 1000= 1.983409
MOYENNE MINIMUM= 1.393763
MOYENNE MAXIMUM= 2.607073
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 1.370482
ECART-TYPE MINIMUM= .7876801
ECART-TYPE MAXIMUM= 1.780612
A 5% DE LA MOYENNE= 41.4
A 10% DE LA MOYENNE= 69.6
A 15% DE LA MOYENNE= 87.9
A 5% DE L'ECART-TYPE= 2.1
A 10% DE L'ECART-TYPE= 10.6
A 15% DE L'ECART-TYPE= 24

Résultats des tirages aléatoires parmi les mesures de la
conductivité hydraulique in situ et évaluation paramètres
statistiques par la méthode de la médiane

129

ECHANTILLONS DE TAILLE 2

MOYENNE DES 1000= 1.70092
MOYENNE MINIMUM= .2980482
MOYENNE MAXIMUM= 5.357513
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 1.372282
ECART-TYPE MINIMUM= 1.262647E-03
ECART-TYPE MAXIMUM= 11.87944
A 5% DE LA MOYENNE= 6.6
A 10% DE LA MOYENNE= 13.3
A 15% DE LA MOYENNE= 20.3
A 5% DE L'ECART-TYPE= 2.9
A 10% DE L'ECART-TYPE= 6.7
A 15% DE L'ECART-TYPE= 9.600001

ECHANTILLONS DE TAILLE 4

MOYENNE DES 1000= 1.599851
MOYENNE MINIMUM= .4936148
MOYENNE MAXIMUM= 4.512043
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 1.287295
ECART-TYPE MINIMUM= 6.782485E-02
ECART-TYPE MAXIMUM= 4.853357
A 5% DE LA MOYENNE= 7.5
A 10% DE LA MOYENNE= 13.8
A 15% DE LA MOYENNE= 22.2
A 5% DE L'ECART-TYPE= 5.7
A 10% DE L'ECART-TYPE= 13.3
A 15% DE L'ECART-TYPE= 20.6

ECHANTILLONS DE TAILLE 6

MOYENNE DES 1000= 1.587782
MOYENNE MINIMUM= .6053189
MOYENNE MAXIMUM= 3.742174
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 1.314719
ECART-TYPE MINIMUM= 9.651669E-02
ECART-TYPE MAXIMUM= 3.85153
A 5% DE LA MOYENNE= 10.9
A 10% DE LA MOYENNE= 19.9
A 15% DE LA MOYENNE= 29.6
A 5% DE L'ECART-TYPE= 6.4
A 10% DE L'ECART-TYPE= 13.9
A 15% DE L'ECART-TYPE= 21.2

ECHANTILLONS DE TAILLE 8

130

MOYENNE DES 1000= 1.579846
MOYENNE MINIMUM= .660588
MOYENNE MAXIMUM= 3.526303
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 1.344634
ECART-TYPE MINIMUM= .2887023
ECART-TYPE MAXIMUM= 2.964714
A 5% DE LA MOYENNE= 10.3
A 10% DE LA MOYENNE= 18.9
A 15% DE LA MOYENNE= 29.6
A 5% DE L'ECART-TYPE= 8.100001
A 10% DE L'ECART-TYPE= 17.4
A 15% DE L'ECART-TYPE= 26.3

ECHANTILLONS DE TAILLE 10

MOYENNE DES 1000= 1.552498
MOYENNE MINIMUM= .758282
MOYENNE MAXIMUM= 2.985299
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 1.317905
ECART-TYPE MINIMUM= .3961715
ECART-TYPE MAXIMUM= 2.564323
A 5% DE LA MOYENNE= 10.3
A 10% DE LA MOYENNE= 17.5
A 15% DE LA MOYENNE= 29.1
A 5% DE L'ECART-TYPE= 8
A 10% DE L'ECART-TYPE= 16.2
A 15% DE L'ECART-TYPE= 26.2

ECHANTILLONS DE TAILLE 12

MOYENNE DES 1000= 1.524149
MOYENNE MINIMUM= .7910322
MOYENNE MAXIMUM= 2.571742
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 1.301377
ECART-TYPE MINIMUM= .4385682
ECART-TYPE MAXIMUM= 2.554432
A 5% DE LA MOYENNE= 8
A 10% DE LA MOYENNE= 14
A 15% DE LA MOYENNE= 25.5
A 5% DE L'ECART-TYPE= 8.5
A 10% DE L'ECART-TYPE= 15.6
A 15% DE L'ECART-TYPE= 23

ECHANTILLONS DE TAILLE 14

MOYENNE DES 1000= 1.542626
MOYENNE MINIMUM= .9101528
MOYENNE MAXIMUM= 2.590886
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 1.323369
ECART-TYPE MINIMUM= .5239303
ECART-TYPE MAXIMUM= 2.548369
A 5% DE LA MOYENNE= 6.6
A 10% DE LA MOYENNE= 15.5
A 15% DE LA MOYENNE= 25.6
A 5% DE L'ECART-TYPE= 9.3
A 10% DE L'ECART-TYPE= 16.8
A 15% DE L'ECART-TYPE= 27

ECHANTILLONS DE TAILLE 16

MOYENNE DES 1000= 1.543874
MOYENNE MINIMUM= .9654244
MOYENNE MAXIMUM= 2.652659
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 1.310843
ECART-TYPE MINIMUM= .597533
ECART-TYPE MAXIMUM= 2.398387
A 5% DE LA MOYENNE= 5.3
A 10% DE LA MOYENNE= 13
A 15% DE LA MOYENNE= 23.3
A 5% DE L'ECART-TYPE= 8
A 10% DE L'ECART-TYPE= 15
A 15% DE L'ECART-TYPE= 24.4

ECHANTILLONS DE TAILLE 18

MOYENNE DES 1000= 1.525102
MOYENNE MINIMUM= .8959834
MOYENNE MAXIMUM= 2.534087
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 1.309031
ECART-TYPE MINIMUM= .367829
ECART-TYPE MAXIMUM= 2.31605
A 5% DE LA MOYENNE= 4.8
A 10% DE LA MOYENNE= 10.4
A 15% DE LA MOYENNE= 22.6
A 5% DE L'ECART-TYPE= 5.8
A 10% DE L'ECART-TYPE= 13.4
A 15% DE L'ECART-TYPE= 22.3

ECHANTILLONS DE TAILLE 20

MOYENNE DES 1000= 1.525613
MOYENNE MINIMUM= 1.002102
MOYENNE MAXIMUM= 2.232897
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 1.294651
ECART-TYPE MINIMUM= .5901659
ECART-TYPE MAXIMUM= 2.253261
A 5% DE LA MOYENNE= 5.1
A 10% DE LA MOYENNE= 10.6
A 15% DE LA MOYENNE= 21.1
A 5% DE L'ECART-TYPE= 5.1
A 10% DE L'ECART-TYPE= 10.7
A 15% DE L'ECART-TYPE= 18.1

ECHANTILLONS DE TAILLE 22

MOYENNE DES 1000= 1.531311
MOYENNE MINIMUM= 1.002093
MOYENNE MAXIMUM= 2.39833
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 1.308204
ECART-TYPE MINIMUM= .6524081
ECART-TYPE MAXIMUM= 2.22564
A 5% DE LA MOYENNE= 3.2
A 10% DE LA MOYENNE= 8.399999
A 15% DE LA MOYENNE= 21
A 5% DE L'ECART-TYPE= 4.4
A 10% DE L'ECART-TYPE= 11.5
A 15% DE L'ECART-TYPE= 19.9

ECHANTILLONS DE TAILLE 24

MOYENNE DES 1000= 1.526874
MOYENNE MINIMUM= .9848657
MOYENNE MAXIMUM= 2.347263
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 1.305079
ECART-TYPE MINIMUM= .6261841
ECART-TYPE MAXIMUM= 2.073242
A 5% DE LA MOYENNE= 2.4
A 10% DE LA MOYENNE= 7.6
A 15% DE LA MOYENNE= 18.9
A 5% DE L'ECART-TYPE= 2.9
A 10% DE L'ECART-TYPE= 8.8
A 15% DE L'ECART-TYPE= 16.1

ECHANTILLONS DE TAILLE 26

MOYENNE DES 1000= 1.527572
MOYENNE MINIMUM= 1.106873
MOYENNE MAXIMUM= 2.178203
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 1.303575
ECART-TYPE MINIMUM= .7306973
ECART-TYPE MAXIMUM= 1.985856
A 5% DE LA MOYENNE= 2.2
A 10% DE LA MOYENNE= 7.5
A 15% DE LA MOYENNE= 18.4
A 5% DE L'ECART-TYPE= 3.3
A 10% DE L'ECART-TYPE= 8.399999
A 15% DE L'ECART-TYPE= 16.7

