

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT DE GENIE CHIMIQUE

المكتبة - BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDE

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'état
en Génie Chimique

THEME

**EVALUATION DU PROBLEME POSE PAR LA
CONTAMINATION DU CONDENSAT PAR
LE PETROLE BRUT DANS LES CONDITIONS
DE TRANSPORT MULTI-PRODUIT.**

PROPOSE PAR:

SONATRACH (TRC)

ETUDIE PAR:

Mr: F. DJERROUD
Mr: S.A. AMZERT

DIRIGE PAR:

Mr: A. ZAID.
Mr: M. GHAZALI (TRC)
Mr: O. HADJADJ-AOUL

PROMOTION 1995/1996

E.N.P. 10, Avenue Hassen Badi - EL-HARRACH- ALGER.

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT DE GENIE CHIMIQUE

BIBLIOTHEQUE — المكتبة

Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDE

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'état
en Génie Chimique

THEME

EVALUATION DU PROBLEME POSE PAR LA
CONTAMINATION DU CONDENSAT PAR
LE PETROLE BRUT DANS LES CONDITIONS
DE TRANSPORT MULTI-PRODUIT.

PROPOSE PAR:

SONATRACH (TRC)

ETUDIE PAR:

Mr: F. DJERROUD
Mr: S.A. AMZERT

DIRIGE PAR:

Mr: A. ZAID.
Mr: M. GHAZALI (TRC)
Mr: O. HADJADJ-AOUL

PROMOTION 1995/1996

E.N.P. 10, Avenue Hassen Badi - EL-HARRACH- ALGER.

الملخص :

الهدف من هذه المذكرة :
هو دراسة الخصائص الفيزيوكيميائية (الكثافة - ضغط البخار - راد
والتلون) دراسة إحصائية للكندنسا وذلك من أجل تعيينه
الخصائص الأكثر تغيراً بفعل النفط (البترول) ، والتي أي مدى تأثرت هذه
الخصائص ، ومن جهة أخرى محاولة إقتراع حلول للحد من هذا التلوث .
وذلك بعد التحقق من مدونه .

Résumé:

L'objet de ce travail est l' étude statistique des propriétés physico-chimiques (densité, T.V.R, couleur) afin de déterminer les propriétés les plus affectés par la contamination et dans quelle mesure elle le sont. En d'autres termes nous recherchons à établir si de telles propriétés du condensat sont modifiées au seuil de signification donné.

Enfin, nous nous essayons à atténuer l'impact de cette contamination.

Abstract:

The aim of these study is to doing: one one hand a statistical study on proprieties physical-and chemicals (density , T.V.R , color); in order to seek to know which is the affected propriety by contanination and in which measeres it is him .In other terms we seek to establish if such or such a proprieties of the " condensat "are modified, to a doorstep of givensignificance. Other part , we will seek to suggest some solution attenuate the impact of the contamination.

Remerciements

Nous tenons à remercier Mm SOUABI qui a bien voulu nous faire l'honneur de présider le jury de ce mémoire ainsi que tous ceux qui ont accepté d'en faire partie.

Nous remercions également Mer T.Ahmed-ZAID et Mer Hadjadj-Aoul qui nous ont encadrés et dirigés, pour la patience et la disponibilité dont ils ont fait preuve à notre égard.

Nous adressons nos remerciements à Mer K.DJERROUD, directeur de la direction étude et techniques nouvelles de T.R.C, pour l'accueil chaleureux qu'il nous a réservé, et qui a mis à notre disposition tous les moyens techniques dont la direction dispose.

Notre gratitude et notre reconnaissance vont également à Mer M.GHAZALI, ingénieur à T.R.C qui a accepté de nous encadrer pendant les six mois consacrés à l'élaboration de ce travail, et pour les conseils précieux qu'il nous a prodigués, nous avons été particulièrement sensibles aux marques de sympathie et aux encouragements qu'il a manifestés à notre égard.

Nous remercions également Mer K.BOUTER, ingénieur à TRC pour les conseils qui nous a prodigués et pour l'intérêt qu'il a porté à ce modeste travail et le soutien moral dont nous avons été le plus besoin.

Nos remerciements vont également aux M.BELKADI, M.LEFGOUNE, N.ALLIANE, A.BENYOUNNES, Mlle K.AIDOUCHE et Mm A.KEBOUCHE pour les conseils qui nous ont prodigués, et pour les encouragements qu'ils ont manifestés à notre égard.

Que tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin trouvent ici l'expression de nos reconnaissances.

Dédicaces

A mes parents qui étaient présents dans les moments de découragement.

A mes frères Nabil, Samir et Mounir.

A toute ma famille.

A tous ceux qui me sont chers.

A la mémoire de ma très chère soeur Imène.

A la mémoire de mon grand père Bachir , ma grande mère Nouara et mon oncle Mouloud.

A la mémoire de tous ceux qui ne sont plus de ce monde.



FARID

Dédicaces

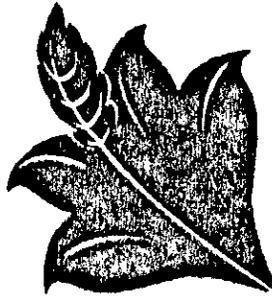
Je dédie ce mémoire

A mes chers parents pour leurs sacrifices.

A mes soeurs et mon frère, en leur souhaitant un avenir plein de succès.

A toute ma famille pour leur aide.

A tous mes amis, et particulièrement mon ami Djamel.



S.AHMED

SOMMAIRE

• Liste des symboles

• Problématique

Introduction1

CHAPITRE I : Transport par oléoduc

1. Historique	2
2. Panorama des conduites d'hydrocarbure dans le monde	4
3. Différentes phases d'exploitation d'un oléoduc	4
4. Aperçu sur les différents modes de transport des hydrocarbures.....	5

CHAPITRE II : Le Condensât

• Définition.....	6
1. La composition du condensât	6
2. Le poids du condensât algérien dans le marché international...	7

CHAPITRE III : Rappels sur quelques propriétés physico-chimiques classiques

1. Densité	9
2. Viscosité.....	10
3. Tension de vapeur Reid.....	11
4. Couleur Saybolt	12
5. Teneur en eau et en sédiments (BSW).....	13

CHAPITRE IV : La contamination

• Définition	14
• Mécanisme de la contamination.....	14

CHAPITRE V : Rappels des notions statistiques

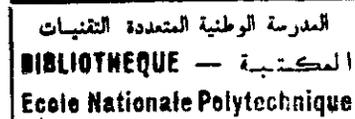
• Définition	20
1. La démarche statistique	21
1.1 La statistique exploratoire	21
1.2 La statistique inférentielle	21
1.3 Estimation de moyenne	21
2. L'échantillonnage	22
2.1 Etude de la statistique \bar{X}	22
2.2 Etude de la statistique S^2	23
3. Description unidimensionnelle de données numériques	23
3.1 Les tableaux statistiques.....	24
3.2 Représentations graphiques	24
3.3 Résumés numériques	25
4. Caractéristiques d'un échantillon	26
5. L'estimation	28
5.1 Généralités	28
5.2 Estimation ponctuelle	28
5.3 Estimation par intervalle	29
6. Les tests statistiques	30
6.1 Généralités	30
6.2 Les catégories de tests.....	31

CHAPITRE VI : Analyse des données recueillies

1. Analyse temporelle	38
2. Analyse statistique des échantillons étudiés	41
2.1 Sélection des échantillons étudiés	41
2.2 Résultats et conclusion de l'étude statistique	43

CONCLUSION.

Liste des symboles



API: American petroleum institute.

A: Pétrole brut.

B: Condensât.

BJ: Baril par jours.

BSW: bottom.Sediments.Water (La teneur en eau et en sediments).

COM:Devison commercialisation de la Sonatrach.

DCO: Direction de coordination des opérations.

GPL: Gaz de pétrole liquifié.

HEH: Haoud-El-Hamra.

TVR: Tension de vapeur Reid

τ : Temps de refoulement du produit B.

T/an: Tonne par an.

t_n : Variable de Student.

\bar{x} : La moyenne empirique de l'échantillon.

S^2 : Variance empirique de l'échantillon.

M: Mediane.

V_1 :Coefficient d'aplatissement.

V_1 :Coefficient d'asymétrie.

MTA: Millions de tonne métrique par an.

n: Taille d'un échantillon.

σ : Ecart-type.

X_i : L'individu i.

H_0 : Hypothèse d'acceptation.

H_1 : Hypothèse de refus.

$E(x)$ ou m : Eeperance mathématique

$F_1(x)$: La fonction de répartition.

$V(x)$: Variance de la population mère.

$N(m, \sigma)$: La loi normale de paramètres m et σ .

r : Coefficient de regression lineaire de l'échantillon.

ρ : Coefficient de regression lineaire de la population .

a_i : Amplitude d'une classe.

d_i : Variable designant la difference de la propriété entre de terminaux.

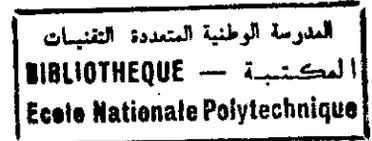
w : L'étendue, il désigne également la région critique.

f_i : Fréquence relative

μ_i : Le moment centré de la de la variable.

α : Seuil de probabilité pour le choix de H_0 ou H_1 .

Problématique



Si ces dernières années, l'organisation de la vente du condensât par Sonatrach été axée sur l'aspect quantitatif de la production sans se soucier de la qualité. L'arrivée récente de nouveaux concurrents sur le marché mondial du condensât et les exigences normalisées des contrats de vente ne permettaient plus à la Sonatrach de placer aisément son produit sur le marché international. En vue de rendre compétitif ses produits, la Sonatrach a tracé un programme d'exportation dans lequel ses produits sont inscrits dans la conformité des normes internationales[23].

La contrainte essentielle qui entrave la commercialisation du condensât est sa coloration. En effet, le condensât est un produit incolore à l'état pur et doit l'être à la vente. Cette coloration constitue un indice de contamination du condensât par le pétrole brut due à l'utilisation d'une seule conduite pour transporter du pétrole brut et du condensât. Aussi, le recours à une même conduite entraîne une altération du condensât en raison de la constitution d'une zone d'interpénétration des deux produits dite « interface » ou « contaminât ». Il faut signaler, que le contaminât ou produit intermédiaire représentant un volume de 600 m³ environ[23].

Les origines de la contamination

La solution du problème de la contamination réside dans la recherche de ses origines et l'identification de ses causes qui peuvent se limiter, en général, à l'enquête réalisée auprès des exploitants.

Le transit du condensât par le filtre et la station de pompage augmentent la concentration du brut dans le condensât et par voie de conséquence sa coloration.

La méthode d'analyse par le Chromètre Saybolt des prélèvements du condensât, actuellement en vigueur au niveau de la ligne OHANET 30", donne une lecture 0 de l'échelle de mesure de la coloration soit *incolore*.

L'analyse des prélèvements réalisés dans des bacs spécialement réservés aux condensâts du bouchon de transit ont donné une lecture de 0,5 de l'échelle de mesure de la

coloration, ce qui signifie que l'expédition du condensât est affectée de contamination. Cette contamination est à l'origine du système d'exploitation du brut et de condensât. Enfin, l'expédition de petits bouchon de condensât augmente le nombre d'interfaces, c'est à dire le degré de contamination.

L'origine préalable de contamination est relative à la présence du brut dans le collecteur de transfert ou le collecteur de transvasement de réservoir à réservoir et l'interconnexion des lignes entrée manifold et les lignes de vidange des gares racleurs NH2.

Aussi, les sédiments présent au fond des bacs représentent une source continue de pollution du condensât lors de sa réception dans les bacs spécialisés qui sont réaffectés au pétrole brut en fonction du programme de réception et de la situation du port (consigné en hiver) et dont le nettoyage demeure impossible.

A Béjaïa, le volume de l'interface est réceptionné dans un bac de brut et de condensât selon la méthode de séparation de deux produits à l'aide d'un densigraphe.

La valeur de 0.76 densité médiane est volontairement retenue. La densité moyenne du condensât pur est de 0.72, ce qui représente une autre source de contamination.

L'objectif recherché est d'en faire une approche statistique du problème en analysant le condensât pur et contaminé par définition des propriétés physiques et des compositions chimiques respectives avant et après contamination en vue de déterminer l'impact de cette dernière sur la qualité du condensât. Pour cela nous avons eu recours aux résultats du condensât recueillis lors des deux dernières années afin de mettre en évidence les propriétés les plus affectées par les contaminations du condensât par le brut et dans quelle mesure elles le sont. En d'autres termes nous recherchons à établir si de telles propriétés modifiées du condensât a un seuil de signification donnée.

Ceci d'une part, d'une autre part nous essaierons de suggérer des solutions qui permettent d'éliminer ce problème ou du moins réduire son impact sur les propriétés du condensât altérées.

Les données sont recueillies au niveau des unités de Haoud El Hamra et de Bejaia, ce qui constitue la 1^{ère} étape de ce travail. En parallèle, Nous avons nous même procédé à l'échantillonnage et à l'analyse du produit au niveau de Haoud-El Hamra et de Bejaia, afin d'évaluer par nous même les différences entre produit contaminé et produit non contaminé.

la réception de la totalité des interfaces dans un bac de pétrole brut risque d'altérer la densité du produit, déjà à la limite contractuelle acceptable. Les bouchons du condensât traversent durant leur transit de Haoud-El-Hamra à Béjaia deux stations de pompage équipées de bacs de stockage contenant du pétrole brut. Un mode de fonctionnement adéquat permet d'éviter le contact avec ces bacs. Mais des fuites de produit vers le bouchon sont toujours possibles et des pollutions importantes se produisent souvent à l'occasion des disjonctions stations ou le mélange est inévitable.

-Au niveau du terminal arrivée, les bouchons de condensât sont reçus dans des bacs spécialisés mais qui ont été utilisés auparavant pour l'exploitation du pétrole brut et qu'ils n'avaient pas pu toujours nettoyer avant affectation. Il faut savoir que les bacs de stockage sont affectés au pétrole brut ou au condensât en fonction:

- du programme de réception et du programme d'exploitation.
- de la situation du port pétrolier (souvent consigné en hiver pour mauvais temps).

En clair, la décision d'affecter un bac de pétrole brut pour le condensât peut être prise rapidement et exécutée immédiatement parce que les conditions de fonctionnement du moment l'imposent. Le nettoyage du bac avant affectation, qui demande au minimum trois mois n'est pas possible. Les sédiments contenus dans le fond du bac constituent donc une source de pollution importante.

Présentation de l'unité H.E.H (Haoud-El-Hamra)

L'entreprise régionale de Haoud El Hamra est l'unité la plus importante de transport, de stockage et de pompage des hydrocarbures en Algérie, elle expédie ces produits vers les terminaux de commercialisation au littoral, elle gère un réseau de transport par canalisation des produits suivants:

- pétrole brut
- condensât
- Gaz du pétrole liquéfié (G.P.L.)
- Gaz naturel

•Implantation géographique

L'entreprise se trouve dans la wilaya de Ouragla à 20 km nord du Hassi-Messaoud, elle couvre une superficie de 350 hectares, ayant un effectif total d'environ 1200 travailleurs toute catégorie confondue

•Date de mise en service

A Haoud El Hamra, il existe trois stations de pompage pour le brut et une station GPL.

- terminal Béjaia de la station de pompage 24" en 1959.
- terminal Arzew à partir de la station 28" en 1966.
- terminal Skikda à partir de la station 34" en 1972 [23].

•Description de la station de pompage n°1 ,24"

La ligne 24 HEH-Béjaia:

L'oléoduc reliant H.E.H au terminal marin de Béjaia été construit en 1959, il a une longueur de 600.7 km.

le premier tronçon a un diamètre de 24 et une longueur de 533.217 km jusqu'au point de contrôle, à partir du point de contrôle, le diamètre se réduit à 22 jusqu'au terminal marin sur une longueur de 126.78 km. Ceci est justifié par l'écoulement gravitaire qui fait augmenter la pression statique dans la conduite afin d'augmenter les pertes de charge, on choisit de diminuer le diamètre. Au niveau de Beni Mensour se trouve un piquage, le 16 qui conduit vers la raffinerie d'Alger

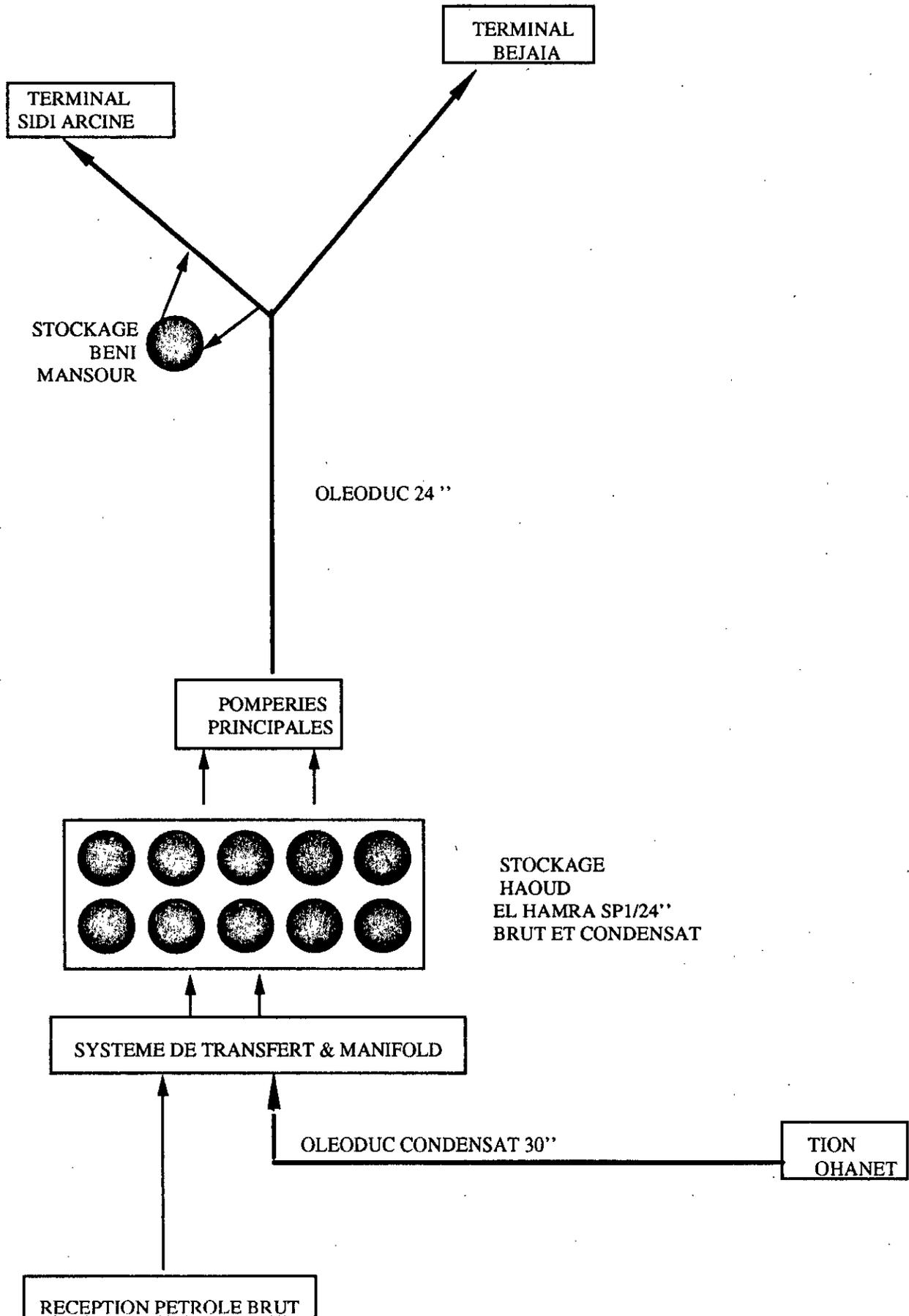
une station de pompage est installée au départ de ce piquage dont la capacité de transport est de 450 m³/h. la station de tête de cet oléoduc est dénommée sp1-24, implantée à H.E.H.