ECHANTILLONS DE TAILLE 28

MOYENNE DES 1000= 1.528472
MOYENNE MINIMUM= .9684029
MOYENNE MAXIMUM= 2.203947
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 1.308077
ECART-TYPE MINIMUM= .7291685
ECART-TYPE MAXIMUM= 2.002627
A 5% DE LA MOYENNE= 1.7
A 10% DE LA MOYENNE= 6.1
A 15% DE LA MOYENNE= 15.8
A 5% DE L'ECART-TYPE= 2.1
A 10% DE L'ECART-TYPE= 7.8
A 15% DE L'ECART-TYPE= 16.6

ECHANTILLONS DE TAILLE 30

MOYENNE DES 1000= 1.519064
MOYENNE MINIMUM= 1.032036
MOYENNE MAXIMUM= 2.125414
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 1.293913
ECART-TYPE MINIMUM= .6840486
ECART-TYPE MAXIMUM= 1.864569
A 5% DE LA MOYENNE= 1.1
A 10% DE LA MOYENNE= 3.6
A 15% DE LA MOYENNE= 13.7
A 5% DE L'ECART-TYPE= 2.1
A 10% DE L'ECART-TYPE= 5.5
A 15% DE L'ECART-TYPE= 12.9

Résultats des tirages aléatoires parmi les mesures de la conductivité hydraulique en laboratoire et évaluation des paramètres statistiques par la méthode de la médiane

134

ECHANTILLONS DE TAILLE 2

MOYENNE DES 1000= 12.845
MOYENNE MINIMUM= 6.250556E-02
MOYENNE MAXIMUM= 56.71281
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 14703.91
ECART-TYPE MINIMUM= 1.791577E-02
ECART-TYPE MAXIMUM= 4881524
A 5% DE LA MOYENNE= 1.8
A 10% DE LA MOYENNE= 3.6
A 15% DE LA MOYENNE= 5.9
A 5% DE L'ECART-TYPE= .2
A 10% DE L'ECART-TYPE= .8
A 15% DE L'ECART-TYPE= 1.4

ECHANTILLONS DE TAILLE 4

MOYENNE DES 1000= 11.02992
MOYENNE MINIMUM= .3716697
MOYENNE MAXIMUM= 46.65359
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 148.1167
ECART-TYPE MINIMUM= .9769794
ECART-TYPE MAXIMUM= 16529.2
A 5% DE LA MOYENNE= .6
A 10% DE LA MOYENNE= 1.6
A 15% DE LA MOYENNE= 2.9
A 5% DE L'ECART-TYPE= 1.1
A 10% DE L'ECART-TYPE= 1.5
A 15% DE L'ECART-TYPE= 2.1

ECHANTILLONS DE TAILLE 6

MOYENNE DES 1000= 10.05341
MOYENNE MINIMUM= .6552971
MOYENNE MAXIMUM= 33.4037
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 74.55335
ECART-TYPE MINIMUM= 2.413895
ECART-TYPE MAXIMUM= 14520.78
A 5% DE LA MOYENNE= .3
A 10% DE LA MOYENNE= .6
A 15% DE LA MOYENNE= .7
A 5% DE L'ECART-TYPE= 1.1
A 10% DE L'ECART-TYPE= 1.9
A 15% DE L'ECART-TYPE= 2.4

ECHANTILLONS DE TAILLE 8

MOYENNE DES 1000= 9.352672
MOYENNE MINIMUM= 1.332258
MOYENNE MAXIMUM= 29.67707
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 50.62939
ECART-TYPE MINIMUM= 2.740367
ECART-TYPE MAXIMUM= 1410.366
A 5% DE LA MOYENNE= 0
A 10% DE LA MOYENNE= .1
A 15% DE LA MOYENNE= .1
A 5% DE L'ECART-TYPE= 1.7
A 10% DE L'ECART-TYPE= 2.7
A 15% DE L'ECART-TYPE= 4

ECHANTILLONS DE TAILLE 10

MOYENNE DES 1000= 9.354032
MOYENNE MINIMUM= 1.619958
MOYENNE MAXIMUM= 25.15106
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 41.41391
ECART-TYPE MINIMUM= 5.807168
ECART-TYPE MAXIMUM= 526.1928
A 5% DE LA MOYENNE= 0
A 10% DE LA MOYENNE= 0
A 15% DE LA MOYENNE= 0
A 5% DE L'ECART-TYPE= 1.3
A 10% DE L'ECART-TYPE= 2.7
A 15% DE L'ECART-TYPE= 4.6

ECHANTILLONS DE TAILLE 12

MOYENNE DES 1000= 9.06272
MOYENNE MINIMUM= 1.141869
MOYENNE MAXIMUM= 23.21387
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 37.57191
ECART-TYPE MINIMUM= 5.254572
ECART-TYPE MAXIMUM= 395.9901
A 5% DE LA MOYENNE= 0
A 10% DE LA MOYENNE= 0
A 15% DE LA MOYENNE= 0
A 5% DE L'ECART-TYPE= 1.4
A 10% DE L'ECART-TYPE= 2.3
A 15% DE L'ECART-TYPE= 3.4

ECHANTILLONS DE TAILLE 14

MOYENNE DES 1000= 9.1889
MOYENNE MINIMUM= 1.956053
MOYENNE MAXIMUM= 21.55422
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 36.50475
ECART-TYPE MINIMUM= 6.888268
ECART-TYPE MAXIMUM= 264.0161
A 5% DE LA MOYENNE= 0
A 10% DE LA MOYENNE= 0
A 15% DE LA MOYENNE= 0
A 5% DE L'ECART-TYPE= .9
A 10% DE L'ECART-TYPE= 1.3
A 15% DE L'ECART-TYPE= 2

ECHANTILLONS DE TAILLE 16

MOYENNE DES 1000= 8.889671
MOYENNE MINIMUM= 1.721055
MOYENNE MAXIMUM= 21.70137
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 35.80568
ECART-TYPE MINIMUM= 6.890389
ECART-TYPE MAXIMUM= 180.2994
A 5% DE LA MOYENNE= 0
A 10% DE LA MOYENNE= 0
A 15% DE LA MOYENNE= 0
A 5% DE L'ECART-TYPE= .5
A 10% DE L'ECART-TYPE= .9
A 15% DE L'ECART-TYPE= 1.1

ECHANTILLONS DE TAILLE 18

MOYENNE DES 1000= 8.778928
MOYENNE MINIMUM= 2.909878
MOYENNE MAXIMUM= 19.04555
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 34.37754
ECART-TYPE MINIMUM= 7.660105
ECART-TYPE MAXIMUM= 138.0707
A 5% DE LA MOYENNE= 0
A 10% DE LA MOYENNE= 0
A 15% DE LA MOYENNE= 0
A 5% DE L'ECART-TYPE= .2
A 10% DE L'ECART-TYPE= .4
A 15% DE L'ECART-TYPE= 1

ECHANTILLONS DE TAILLE 20

137

MOYENNE DES 1000= 8.743194
MOYENNE MINIMUM= 2.523634
MOYENNE MAXIMUM= 20.93873
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 33.58782
ECART-TYPE MINIMUM= 8.586717
ECART-TYPE MAXIMUM= 131.0451
A 5% DE LA MOYENNE= 0
A 10% DE LA MOYENNE= 0
A 15% DE LA MOYENNE= 0
A 5% DE L'ECART-TYPE= .3
A 10% DE L'ECART-TYPE= .5
A 15% DE L'ECART-TYPE= 1.1

ECHANTILLONS DE TAILLE 22

MOYENNE DES 1000= 8.766835
MOYENNE MINIMUM= 3.139015
MOYENNE MAXIMUM= 19.45562
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 33.83623
ECART-TYPE MINIMUM= 9.481329
ECART-TYPE MAXIMUM= 176.8389
A 5% DE LA MOYENNE= 0
A 10% DE LA MOYENNE= 0
A 15% DE LA MOYENNE= 0
A 5% DE L'ECART-TYPE= 0
A 10% DE L'ECART-TYPE= .1
A 15% DE L'ECART-TYPE= .4

ECHANTILLONS DE TAILLE 24

MOYENNE DES 1000= 8.510209
MOYENNE MINIMUM= 2.980849
MOYENNE MAXIMUM= 18.77529
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 32.80904
ECART-TYPE MINIMUM= 10.49419
ECART-TYPE MAXIMUM= 129.5193
A 5% DE LA MOYENNE= 0
A 10% DE LA MOYENNE= 0
A 15% DE LA MOYENNE= 0
A 5% DE L'ECART-TYPE= 0
A 10% DE L'ECART-TYPE= .2
A 15% DE L'ECART-TYPE= .2

ECHANTILLONS DE TAILLE 26

MOYENNE DES 1000= 8.682074
MOYENNE MINIMUM= 3.269052
MOYENNE MAXIMUM= 17.80468
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 32.37768
ECART-TYPE MINIMUM= 9.013447
ECART-TYPE MAXIMUM= 111.2322
A 5% DE LA MOYENNE= 0
A 10% DE LA MOYENNE= 0
A 15% DE LA MOYENNE= 0
A 5% DE L'ECART-TYPE= 0
A 10% DE L'ECART-TYPE= .2
A 15% DE L'ECART-TYPE= .3