produits pompés: pétrole brut et condensât.

la station sp1-24 est alimentée par les lignes suivantes:

LIGNES	DIAMETRE (M)	DEBIT (M3/H)	PRODUIT
Alrar	30	630	condensât
HMD-nord	20	1600	brut
HMD-sud	20	1600	brut
El-Gassi	16	800	brut
Ohanet	30	1400	brut

**SCHEMA REPRESENTANT LES SOURCES DE LA CONTAMINATION
DU CONDENSAT PAR LE BRUT**



• parc de stockage 24"

le parc de stockage reçoit le brut provenant de Hassi-Messaoud, Ohanet, El-Gassi et reçoit le condensât d'alrar avec un pipe de diamètre 30".

le parc de stockage comprend sept réservoirs de 35000 m³ de capacité chacun, dont deux sont réservés pour le condensât (OB1, OD7).

les bacs sont à toit flottant. Chacun est équipé d'un agitateur entraîné par un moteur électrique, ces bacs sont de diamètre 56 m, et d'une hauteur de 14 m. Ils sont liés entre eux avec un ensemble de vannes motorisées appelés manifold avec lesquelles on peut effectuer le jeu de remplissage et de vidange pendant la réception et l'expédition et le transfert de produit.

Introduction

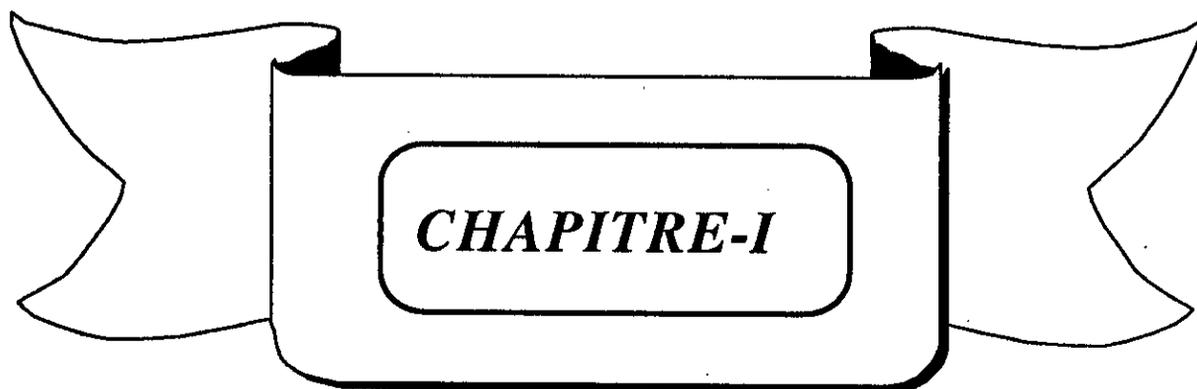
Contrairement au concept du transport conventionnel où le produit à transporter est fixe et le moyen de transport est mobile, le transport des hydrocarbures occupe les fonctions inverse. En effet, les hydrocarbures jouent le rôle de la fonction mobile en raison de leur caractère fluide alors que le moyen de transport par pipe line demeure fixe. La progression des hydrocarbures dans un pipe-line est étroitement liée aux caractéristiques du produit à transporter. Pour les hydrocarbures et les condensats qui sont des produits dit incompressibles, il est nécessaire de les pousser en exerçant une force par le biais des stations de pompes (S.P.) ou de pousser réparties tout le long d'un pipe-line. ce genre d'ouvrage est appelé OLEODUC.

Il est nécessaire de rappeler que les pétroles bruts retirés des couches différentes d'un même gisement peuvent différer selon leur quantités. pour des raisons technologiques et économiques il est préférable de traiter ces pétroles séparément. de ce fait on n'admet pas le mélange de tels types de pétroles vu que leur traitement à la raffinerie devient très difficile. Or, il faut transporter ces pétroles par des conduites différentes ou successivement par une même conduite.

Au cas où le brut est traité à la raffinerie aux environs de la production, il est plus économique parfois de transporter des produits pétroliers par la canalisation, même si les volumes des produits à véhiculer sont trop petits pour être transportés par une grande conduite. dans ce cas on a recours au pompage successif.

Le pompage successif ou le « batching » consiste à expédier les produits séparément dans un ordre déterminé par une même conduite.

Il est utilisé lorsque les quantités des produits transportés ne peuvent pas justifier la construction de canalisation pour chacun de ces produits, autrement dit les canalisations ne seront pas chargées et leur coefficient d'utilisation sera faible. Donc, le pompage successif est appelé d'augmenter le taux d'utilisation des pipe-lines, le taux d'utilisation des puissances installées et en même temps de diminuer les frais d'investissement et le prix de revient de transport. En outre le pompage successif permet de décharger des autres moyens de transport, par exemple les voies ferroviaires [1], [4], [21].



TRANSPORT PAR OLÉODUC

I. Transport par oléoduc

1.1 Historique

Au début de l'ère pétrolière, le transport du pétrole brut s'effectuait dans des barils fûts disposés sur des chariots. Cette forme de transport a donné naissance à l'unité de mesure du pétrole brut, le baril qui équivaut à 159L. C'est aux Etats-Unis en 1865, que fut utilisé pour la première fois une conduite pour évacuer la production d'un gisement. Depuis l'emploi de ce mode de transport des hydrocarbures liquides ou gazeux s'est généralisé, d'abord aux Etats-Unis puis dans le reste du monde. [3]

Pour la petite histoire rappelons que dans les années cinquante au lendemain de la découverte du gisement de Hassi-Messaoud, deux formes de transport a été utilisées:

-une canalisation de faible diamètre prenait en charge le pétrole de Hassi-Messaoud jusqu'à la gare ferroviaire de Touggourt d'où il était chargé sur wagons citerne de Skikda pour être exporté. Depuis l'ALGERIE a réalisé plusieurs milliers de kilomètres d'Oléoduc et de Gazoducs pour acheminer ses hydrocarbures qui se trouvent éloignés des lieux de consommation de raffinage ou d'exportation.

Le premier oléoduc aboutissant à la cote Algérienne a été mis en service en 1959, avec une capacité de transport de 14MTA. Un deuxième oléoduc mis en service en 1960, aboutissant à la cote Tunisienne (la SKIRRA) et permettait l'évacuation de 12 MTA environ, les deux canalisations appartiennent aux sociétés concessionnaires. Le réseau intérieur des conduites se développa alors très vite avec la découverte de nombreux gisements, particulièrement à proximité de ces deux oléoducs.

Avec la création de la SONATRACH en 1963, le secteur de l'industrie pétrolière a subi un développement sensible.

Tableau 1.1: Capacité d'évacuation

produits	capacité d'évacuation (MTA)
pétrole brut	63.90
condensât	21.00
GPL	09.86
Gaz	82.00

Tableau 1.2: Quantités transportées

produits	quantités transportées(MT)
pétrole brut	1226
condensât	218
GPL	35
Gaz	518

Capacité de stockage totale : 3 milliards de tonnes

La branche transport par canalisations(TRC) a pris une dimension internationale en mettant en service en 1983 le TRANSMED reliant l'Algérie à l'Italie via la Tunisie, d'une capacité de 18 milliards de m³/an qui sera porté à 24 milliards de m³/an avec la construction d'une nouvelle station de compression et pourrait atteindre les 30 milliards de m³/an en reliant deux autres stations de compression. Les projets d'expansion du réseau actuel permettront à SONATRACH d'accroître ses capacités de transport et de s'affirmer sur les marchés étrangers. Elle dispose d'un important réseau principal composé de 10 gazoducs et 13 oléoducs totalisant près de 12000 Kms.[23]

1.2 Panorama des conduites d'hydrocarbure dans le monde [3]

Le transport des hydrocarbures liquides ou gazeux par oléoduc s'est généralisé dans le monde vu qu'il offre différents avantages par rapport à d'autres modes de transport. A l'heure actuelle le réseau mondial dépasse 1 200 000 Km de conduite, dont 12 000 Km en Algérie et dont plus de la moitié sont utilisées pour le gaz naturel. Ces statistiques ne tiennent compte que des conduites posées (réseaux de collecte des gisements, réseaux de stockages, distribution finale). Les conduites les plus importantes par leur longueur, leur débit ou leur caractère international, sont regroupées dans le tableau 3 ci-après.

Tableau 1.3: Principales conduites pour les hydrocarbures [3]
(à u 1^{er} janvier 1988), (km)

régions	pétrole brut	produits finis	gaz naturel
Amérique du Nord	12347	18637	27204
Amérique du Sud	5266	3924	18006
Afrique	8501	1353	6852
Moyen et Proche-orient	12251	4015	3510
Extrême-Orient et l'Australie	5836	1672	8042
Europe de l'ouest	6396	8779	7745
Europe de l'est et l'URSS	34774	3046	41510

1.3 Différentes phases d'exploitation d'un oléoduc

L'exploitation de ces oléoducs présente quatre grandes phases:

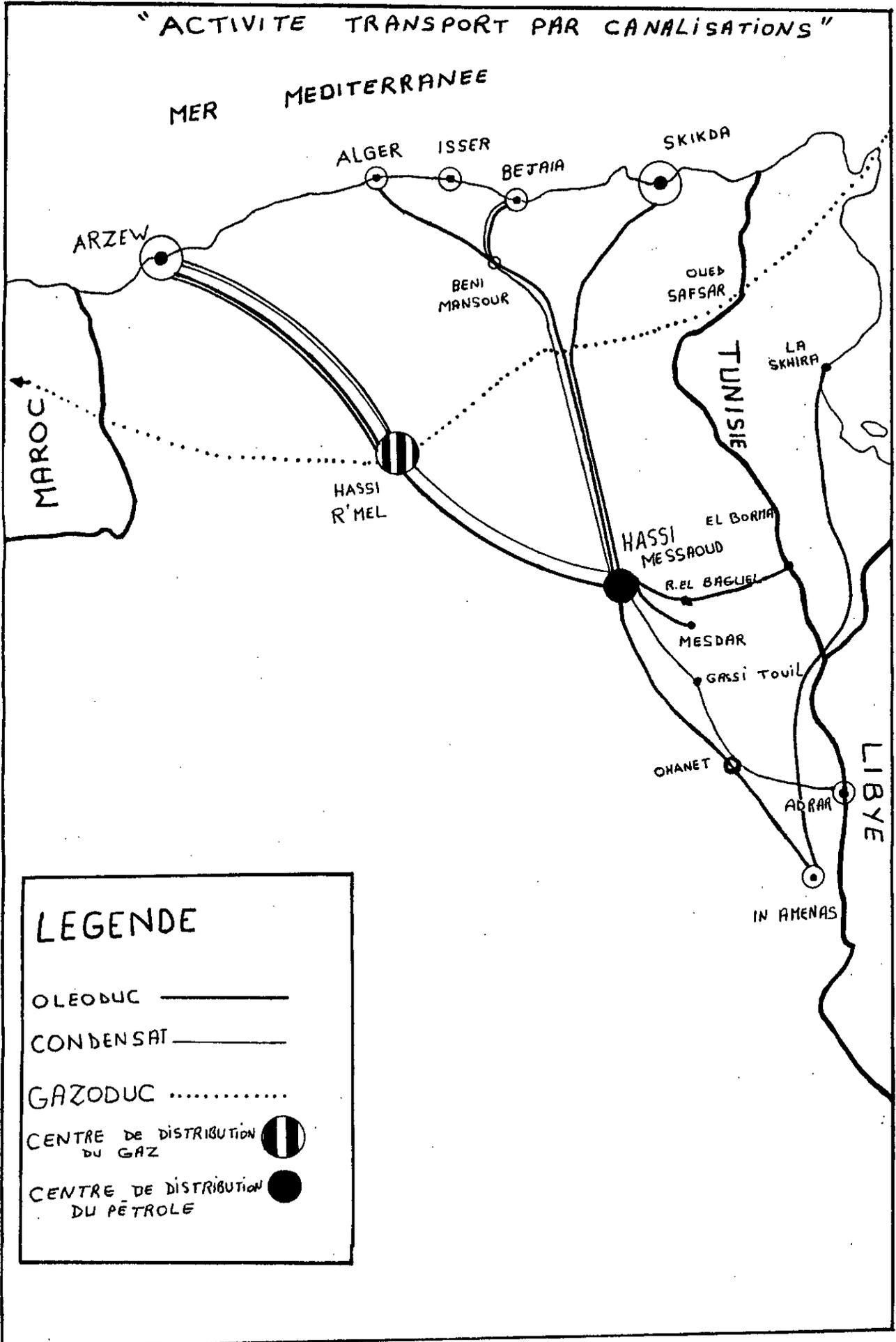
1/la réception du produit (pétrole brut et condensât) provenant des gisement par un réseau de collecte.

2/le stockage du produit dans les terminaux départs: In-Amenas et Haoud El Hamra principalement, pour le cas de l'Algérie.

3/le transfert de ce produit par oléoducs vers les terminaux, (Skhira en Tunisie, Arzew, Béjaïa et Skikda).

4/le chargement des pétroliers (produit destiné à l'exportation) et raffinerie (Arzew, Alger et Skikda).

"ACTIVITE TRANSPORT PAR CANALISATIONS"



LEGENDE

OLEODUC —————

CONDENSAT —————

GAZODUC

CENTRE DE DISTRIBUTION DU GAZ 

CENTRE DE DISTRIBUTION DU PETROLE 

1.4 Aperçu sur les différents modes de transport des hydrocarbures

a - Différents modes de transport

1. Camion-citerne(27m³); pour la distribution de produits finis (essences,Gaz-oil,kérosène,...).
2. Wagon-citerne (45000 t) ; pour l'approvisionnement des centres de stockage plus importants.
3. Pétrolier;pour le transport sur de longs trajets de quantités de 50 000 tonnes à 500 000 tonnes.
4. Canalisation;transport sur de longues distances,de quantités très importantes,pour une livraison continue.

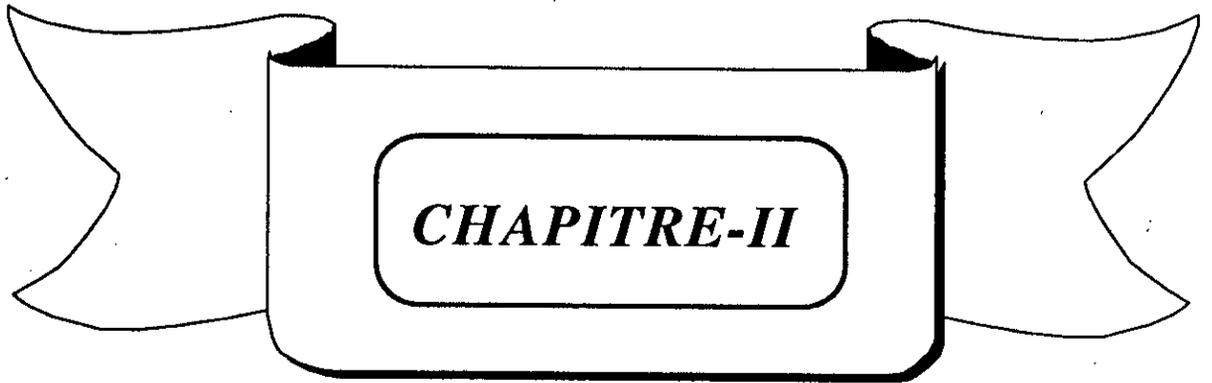
b - Avantages et Inconvénients

Hors mis le transport par canalisation , les autres modes de transport présentent plusieurs inconvénients dont les principaux sont :

Tableau 1.4:Avantages et inconvénients des différents modes de transport des hydrocarbures

Mode deTransport	Avantages	Inconvénients
Camion-citerne	- accès faciles aux endroits isolés	- faibles quantités - livraison discontinue - sécurité de transport
Wagon-citerne	- produits divers par livraison et sans contamination - moyennes quantités -moyennes distances	- passages spéciaux -livraison discontinue - mesures de sécurité
Maritime	- quantités importantes -grandes distances	- livraison discontinue - coût plus important
Canalisation	- quantités plus importantes - livraison continue - coût très bas - sécurité de transport - fiabilité	- surveillance continue

Il est clair que, le transport par canalisation est le moyen de transport le plus sûr ,si les précautions nécessaires sont prises les incidents seront extrêmement rares, et le plus économique parmi les autres, mais il présente un problème de contamination, c'est ce qu'on va traiter ci-après.