ECHANTILLONS DE TAILLE 28

MOYENNE DES 1000= 8.526994
MOYENNE MINIMUM= 3.30285
MOYENNE MAXIMUM= 17.10905
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 33.19465
ECART-TYPE MINIMUM= 10.54861
ECART-TYPE MAXIMUM= 118.6152
A 5% DE LA MOYENNE= 0
A 10% DE LA MOYENNE= 0
A 15% DE LA MOYENNE= 0
A 5% DE L'ECART-TYPE= .1
A 10% DE L'ECART-TYPE= .1
A 15% DE L'ECART-TYPE= .3

ECHANTILLONS DE TAILLE 30

MOYENNE DES 1000= 8.607059
MOYENNE MINIMUM= 3.308847
MOYENNE MAXIMUM= 17.0304
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 32.79862
ECART-TYPE MINIMUM= 9.430576
ECART-TYPE MAXIMUM= 93.00251
A 5% DE LA MOYENNE= 0
A 10% DE LA MOYENNE= 0
A 15% DE LA MOYENNE= 0
A 5% DE L'ECART-TYPE= 0
A 10% DE L'ECART-TYPE= 0
A 15% DE L'ECART-TYPE= 0

Résultats des tirages aléatoires parmi les mesures de la conductivité hydraulique en laboratoire et évaluation des paramètres statistiques par la méthode des moments

139

ECHANTILLONS DE TAILLE 2

MOYENNE DES 1000= 17.11803
MOYENNE MINIMUM= .10605
MOYENNE MAXIMUM= 67.8199
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 11.54072
ECART-TYPE MINIMUM= 0
ECART-TYPE MAXIMUM= 47.66261
A 5% DE LA MOYENNE= 3.1
A 10% DE LA MOYENNE= 7.7
A 15% DE LA MOYENNE= 11.8
A 5% DE L'ECART-TYPE= 0
A 10% DE L'ECART-TYPE= 0
A 15% DE L'ECART-TYPE= 0

ECHANTILLONS DE TAILLE 4

MOYENNE DES 1000= 16.82398
MOYENNE MINIMUM= 1.3343
MOYENNE MAXIMUM= 52.53458
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 13.48209
ECART-TYPE MINIMUM= .8922701
ECART-TYPE MAXIMUM= 37.40442
A 5% DE LA MOYENNE= 2.5
A 10% DE LA MOYENNE= 5.7
A 15% DE LA MOYENNE= 9.100001
A 5% DE L'ECART-TYPE= 0
A 10% DE L'ECART-TYPE= 0
A 15% DE L'ECART-TYPE= 0

ECHANTILLONS DE TAILLE 6

MOYENNE DES 1000= 16.86447
MOYENNE MINIMUM= 3.4053
MOYENNE MAXIMUM= 37.21675
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 14.27299
ECART-TYPE MINIMUM= 2.729744
ECART-TYPE MAXIMUM= 32.60867
A 5% DE LA MOYENNE= 1.8
A 10% DE LA MOYENNE= 3.6
A 15% DE LA MOYENNE= 6.5
A 5% DE L'ECART-TYPE= 0
A 10% DE L'ECART-TYPE= 0
A 15% DE L'ECART-TYPE= 0

ECHANTILLONS DE TAILLE 8

140

MOYENNE DES 1000= 16.46848
MOYENNE MINIMUM= 4.737688
MOYENNE MAXIMUM= 35.18453
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 14.45165
ECART-TYPE MINIMUM= 3.700116
ECART-TYPE MAXIMUM= 29.62293
A 5% DE LA MOYENNE= .4
A 10% DE LA MOYENNE= 1.8
A 15% DE LA MOYENNE= 3.4
A 5% DE L'ECART-TYPE= 0
A 10% DE L'ECART-TYPE= 0
A 15% DE L'ECART-TYPE= 0

ECHANTILLONS DE TAILLE 10

MOYENNE DES 1000= 16.52009
MOYENNE MINIMUM= 5.50009
MOYENNE MAXIMUM= 36.44642
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 14.77473
ECART-TYPE MINIMUM= 4.49583
ECART-TYPE MAXIMUM= 26.34345
A 5% DE LA MOYENNE= .4
A 10% DE LA MOYENNE= 1.3
A 15% DE LA MOYENNE= 2
A 5% DE L'ECART-TYPE= 0
A 10% DE L'ECART-TYPE= 0
A 15% DE L'ECART-TYPE= 0

ECHANTILLONS DE TAILLE 12

MOYENNE DES 1000= 16.71123
MOYENNE MINIMUM= 5.671617
MOYENNE MAXIMUM= 32.13302
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 14.99315
ECART-TYPE MINIMUM= 5.187381
ECART-TYPE MAXIMUM= 24.86182
A 5% DE LA MOYENNE= .1
A 10% DE LA MOYENNE= .3
A 15% DE LA MOYENNE= .7
A 5% DE L'ECART-TYPE= 0
A 10% DE L'ECART-TYPE= 0
A 15% DE L'ECART-TYPE= 0

ECHANTILLONS DE TAILLE 14

141

MOYENNE DES 1000= 16.5625
MOYENNE MINIMUM= 6.971658
MOYENNE MAXIMUM= 28.9014
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 14.92491
ECART-TYPE MINIMUM= 5.787154
ECART-TYPE MAXIMUM= 25.88744
A 5% DE LA MOYENNE= 0
A 10% DE LA MOYENNE= .1
A 15% DE LA MOYENNE= .5
A 5% DE L'ECART-TYPE= 0
A 10% DE L'ECART-TYPE= 0
A 15% DE L'ECART-TYPE= 0

ECHANTILLONS DE TAILLE 16

MOYENNE DES 1000= 16.82894
MOYENNE MINIMUM= 7.569738
MOYENNE MAXIMUM= 30.25428
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 15.08413
ECART-TYPE MINIMUM= 5.620247
ECART-TYPE MAXIMUM= 24.37487
A 5% DE LA MOYENNE= 0
A 10% DE LA MOYENNE= .2
A 15% DE LA MOYENNE= .6
A 5% DE L'ECART-TYPE= 0
A 10% DE L'ECART-TYPE= 0
A 15% DE L'ECART-TYPE= 0

ECHANTILLONS DE TAILLE 18

MOYENNE DES 1000= 16.46111
MOYENNE MINIMUM= 7.523573
MOYENNE MAXIMUM= 27.87199
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 14.94575
ECART-TYPE MINIMUM= 6.386234
ECART-TYPE MAXIMUM= 22.68694
A 5% DE LA MOYENNE= 0
A 10% DE LA MOYENNE= 0
A 15% DE LA MOYENNE= .1
A 5% DE L'ECART-TYPE= 0
A 10% DE L'ECART-TYPE= 0
A 15% DE L'ECART-TYPE= 0

ECHANTILLONS DE TAILLE 20

142

MOYENNE DES 1000= 16.84033
MOYENNE MINIMUM= 6.735825
MOYENNE MAXIMUM= 28.71704
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 15.27432
ECART-TYPE MINIMUM= 4.972516
ECART-TYPE MAXIMUM= 22.82398
A 5% DE LA MOYENNE= 0
A 10% DE LA MOYENNE= .1
A 15% DE LA MOYENNE= .1
A 5% DE L'ECART-TYPE= 0
A 10% DE L'ECART-TYPE= 0
A 15% DE L'ECART-TYPE= 0

ECHANTILLONS DE TAILLE 22

MOYENNE DES 1000= 16.7894
MOYENNE MINIMUM= 6.337751
MOYENNE MAXIMUM= 26.09755
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 15.3199
ECART-TYPE MINIMUM= 6.943657
ECART-TYPE MAXIMUM= 21.75743
A 5% DE LA MOYENNE= 0
A 10% DE LA MOYENNE= 0
A 15% DE LA MOYENNE= 0
A 5% DE L'ECART-TYPE= 0
A 10% DE L'ECART-TYPE= 0
A 15% DE L'ECART-TYPE= 0

ECHANTILLONS DE TAILLE 24

MOYENNE DES 1000= 16.54192
MOYENNE MINIMUM= 8.991825
MOYENNE MAXIMUM= 23.54559
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 15.14759
ECART-TYPE MINIMUM= 7.402466
ECART-TYPE MAXIMUM= 21.71275
A 5% DE LA MOYENNE= 0
A 10% DE LA MOYENNE= 0
A 15% DE LA MOYENNE= 0
A 5% DE L'ECART-TYPE= 0
A 10% DE L'ECART-TYPE= 0
A 15% DE L'ECART-TYPE= 0