LE CONDENSAT

II. Le condensât

• Définition du condensât

Le condensât est un liquide de gaz naturel composé d'un mélange d'hydrocarbures (C_5 et au dessus) existant avec les fractions plus légères dans les gisements de gaz naturel. On l'appelle également essence naturelle. Cette fraction se condense en passant des conditions existant à la tête des puits de production. ce condensât peut être utilisé tel quel ou en mélange avec d'autres essences de raffinerie. [13]

On distingue deux types de condensât:

-condensât lourd et condensât léger dans le condensât lourds on distingue également les condensais paraffiniques, comme le condensât Algérien, qui constituent une charge pour la pétrochimie et les condensais de type Naphténique et Aromatique (OSO Négérien, Arun indonésien) plus appréciés par les raffineurs.

Les condensâts légers qui est la Natural Gasoline (condensât du Moyen-Orient, USA, Europe).

2.1 La composition du condensât [23]

L'utilisation des techniques de chromatographie en phase gazeuse et de couplage chromatographie en phase gazeuse-spectrométrie de masse, a permis d'identifier et de quantifier les hydrocarbures contenus dans le condensât de H.E.H; La composition est donnée en pourcentage molaire.

Tableau2.1

constituants	C_2	C_2	iC_4	nC_4	iC_5	nC_5	nC_6	nC_7	nC_8
pourcentage molaire	0.0	0.0	0.05	0.45	49.36	27.35	15.18	5.0	2.61

D'après ces résultats, il est clair que le condensât algérien est constitué essentiellement du iC_5 et du nC_5 .

2.2 Le poids du condensât algérien dans le marché international

Le production mondiale de condensât est de l'ordre de 120 millions de tonnes métriques par an, dont 85 millions sont des condensâts, du type Algérien (entre 43 et 67° API), (0.713 et 0.810 à 15°C), c'est en Afrique, en Extrême-Orient et en Australie que l'on produit l'essentiel de ce type de condensât. La Natural-Gasoline, un condensât léger (entre 75 et 85° API), (0.653 et 0.685 à 15°C) est, quant à elle, produite en Myen-Orient, aux USA et en Europe.

Sa production mondiale avoisine le 35 millions de tonnes métriques par an. Les 420 000 b/j (barils par jours) de condensât algérien représente 20% du marche mondiale (ou 14% si l'on inclut la natural-gasoline). L'Arun indonésien, l'OSO nigérian, le Sleipner norvégien représentent les plus importantes productions de condensât, après l'Algérie (loin derrière) avec respectivement 130 000 b/j et 100 000 b/j et 35 000 b/j environ.

Il n'existe pas de marche de référence pour le condensât comme c'est le cas pour les bruts et les produits raffinés. En fait, seuls l'Arun, l'Australien et la Natural-Gasoline de m' Belvieu (USA) sont cotés par les principales revues (Platt's). Aujourd'hui, Sonatrach commercialise le condensât sur la base de formules de prix liées aux composantes même du produit ou parfois liées aux prix des bruts comme le Brent ou le WIT.

Les performances du condensât algérien sur les différents marchés dépendent essentiellement du comportement des produits concurrents (Naphta, GPL, Gasoil, Bruts). Cette concurrence s'est accentuée depuis l'arrivée récente des condensâts du Nigeria et de la Mer du Nord qui se trouvent aujourd'hui en compétition avec notre condensât sur les même marchés pour le secteur du raffinage.

L'Europe et les USA (Golfe du Mexique) constituent les marchés principaux et traditionnels pour le condensât algérien.

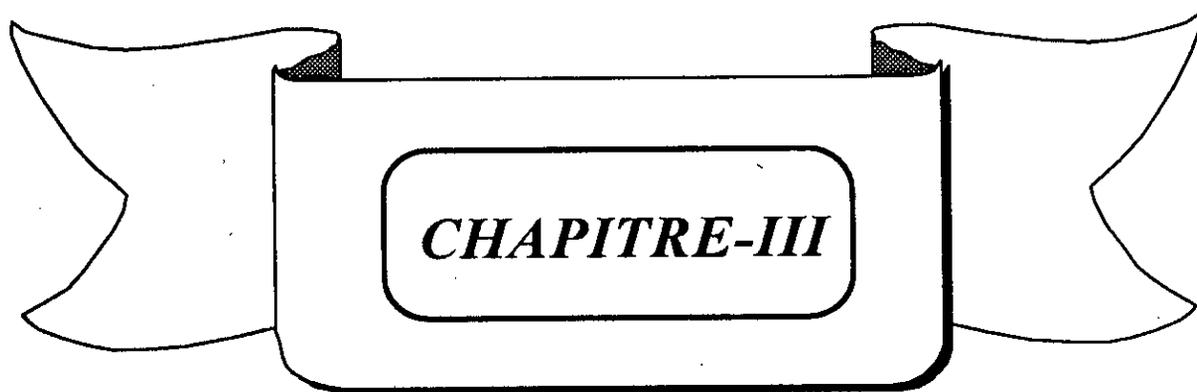
Le marché américain, plus précisément la région du Golfe du Mexique, est constitué essentiellement de clients pétrochimistes. En effet, le degré d'intégration de leurs outils de production en fait les principaux clients du condensât pour la pétrochimie.

Le marché européen est lui aussi constitué en majorité de pétrochimistes.

Le secteur du raffinage pour sa part consomme du condensât pour les besoins spécifiques ou bien dans des cas d'arrêt d'unités de cracking, ce qui constitue des opportunités le plus souvent imprévisibles [12].

Enfin, pour le marché de l'Extrême-Orient (japon et Corée), ou le condensât algérien s'est déjà vendu, on note la disponibilité abondante de condensât local (Indonésie et Australie) et le coût de fret très important pour la taille des navires pouvant charger dans les terminaux algériens [12].

La prédominance du marché de la pétrochimie comme marché naturel de notre condensât est aujourd'hui évidente. Les pressions des législations en matière de protection de l'environnement, surtout en ce qui concerne les soufres, et la lourdeur des investissements y afférents ainsi que les possibilités de traitement de condensât directement dans des unités spécifiques, pourraient en stimuler durablement la demande.



***RAPPELS SUR QUELQUES PROPRIETES
PHYSICO-CHIMIQUES CLASSIQUES***

III.Rappels sur quelques propriétés physico-chimiques classiques

3.1 La densité

La densité est définie comme le rapport de la masse d'un certain volume d'échantillon à une température T la masse du même volume d'eau à une température (généralement nous prenons l'eau à une température de 4°C),[6]

Nous pouvons ramener la valeur de la densité à une température T de l'échantillon moyennant cette formule de correction:

$$d_4^{20} = d_4^t \pm K.(t-20) \quad (4)$$

K est un coefficient dépendant de la densité du condensât selon le tableau1,[6]

Tableau 3.1: Les valeurs du coefficient K en fonction de la densité

d	0.60-0.70	0.70-0.76	0.76-0.80	0.80-0.85	0.85-0.88	0.88-0.90
K	0.0009	0.00085	0.0008	0.00075	0.00065	0.00062

Excepté pour les calculs nécessitant une très grande précision,nous pourrons toujours confondre la spécifique gravity (Sp.Gr 60°F/60°F) et la densité à 15°C [7]

$$d_4^{15} = 0.99904 \text{ Sp.Gr}(60^\circ\text{F}/60^\circ\text{F}) \quad [10],(5)$$

$$\text{Sp.Gr}(60^\circ\text{F}/60^\circ\text{F}) = \frac{\text{Poids.d'un.volume.de.produit.à.60}^\circ\text{F}}{\text{Poids.du.même.volume.d'eau.à.60}^\circ\text{F}} \quad (6)$$

Dans l'industrie pétrolière il est utilisé également pour mesurer la densité .

Le degré A.P.I défini par l'American Petroleum Institut,comme une fonction hyperbolique de la Specific Gravity [6].

$$^\circ\text{A.P.I} = 141.5/\text{Sp.Gr}60/60^\circ\text{F} - 131.5 \quad [6],(7)$$

Dans la pratique, l'instrument utilisé pour mesurer la densité d'un liquide est soit un Pycnomètre,soit un densimètre électronique,ou un aréomètre[6].

3.2 La Viscosité

• Définitions

La viscosité est une grandeur physique qui mesure la résistance interne à l'écoulement d'un fluide, résistance due aux frottements des molécules qui glissent l'une contre l'autre [6].

On distingue trois types de viscosité:

$$\eta = \frac{dF}{dS} * \frac{dZ}{dV} \quad [10],(8)$$

b. la viscosité relative

C'est le rapport de la vitesse du liquide à celle de l'eau, mesurée à 20°C. Or, la vitesse de l'eau à cette température est précisément de 1 centipoise. [6]

c. La viscosité cinématique

C'est le rapport de la viscosité absolue à la densité mesurée à la même température. Elle s'exprime en « stokes » ou en « centistokes »

$$v = \frac{\eta}{d} \quad (8)$$

• Description de la méthode expérimentale utilisée

La mesure de la viscosité d'un liquide est un essai normalisé, qui fait l'objet de la norme Américaine ASTM-D 455-65. Cette mesure se fait par l'intermédiaire d'un viscosimètre, On mesure le temps d'écoulement d'une quantité de produit soit à travers un tube calibré, soit à travers un orifice calibré. [8]

Compte tenu des caractéristiques du viscosimètre, on a une relation entre le temps d'écoulement et la valeur de la viscosité

$$v = c.t - \beta / t \quad (9)$$

v: viscosité cinématique mm²/s (centistokes)

β, C : coefficient et constante de viscosimètre.

t : temps d'écoulement observé en secondes.