ECHANTILLONS DE TAILLE 26

143

MOYENNE DES 1000= 16.62006
MOYENNE MINIMUM= 8.754569
MOYENNE MAXIMUM= 24.39734
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 15.12835
ECART-TYPE MINIMUM= 7.658962
ECART-TYPE MAXIMUM= 21.51342
A 5% DE LA MOYENNE= 0
A 10% DE LA MOYENNE= 0
A 15% DE LA MOYENNE= 0
A 5% DE L'ECART-TYPE= 0
A 10% DE L'ECART-TYPE= 0
A 15% DE L'ECART-TYPE= 0

ECHANTILLONS DE TAILLE 28

MOYENNE DES 1000= 16.61028
MOYENNE MINIMUM= 9.121739
MOYENNE MAXIMUM= 24.17885
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 15.1457
ECART-TYPE MINIMUM= 7.572405
ECART-TYPE MAXIMUM= 20.71206
A 5% DE LA MOYENNE= 0
A 10% DE LA MOYENNE= 0
A 15% DE LA MOYENNE= 0
A 5% DE L'ECART-TYPE= 0
A 10% DE L'ECART-TYPE= 0
A 15% DE L'ECART-TYPE= 0

ECHANTILLONS DE TAILLE 30

MOYENNE DES 1000= 16.71427
MOYENNE MINIMUM= 9.530407
MOYENNE MAXIMUM= 23.55381
ECART-TYPE MOYEN DES 1000= 15.12835
ECART-TYPE MINIMUM= 7.658962
ECART-TYPE MAXIMUM= 21.51342
A 5% DE LA MOYENNE= 0
A 10% DE LA MOYENNE= 0
A 15% DE LA MOYENNE= 0
A 5% DE L'ECART-TYPE= 0
A 10% DE L'ECART-TYPE= 0
A 15% DE L'ECART-TYPE= 0

ANNEXE V

A l'annexe V on peut prendre connaissance du nombre d'estimation précise des différents paramètres statistiques des deux types de conductivité hydraulique mesurée, selon des niveaux de précision de $\pm 15\%$, $\pm 10\%$ et $\pm 5\%$ en fonction de la taille des échantillons et ce pour chacune des méthodes d'estimation.

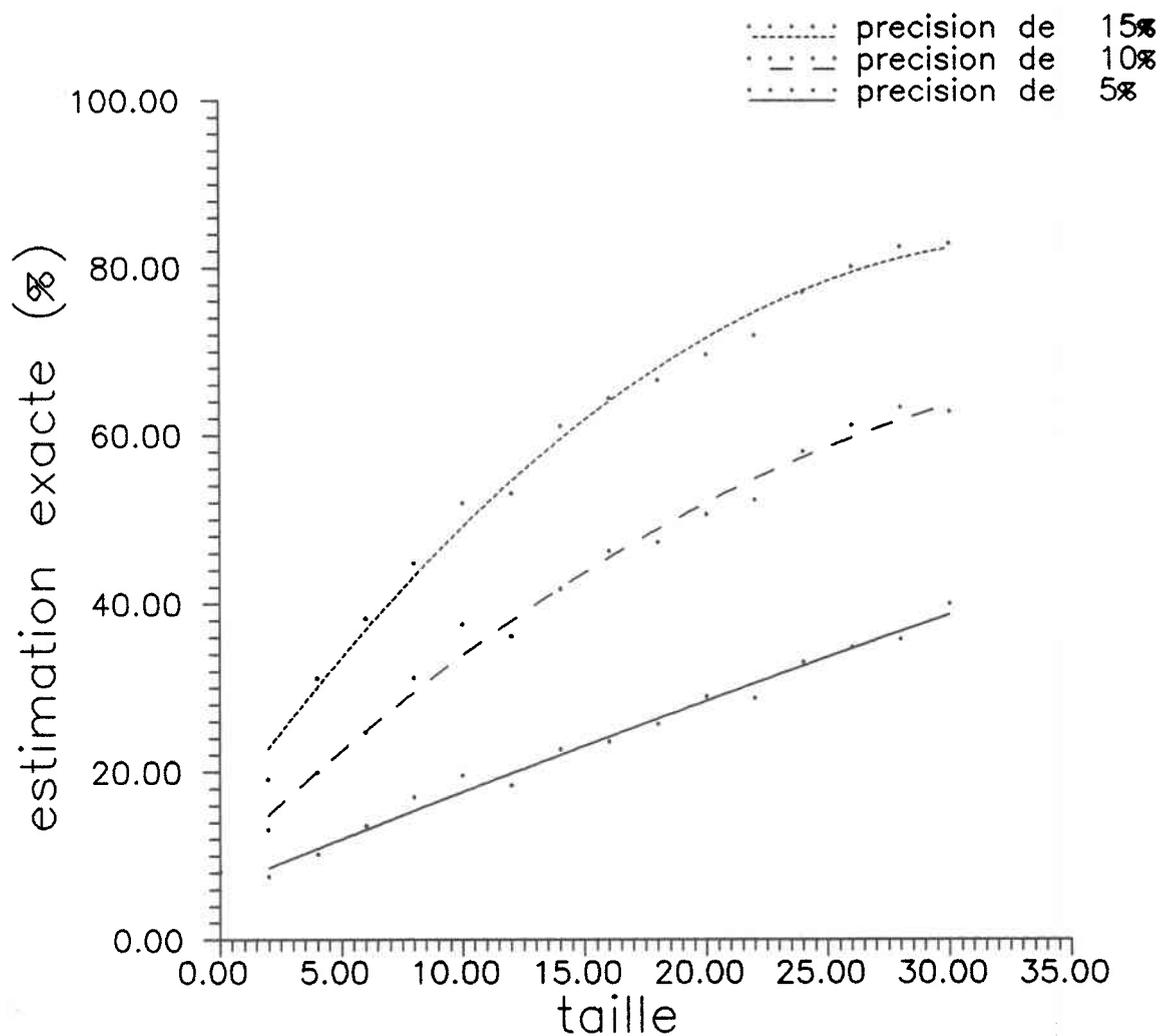


Figure V.I

Efficacité d'estimation de la moyenne de la conductivité hydraulique in situ pour trois précisions selon la méthode d'estimation conventionnelle en fonction de la taille des échantillons

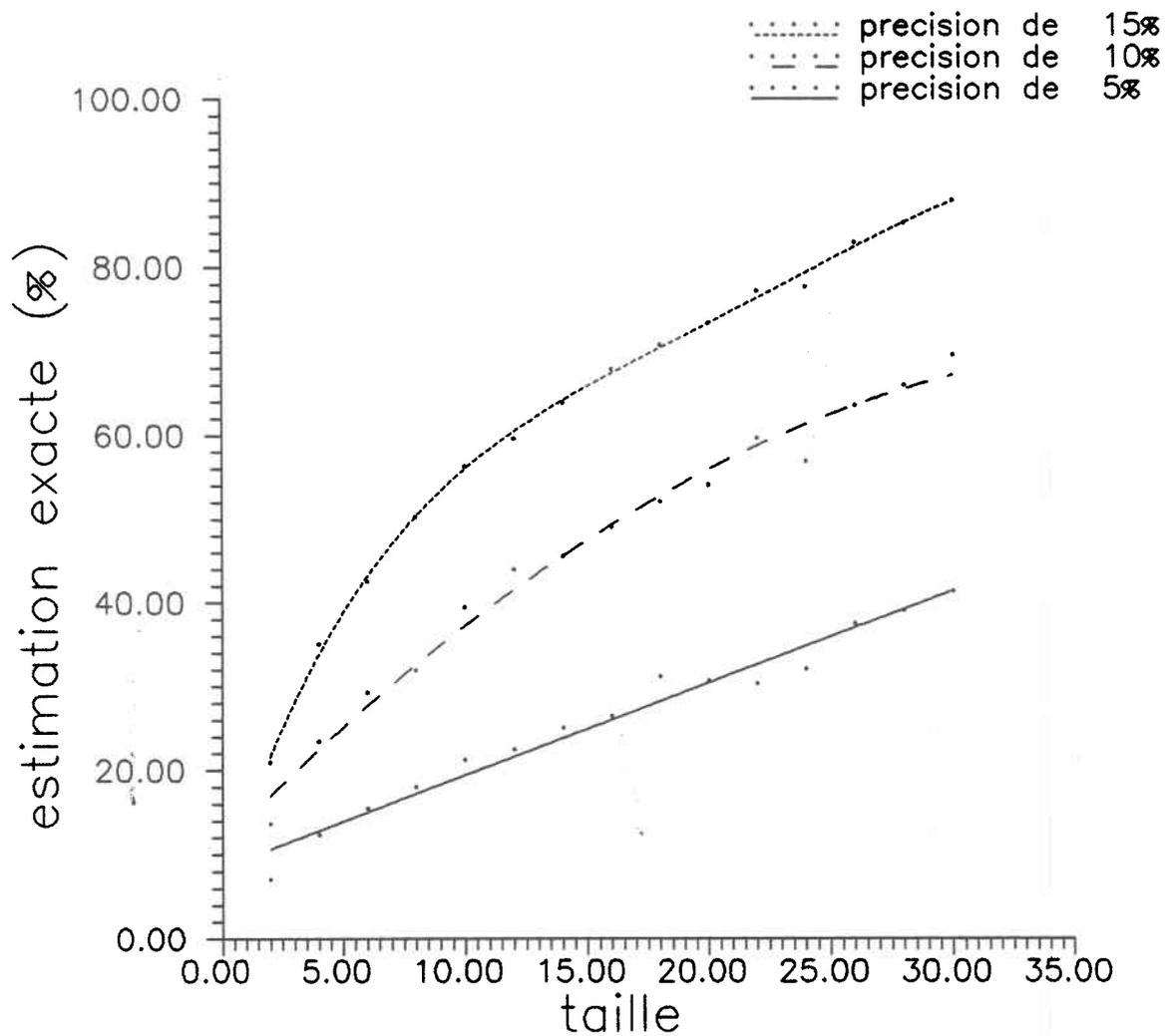


Figure V.II Efficacité d'estimation de la moyenne de la conductivité hydraulique in situ pour trois précisions selon la méthode d'estimation des moments en fonction de la taille des échantillons