Généralement le temps β/t est négligeable devant le terme $c * t$, alors la relation précédente

$$\text{devient : } v = c . t \quad (\text{mm}^2/\text{s ou cst}). \quad (10)$$

3.3 Tension de vapeur Reid (T.V.R)

• Définition

La tension de vapeur Reid mesure la température des molécules à s'échapper d'une phase liquide pour engendrer une phase vapeur en équilibre thermodynamique. C'est une fonction croissante de la température et spécifique de chaque corps pur.

La tension de vapeur des coupes pétrolières légères est mesurée indirectement par l'essai de la tension de vapeur Reid (T.V.R), la valeur de la T.V.R mesurée à 37.8 °C, exprimée en pression relative, est due pour une part à l'air emprisonné initialement dans l'appareil et pour le reste fractions les plus volatiles de la coupe pétrolière qui sont vaporisées dans la bombe Reid [10]

(Normes AFNOR NF M07-007 et ASTM-D 323)

• Description de la méthode expérimentale utilisée

Pour la détermination des tensions de vapeur du pétrole brut et du condensât, nous avons utilisé la bombe Reid.

La bombe Reid est un instrument de mesure constitué d'une cuve à échantillon, une chambre à air représentant environ quatre fois le volume de la cuve, un bain thermostatique à 100°F, (37.8 °C), et un manomètre.

On remplit la cuve de pétrole ou du condensât et on la connecte à la chambre à air. L'ensemble est agité convenablement et remplacé périodiquement dans le bain thermostatique. Le manomètre est branché au sommet de la chambre à air et donne une indication de pression qui se stabilise lorsque l'équilibre est atteint. Cette valeur limite de la pression mesure la T.V.R de l'échantillon en g/cm². [8]

3.4 Couleur Saybolt

•Définition

La couleur Saybolt est exprimée par un nombre en relation avec la hauteur de la colonne de prise d'essai dont la couleur est comparée à des étalons de verre donnés. ces nombres vont de +30 à -16, la prise d'essai est d'autant moins colorée que le nombre est plus élevé en valeur algébrique. [8].

Cette norme est en concordance technique avec la méthode ASTM-D 156-64.

•principe

Le principe du calorimètre Saybolt consiste à comparer la couleur de verres teintés normalisés à celle du produit versé dans le tube; on ajuste la hauteur du liquide dans le tube pour obtenir la même impression d'intensité lumineuse.

En d'autre terme, la détermination de la couleur s'effectue en comparant par transparence les échantillons à l'état liquide avec des étalons de verre colorés, les conditions d'observation et d'éclairage étant spécifiées.

Une table donne le nombre de couleur en fonction de cette hauteur . [6]

Tableau 3.2: présente une table de correspondance des couleurs.

nombre de verres	hauteur (in)	couleur
0.5	20.00	+30
1	20.00	+25
1	12.00	+21
1	6.25	+16
2	9.75	+14
2	8.25	+12
2	7.25	+10
2	6.50	+8
2	6.00	+6
2	5.25	+3
2	4.50	+0
2	4.00	-2
2	3.625	-4
2	2.75	-11
2	2.125	-16

3.5 Teneur en eau et en sédiments ou « B.S.W »

Cette norme a pour objet de décrire une méthode de détermination par centrifugation de la teneur en « eau » et en « Sédiments » des pétroles bruts et des huiles combustibles. [8]

Le terme « sédiment » désigne uniquement les impuretés solides insolubles dans le toluène.

•Principe

La prise d'essai est mélangée dans un tube gradué avec un égal volume de toluène.

L'eau et les sédiments sont séparés par centrifugation jusqu'à volume constant. [8]

L'appareil utilisé pour effectuer cet essai est une centrifugeuse dont la vitesse de rotation qui est constante est calculée en appliquant la formule suivante:

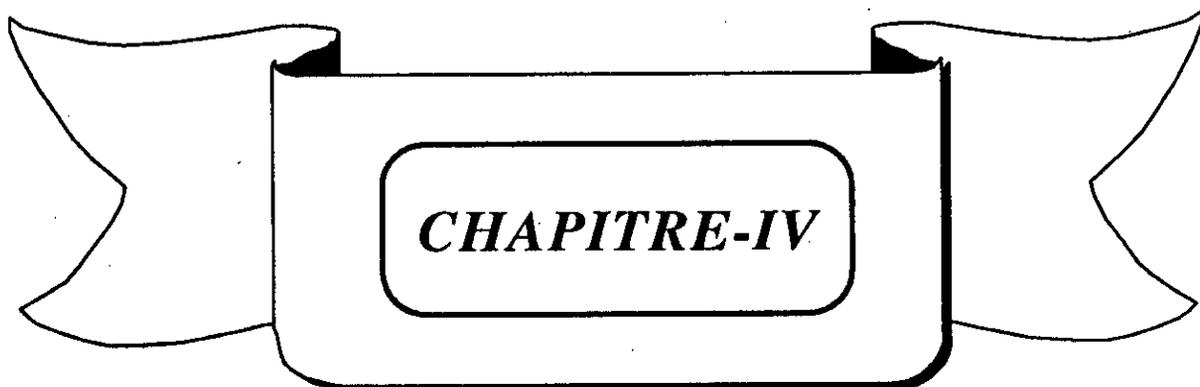
$$N = 1336$$

ou:

N: vitesse de rotation en tours par minute.

P: Accélération à la pointe du tube en position de rotation, exprimé en prenant g (accélération de la pesanteur) comme unité.

r: Rayon mesuré en millimètres entre l'axe de rotation et la pointe du tube lorsque celui-ci est en position horizontale.



LA CONTAMINATION

IV La contamination

• *Définition*

On a coutume de désigner par «contamination», dans un pipe-line, le phénomène de mélange qui se produit au contact de deux cargaisons successives différentes transportées dans une même canalisation, et souvent aussi le produit même de ce mélange; ce produit est également appelé « **contaminât** » ou même « **interface** ».

On conçoit que, si les conséquences ne sont pas très graves dans un pipe-line de brut ou chacune des cargaisons peut supporter sans grand dommage une légère pollution par les cargaisons qui l'encadrent, il n'en est pas de même pour les pipe-lines de produits finis qui peuvent transporter dans une même conduite des produits aussi différents que l'essence avion, et des fuels légers de chauffage.

Une première précaution essentielle consiste à étudier la séquence des cargaisons de telle façon que les conséquences de la contamination inévitable soient réduites au minimum et que le contaminât puisse être utilisé directement dans le produit moins noble.

Il y a cependant des cas où la livraison du contaminât dans l'une ou l'autre des cargaisons est impossible parce que certaines des caractéristiques des cargaisons consécutives sont absolument incompatibles. Dans ce cas, le contaminât doit être retiré de la conduite avant livraison, soit pour être réinjecté à très faible dose dans une cargaison dont il n'abîmera pas les caractéristiques, soit pour être retraité en raffinerie [21].

• *Mécanisme de la contamination*

Supposons que dans un pipe-line (horizontal), le produit **A** est pompé. En un certain temps τ on commence à refouler l'autre produit **B**. Ce moment-là est le commencement du pompage successif. Le produit **B** pénétrant dans le produit **A**, le repousse du pipe-line. Lorsque le produit **B** remplit complètement la conduite, on dit que le pompage successif est fini.

Envisagions deux régimes d'écoulement:

1-Régime laminaire

La répartition des vitesses dans une section de la canalisation est décrite par la formule :

$$v = 2 \cdot w \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right) \quad (1).$$

où : v-vitesse d'un filet à la distance r de l'axe de la conduite;
w-vitesse moyenne de l'écoulement ;
R-rayon intérieur de la conduite.

Le produit B pénétrera dans le produit A suivant le profil des vitesses (fig. 1).

La longueur l représente celle de la zone de mélange des produits A et B.

On admet théoriquement que le commencement du profil des vitesses coïncide avec la section initiale de la conduite. Au temps où le produit B touchera la fin de la conduite ce n'est que le mélange des produits A et B qui aura lieu dans la conduite (fig. 2).

Pour balayer le produit A du pipe-line il faut pomper le produit B en quantité de quelque volumes du pipe-line.

Désignons la vitesse maximale à l'axe de la conduite par V_0 . Alors, on aura:

$$t_0 = \frac{L}{V_0} = \frac{L}{2W} = \frac{L \cdot S}{2 \cdot W \cdot S} = \frac{V_{cond}}{2 \cdot Q} \quad (2)$$

où L- longueur de la conduite;
 t_0 -temps lorsque le noyau de produit B touche la fin de la conduite;
 V_{cond} -volume de la conduite;
Q-débit du pompage.

On a deux phases du pompage successif:

I- Phase de remplissage (pour $t \leq t_0$).