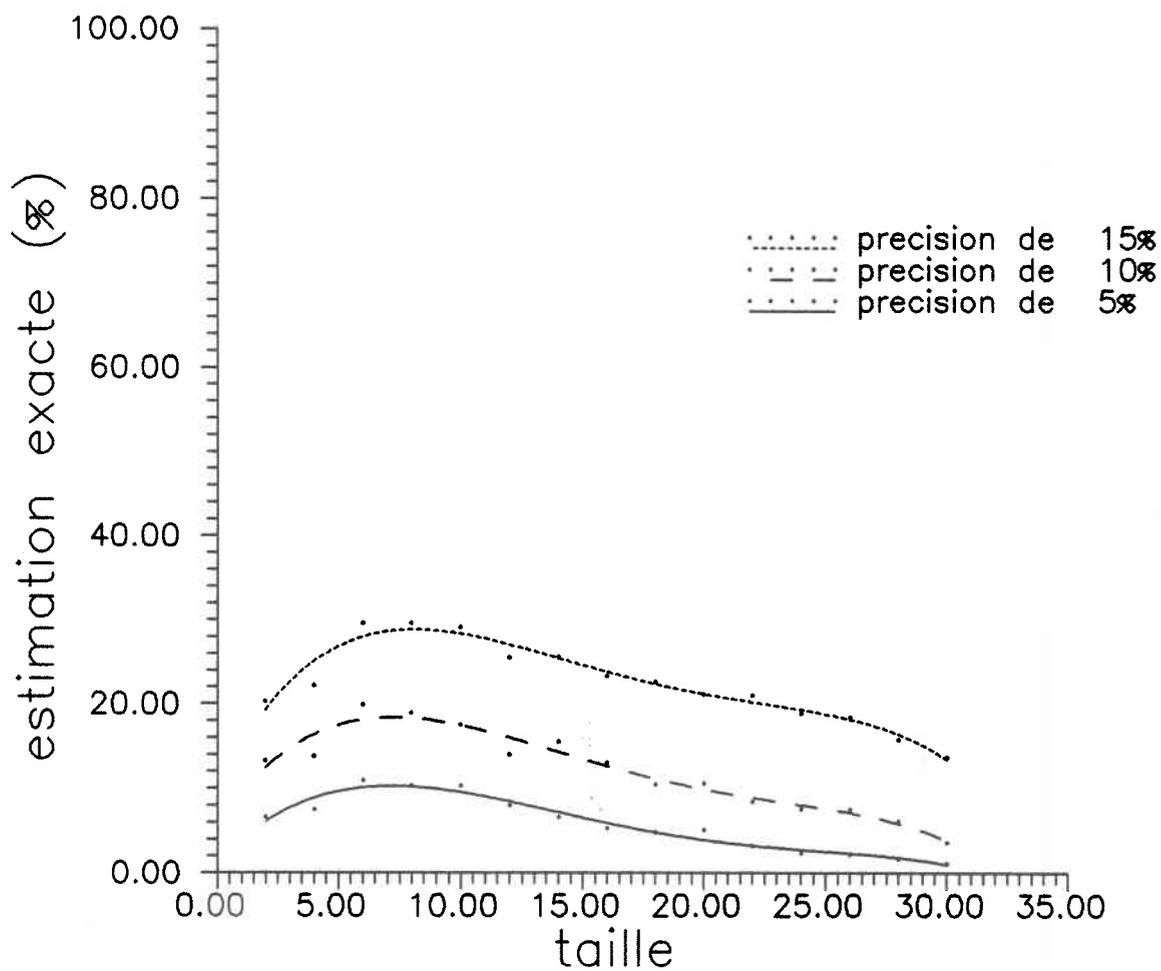


Figure V.III Efficacité d'estimation de la moyenne de la conductivité hydraulique in situ pour trois précisions selon la méthode d'estimation de la médiane en fonction de la taille des échantillons

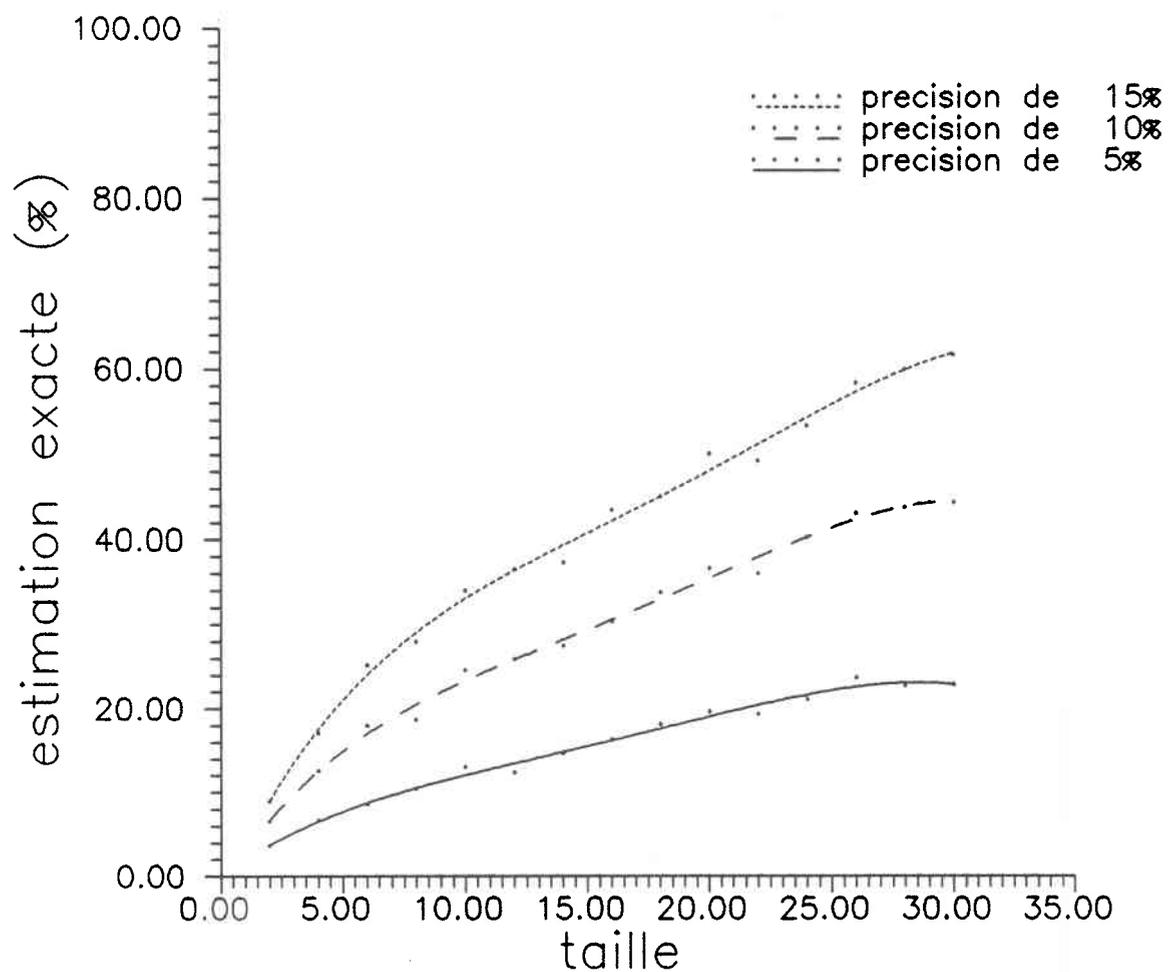


Figure V.IV Efficacité d'estimation de l'écart-type de la conductivité hydraulique in situ pour trois précisions selon la méthode d'estimation conventionnelle en fonction de la taille des échantillons

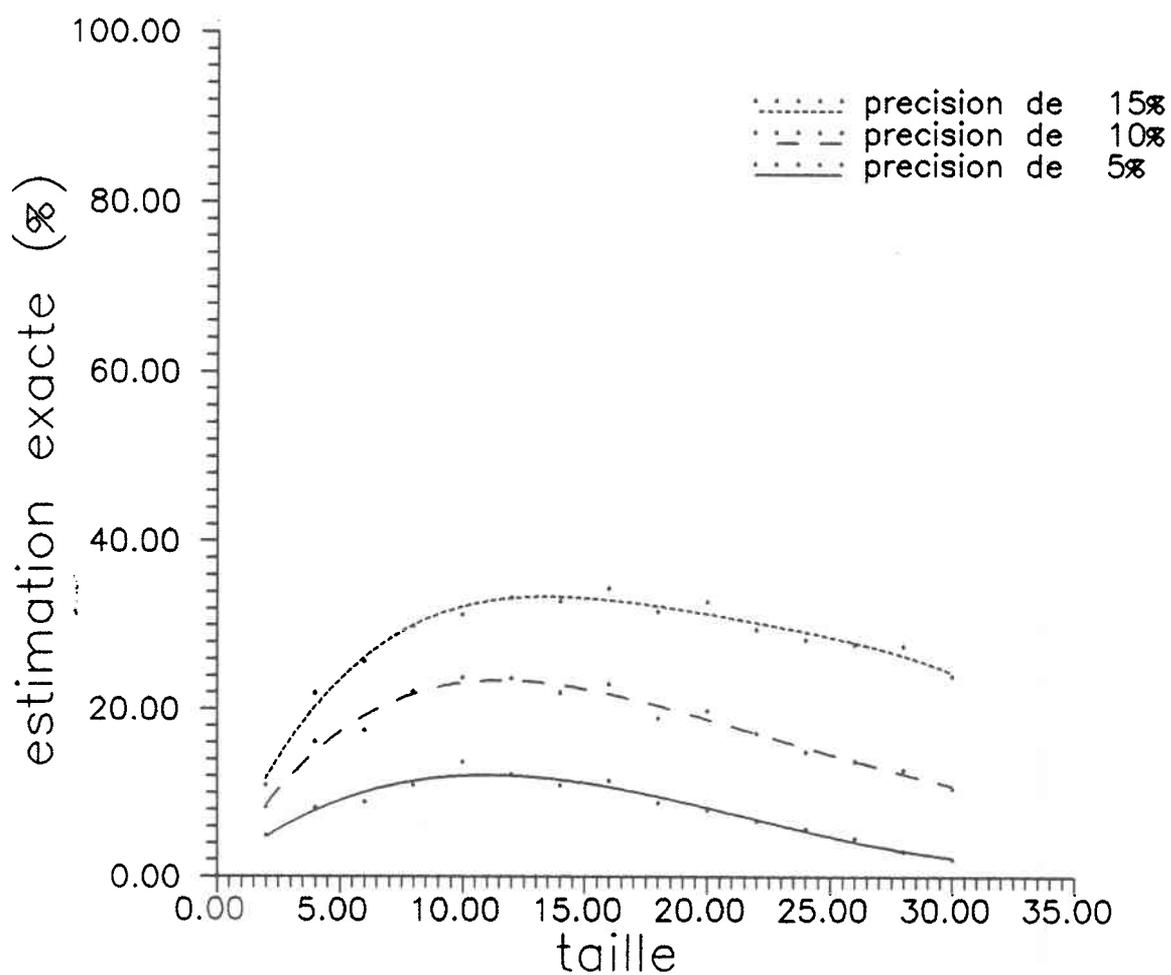


Figure V.V

Efficacité d'estimation de l'écart-type de la conductivité hydraulique in situ pour trois précisions, selon la méthode d'estimation des moments en fonction de la taille des échantillons

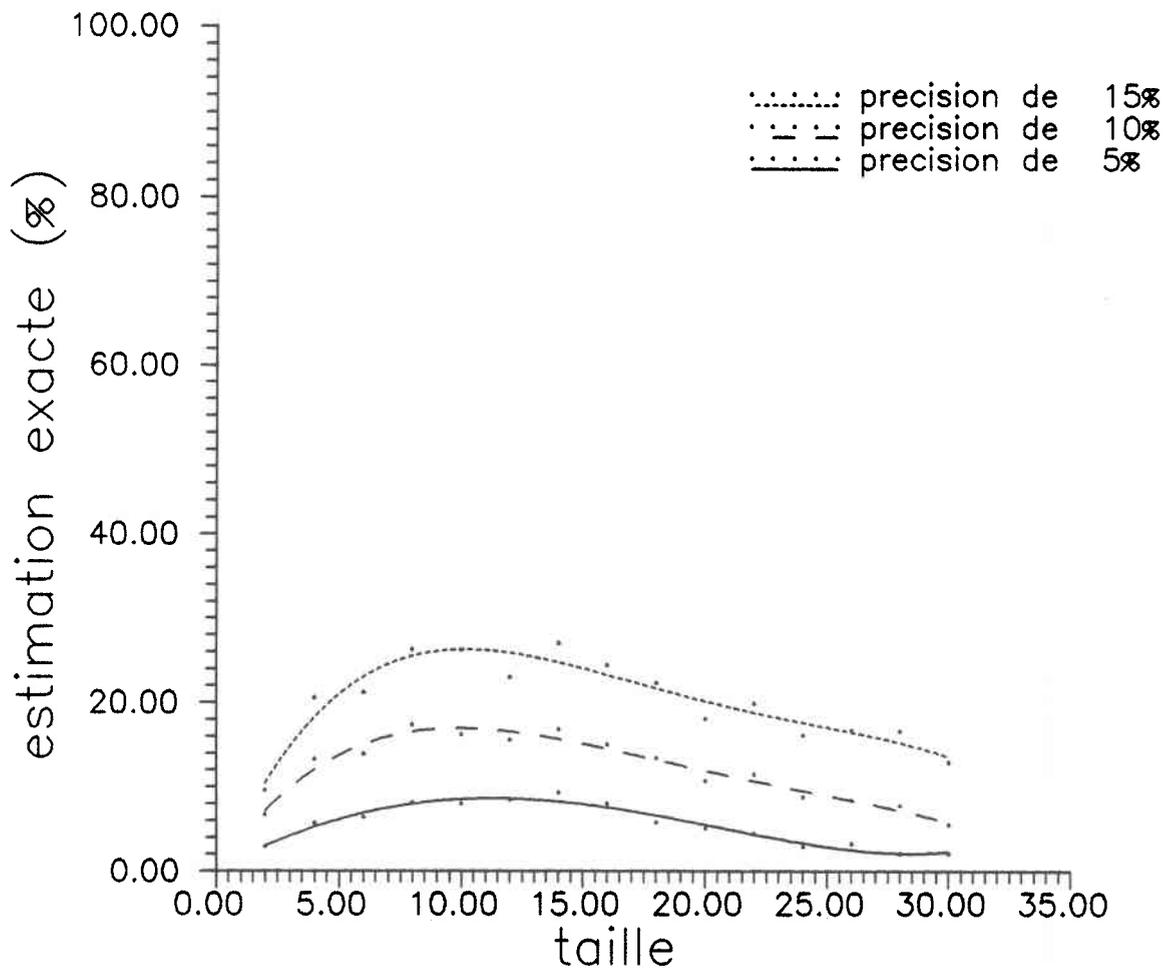


Figure V.VI

Efficacité d'estimation de l'écart-type de la conductivité hydraulique in situ pour trois précisions selon la méthode d'estimation de la médiane en fonction de la taille des échantillons