II-Phase de balayage (pour $t > t_0$).

Le volume du contaminant lors du pompage successif avec le régime laminaire constitue 4.5 volume de la conduite. C'est pourquoi le pompage successif n'est pas employé au régime laminaire.

Le volume du contaminât est déterminé par la formule de CIENETZER [23]

$$V_{\text{contaminat}} = 1200 * k * \left(\frac{D_{\text{int}}}{L}\right)^{0.43} * \lambda^{1.8} * V_{\text{cond}} \quad (3)$$

ou k : coefficient qui dépend de la concentration

Tableau 4.1 VALEURS DE K POUR DIFFÉRENTES CONCENTRATION

Concentration	99-1	98-2	95-5	90-10	80-20	70-30	60-40
k	1.645	1.452	1.163	0.906	0.595	0.371	0.180

λ - coefficient de perte de charge déterminé selon le nombre de Reynolds pour un mélange de 50% de A et de 50% du produit B.

D_{int} : Diamètre intérieur de la conduite en « m ».

L : Longueur de la conduite en « m ».

V_{cond} : volume de la conduite en « m³ ».

2- Régime turbulent

Le régime turbulent est caractérisé par les vitesses dont la valeur et la direction varient toujours ce qui mène au mélange intensif des liquides. Pour simplifier la résolution théorique de l'écoulement turbulent on admet qu'il existe des vitesses moyennes dirigées le long de l'axe de la conduite et les tourbillons ayant les directions différentes.

En conformité avec cette supposition considérons la contamination dans une conduite (fig 3).

Au moment initial $t = 0$, le produit B commence à pénétrer dans le produit A.

La surface de contact des produits A et B est plane et le contaminât n'existe pas. Dans un certain temps le produit B pénétrera dans le produit A suivant le profil des vitesses moyennes à la distance \bar{V} . Simultanément, les tourbillons contribuent au mélange régulier des produits (position 1) dans la zone de contamination. Au moment t_2 , le contaminât crée pénétrera dans le produit A pur (position 2). Le volume de contaminât augmentera. La longueur de la zone de la contamination sera $l = 2\bar{V}$. Donc, on peut conclure que le volume de contaminât croit pendant le déplacement ultérieur le long du pipe-line. Au milieu du contaminât, les quantités des produits A et B seront à peu-près égales.

Dans la partie droite du contaminât, la quantité du produit A augmente, tandis que dans la partie gauche on l'augmentation de la concentration du produit B [21].

Donc, on peut remarquer que dans quelque temps le contaminât dans lequel la quantité du produit B diminue, pénétrera dans le produit A. Par la suite le volume total du contaminât diminue par rapport à celui lors du pompage successif au régime laminaire.

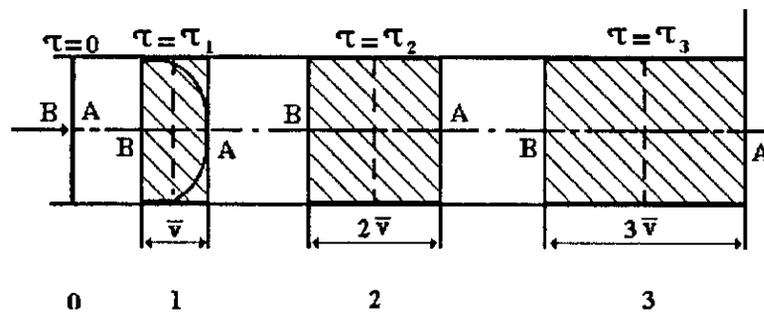
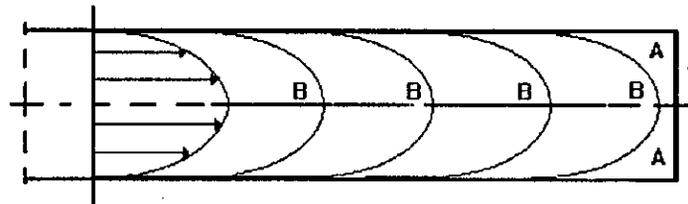
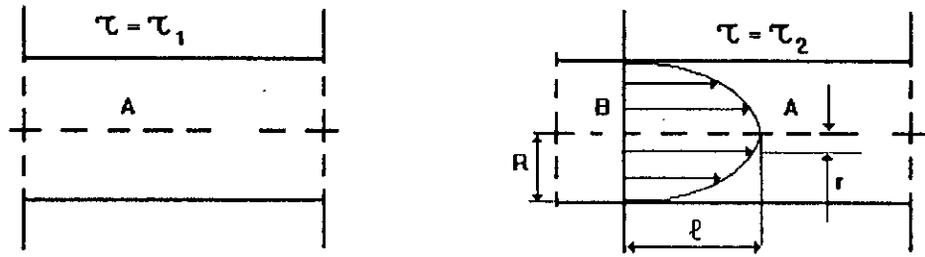
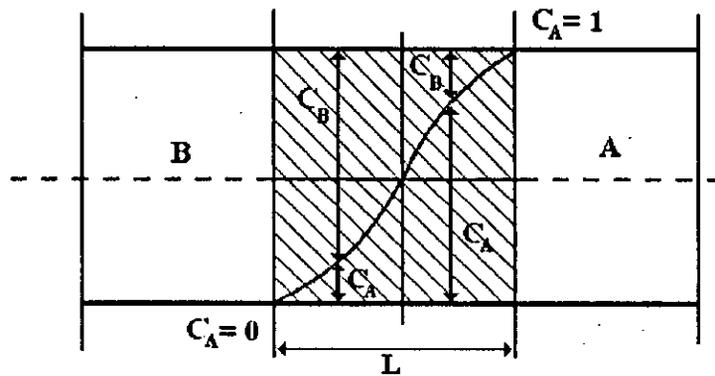
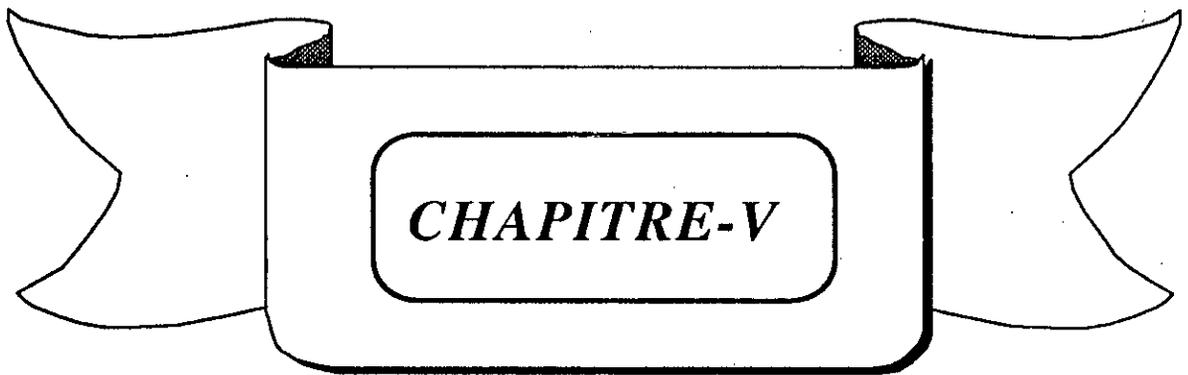


Fig 3



- L - Longueur du contaminant
- C_A - Concentration du produit A dans le contaminant
- C_B - Concentration du produit B dans le contaminant.

- Fig4 -



***RAPPELS DES NOTIONS
STATISTIQUES***

V. Rappels des notions statistiques

Avant d'aborder l'étude descriptive du phénomène de la contamination et les calculs statistiques, il est bon d'acquérir quelques notions d'ordre général qui sont à la base d'une bonne compréhension de cette étude. Cette incursion dans le domaine de la statistique ne constitue pas un but en soi, mais c'est un préalable utile; grâce à la connaissance de ces notions, réduites ici au minimum, il sera ensuite possible d'aborder nos calculs, sans être dans l'obligation d'ouvrir fréquemment des parenthèses pour définir les notions nécessaires. Simultanément aura été acquis le vocabulaire utilisé à cette étude.

Les éléments de statistiques appliquées ont pour objet de décrire, de traiter, d'analyser les données à l'aide des méthodes d'analyse multidimensionnelle ou des méthodes de la statistique inférentielle ou décisionnelle en recourant aux modèles probabilistes.

La solution des problèmes pratiques utilise un éventail varié de techniques statistiques se fondant sur l'observation des phénomènes concrets et l'interprétation des informations recueillies.

En effet, le recours aux méthodes statistiques permet de montrer d'une manière significative les modifications des caractéristiques physico-chimiques dues à une éventuelle contamination du produit transporté à travers l'oléoduc. Les paramètres physico-chimiques les plus utilisés en vue de s'enquérir du problème de la contamination sont la densité, la TVR et la couleur. L'étude des données des propriétés physico-chimiques des produits de transit d'un oléoduc à l'aide des méthodes statistiques demeure un domaine vaste nécessitant par conséquent une durée élevée pour recueillir et suivre l'évolution de la contamination en fonctions des temps de séjours dans la conduite et de la longueur du tronçon par rapport au lieu du prélèvement.