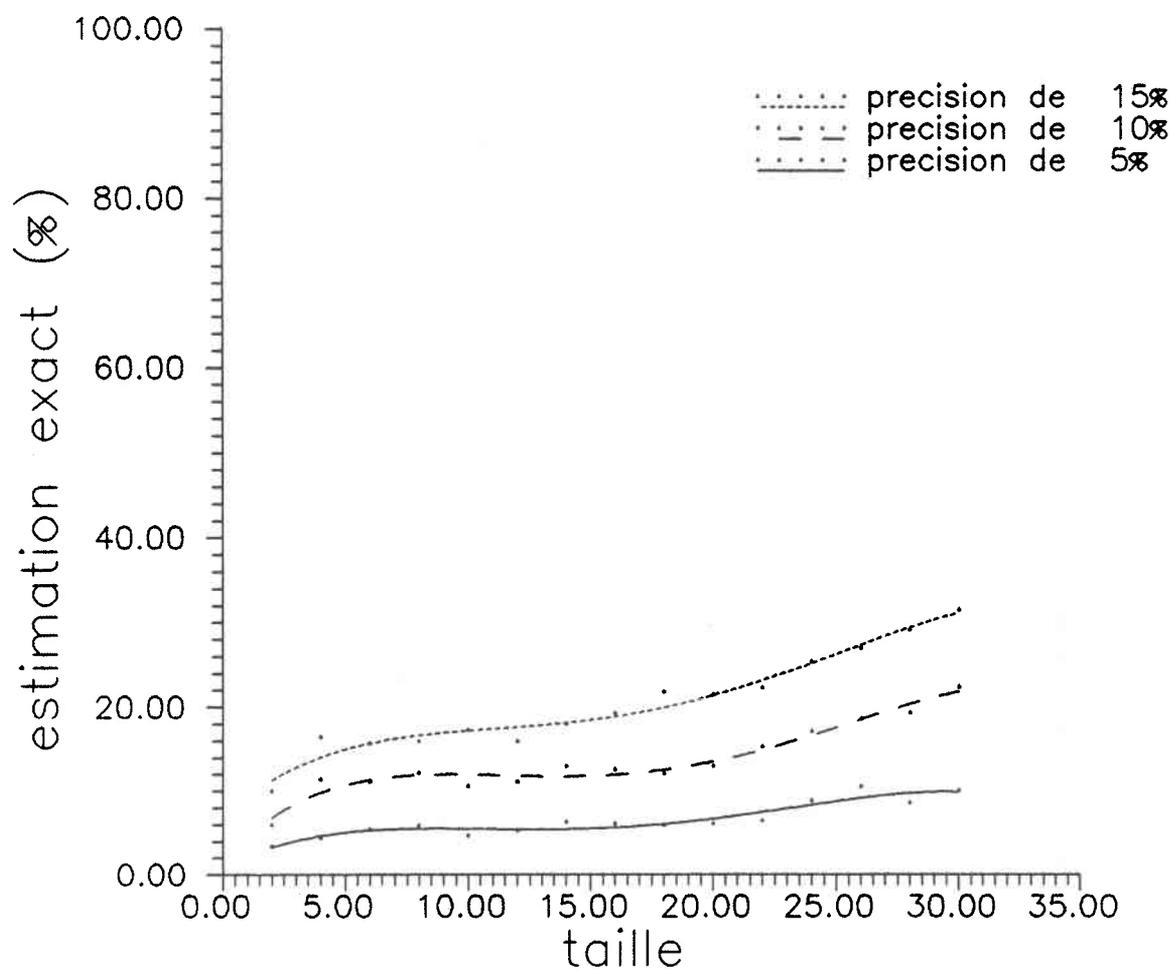


Figure V.VII Efficacité d'estimation de la moyenne de la conductivité hydraulique de l'horizon "B" pour trois précisions selon la méthode d'estimation conventionnelle en fonction de la taille des échantillons

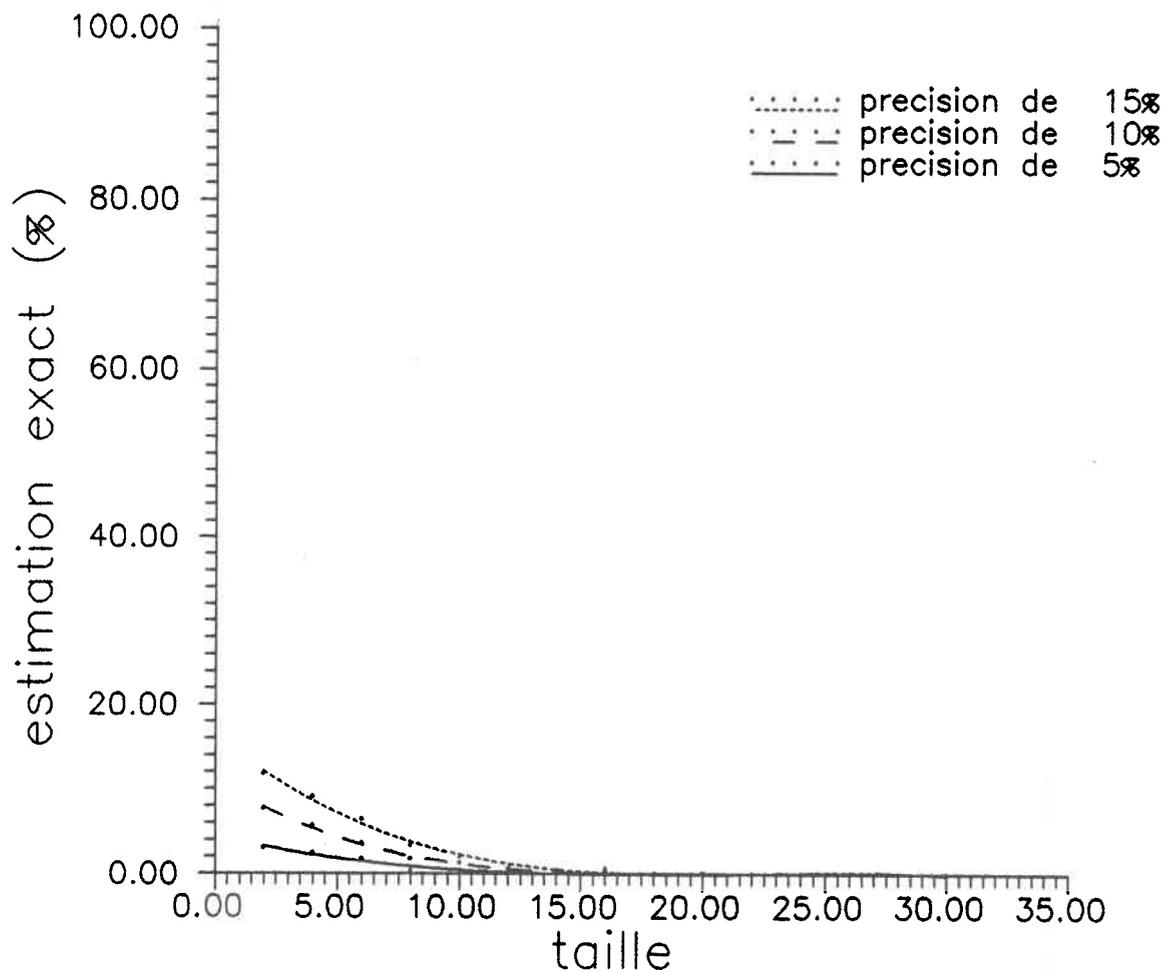


Figure V.VIII Efficacité d'estimation de la moyenne de la conductivité hydraulique de l'horizon "B" pour trois précisions selon la méthode d'estimation des moments en fonction de la taille des échantillons

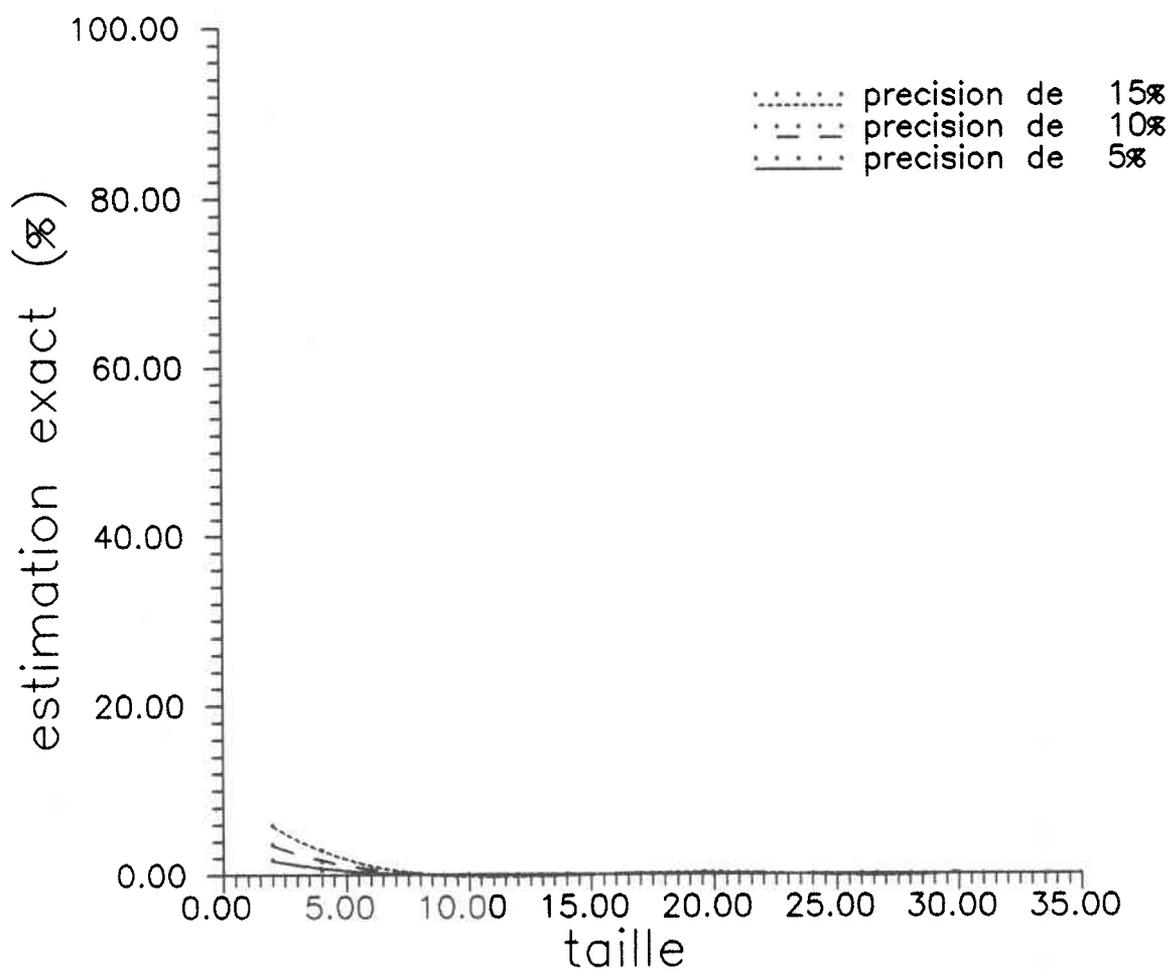


Figure V.IX

Efficacité d'estimation de la moyenne de la conductivité hydraulique de l'horizon "B" pour trois précisions selon la méthode d'estimation de la médiane en fonction de la taille des échantillons

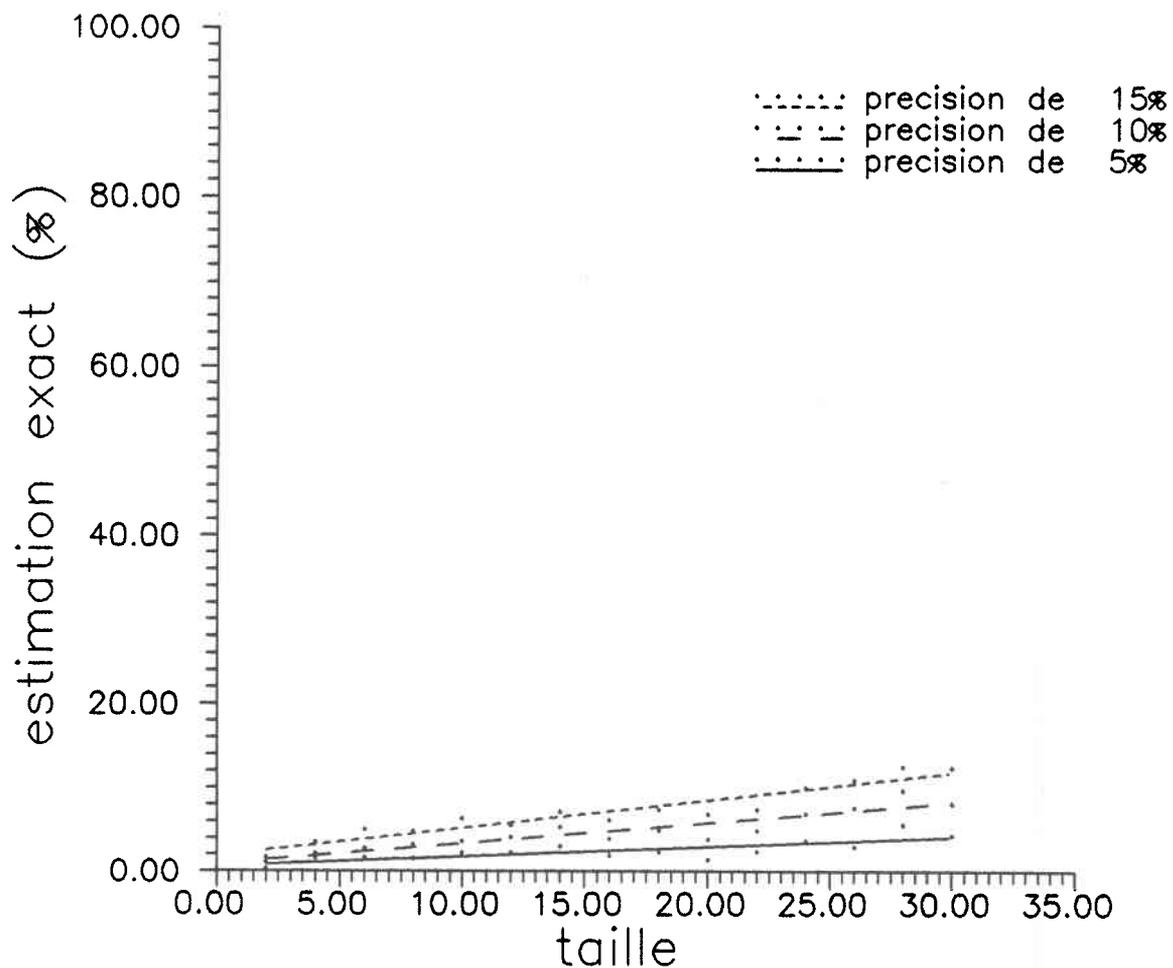


Figure V.X

Efficacité d'estimation de l'écart-type de la conductivité hydraulique de l'horizon "B" pour trois précisions selon la méthode d'estimation conventionnelle en fonction de la taille des échantillons

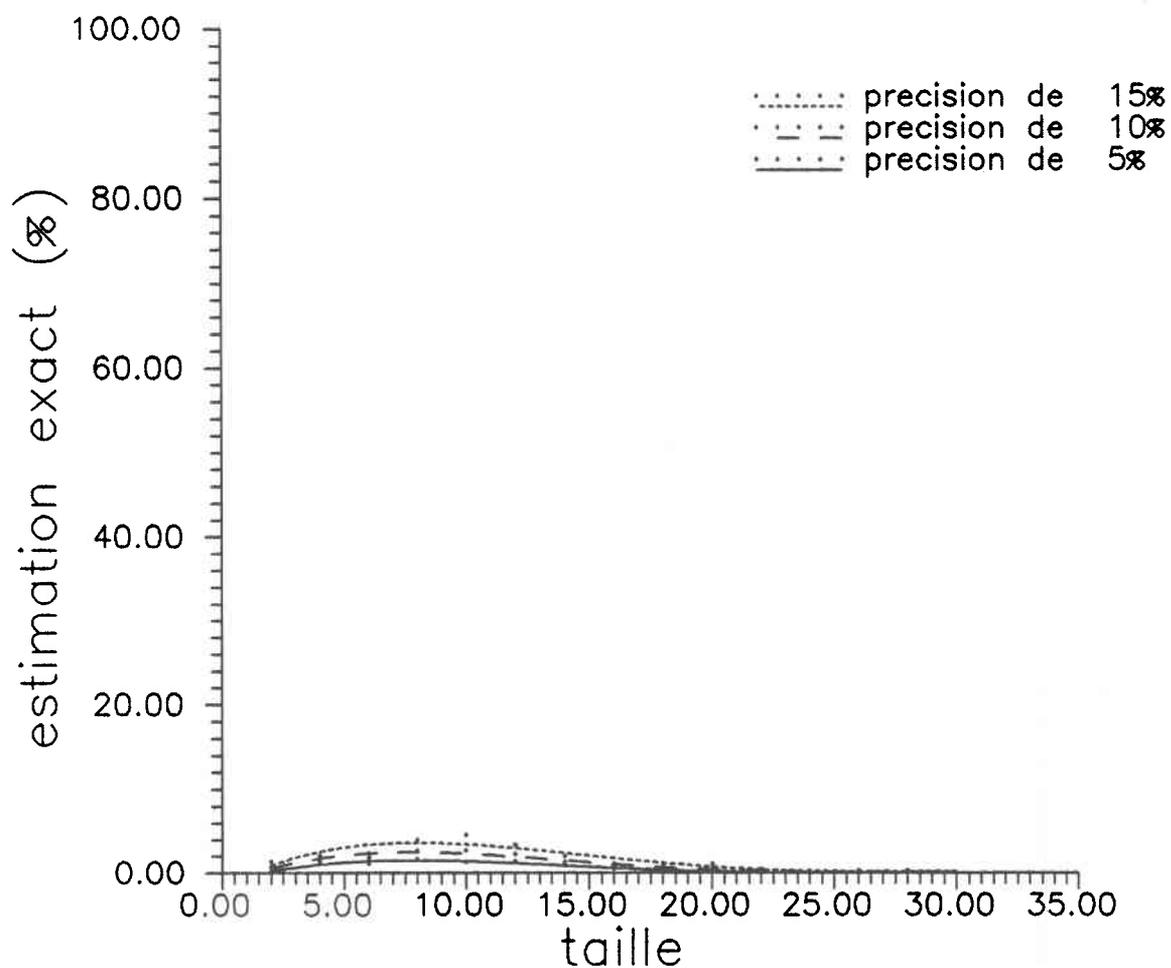


Figure V.XI Efficacité d'estimation de l'écart-type de la conductivité hydraulique de l'horizon "B" pour trois précisions selon la méthode d'estimation de la médiane en fonction de la taille des échantillons