• Définitions

La statistique désigne à la fois un ensemble de données d'observation et des activités qui consiste dans leur recueil, leur traitement et leur interprétation. Ces méthodes statistiques sont aujourd'hui utilisées dans presque tous les secteurs d'activités et font partie des connaissances de base de l'ingénieur et du gestionnaire.

Parmi les applications les plus courantes, on peut citer :

- le contrôle de qualité .
- l'analyse de mesure et leur planification.
- la prévision.

Dans notre étude, le recours à la statistique mathématique dans le traitement des données de la contamination ne peut se faire qu'après une réalisation satisfaisante des étapes de collecte et d'analyse. L'objectif principal vise à établir un jugement sur la représentativité de l'échantillon étudié, car toute décision ou jugement est fondée sur des observations effectuées sur un même échantillon et non sur la population totale étudiée en raison de l'impossibilité d'examiner tous les individus de la population de base de taille finie. Ainsi, il nous paraît indispensable de rappeler quelques notions de la statistique pour permettre de mieux cerner l'étude de notre résolution.

La statistique suppose l'étude d'un ensemble d'objectifs sur lesquels sont observées et suivies les caractéristiques appelées « variables ». La notion principale des statistiques vise l'examen du groupe ou d'ensemble d'objets équivalents que l'on appelle **population**. Le terme **population** désigne toute collection d'objets à étudier ayant des propriétés communes. Les objets sont appelés **individus** ou unités de statistiques. Aussi, les statistiques traitent les propriétés des populations plus que celles des individus particuliers. En général, la population à étudier est vaste pour être observée exhaustivement dans le cas de population infinie ou d'observations coûteuses. L'étude globale des individus d'une population finie est dénommée **recensement**, lorsque une partie de la population est observée on parle de **sondage** et la partie étudiée est dite **échantillon**.

Chaque individu d'une population est décrit par un ensemble de caractéristiques appelées **variables** ou caractères. Ces variables peuvent être classées selon leur nature : variables **quantitatives** ou numériques (par exemple la taille, poids, volume).

Certaines peuvent être **discrètes** (nombre fini ou dénombrable de valeurs) ou **continues** si toutes les valeurs d'un intervalle de \mathfrak{R} sont acceptables. Quant aux variables **qualitatives**, elles s'expriment par l'appartenance à une **catégorie** ou **modalité** d'un ensemble fini.

Le concept clé des statistiques est la **variabilité** qui signifie que des individus en apparence semblables peuvent prendre des valeurs différentes. Ainsi un processus industriel de fabrication ne fournit jamais des caractéristiques parfaitement constantes.

L'analyse statistique traite pour l'essentiel de l'étude de la variabilité dont il faut tenir compte pour prévoir de façon probabiliste le comportement des individus non observés pour distinguer le mieux possible la variation des individus entre eux.

5.1 La démarche statistique [18].

Après recueil des données, la démarche statistique consiste à traiter et interpréter les informations recueillies. Elle englobe l'aspect exploratoire et l'aspect inférentiel ou décisionnel.

• La statistique exploratoire

La statistique exploratoire, connue sous le nom de **statistique descriptive**, a pour but de synthétiser, de résumer, de structurer l'information contenue dans les données. Elle utilise la représentation des données sous forme de tableaux, de graphiques et d'indicateur numériques.

Enfin, le rôle de la statistique exploratoire est de mettre en évidence des propriétés de l'échantillon et de suggérer des hypothèses [18].

• La statistique inférentielle

La statistique inférentielle vise à étendre à la population toute entière les propriétés constatées sur l'échantillon et de valider ou d'infirmer les hypothèses à formuler après une phase exploratoire. Il faut signaler que l'inférence statistique se fonde sur les observations disponibles sur un échantillon de taille n pour en déduire les propriétés de la population dont il est issu. Ainsi on essayera d'estimer la moyenne m de la population à partir de la moyenne \bar{x} d'un échantillon. Cette possibilité n'est valable que si l'échantillon a été prélevé conformément aux règles rigoureuses en vigueur pour définir sa représentativité.

• Estimation d'une moyenne

Lorsqu'une même grandeur est mesurée n fois de suite par un même observateur, l'imprécision de l'instrument de mesure et d'autres facteurs rendent fluctuantes ces valeurs et on obtient n valeurs différentes x_1, x_2, \dots, x_n . En vue de déterminer la vraie valeur de m , il est admis que ces variables constituent des observations indépendantes d'une variable X de moyenne théorique m (ou espérance mathématique) en faisant l'abstraction d'erreurs systématiques.

Dans ce cas la loi des grands nombres montre alors que la moyenne $\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$ (11)

de l'échantillon constitue une meilleure approximation de m où \bar{x} est une estimation de m . Il faut noter que la connaissance d'une observation x inverse la problématique tout en déduisant une fourchette ou intervalle de confiance pour la vraie valeur m .

5.2-L'échantillonnage

Les n valeurs d'un échantillon ne sauraient avoir de sens lorsqu'elles se résument à une seule caractéristique. En effet, la statistique commence là où il y a variabilité et on ne peut évidemment se contenter d'une valeur unique telle la moyenne. Au minimum, il convient donc de définir à la fois une valeur centrale et une mesure de dispersion autour de cette valeur.

5.2.1 Etude de la statistique \bar{X} :

• **Définition** : La statistique \bar{X} ou moyenne empirique de l'échantillon est définie par la relation (12) suivante:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (12)$$

• Propriétés élémentaires

Soit m et σ l'espérance et l'écart-type de la variable parente;

on a alors: $E(X) = m$ et $V(X) = \sigma^2/n$.

•**Théorème central-limite**

Soit n-échantillon de la variable aléatoire X.

Alors la suite $U_n = \frac{\bar{X} - m}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}$ converge en loi vers une variable de Laplace-Gauss.

centrée réduite U :

$$\frac{\bar{X} - m}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}} \longrightarrow U \in N(0,1)$$

5.2.2 Etude de la statistique S^2 :

•**Définition**

La statistique S^2 ou variance empirique d'échantillon est exprimée par la relation (13):

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (13)$$

Autrement, pour exprimer l'esperance et la moyenne empirique de l'échantillon, elle peut s'écrire

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - m)^2 - (\bar{X} - m)^2 \quad (14)$$

b. Propriétés : On a $E(S^2) = \frac{n-1}{n} \sigma^2 \quad (15)$

Ce résultat montre que $E(S^2)$ est différent de σ^2 . Il faut signaler que S^2 indique une statistique biaisée de σ^2 et le biais vaut σ^2/n .

Et pour la variance on a :

$$V(S^2) = \frac{n-1}{n^3} [(n-1)\mu_4 - (n-3)\sigma^4] \quad (16)$$

$$\mu_k = E[(X - E(X))^k]$$

On trouve évidemment $\mu_1 = 0$ et $\mu_2 = V(X)$.

5.3 Description unidimensionnelle de données numériques

La plupart du temps les données se présentent sous forme suivante:

On a relevé sur n unités appelées individus p variables numériques. Lorsque n et p sont grand on cherche à synthétiser cette masse d'information sous une forme exploitable et compréhensible. Une première étape consiste à décrire séparément les résultats obtenus pour chaque variable: c'est la description unidimensionnelle, phase indispensable, mais insuffisante, dans toute étude statistique.

On considérera donc ici qu'on ne s'intéresse qu'à une variable X , appelée caractère, dont on possède n valeurs x_1, x_2, \dots, x_n . La synthèse de ces données se fait sous forme de **tableaux**, de **graphiques** et de **résumés numériques**. c'est ce que l'on appelle couramment **la statistique descriptive** [18], [14].

5.3.1 Les tableaux statistiques :

Leur présentation diffère légèrement selon la nature des variables .

a. Variable discrète :

Pour chaque valeur x_i de la variable on note n_i le nombre d'occurrences (ou effectif) de x_i dans l'échantillon, $\sum n_i = n$, et f_i la fréquence correspondante où $f_i = n_i/n$ (on utilise en fait le plus souvent le pourcentage $100f_i$) .

Le tableau statistique se présente en générale sous la forme suivante :

x_i	n_i	f_i
-------	-------	-------

b. Variable continue ou assimilée :

On regroupe les valeurs en k classes d'extrémités e_0 et e_k , l'on note pour chaque classe $[e_{i-1}, e_i [$ l'effectif n_i et la fréquence f_i ainsi que les fréquences cumulées

$$F_i = \sum_{j=1}^i f_j \text{ proportion des individus pour lesquels } X \text{ est inférieur à } e_i .$$

Le tableau statistique se présente en général comme suit :

e_{i-1}	n	F_{i-1}	
e_i		F_i	

Par convention la borne supérieure d'une classe est toujours exclue de cette classe . Telle que les amplitudes des classes seront : $a_i = e_i - e_{i-1}$.

5.3.2 Représentations graphiques

a. Variable discrète : *Le diagramme en bâtons*

on porte en ordonnée f_i en fonction de x_i . Le fait de porter f_i ou n_i n'est qu'une question d'échelle, mais a son intérêt lorsqu'on veut comparer plusieurs distributions d'effectifs total différents .

b. Variable continue répartie en classe : *L'histogramme et les estimations en densité .*

L'histogramme est analogue à la courbe de densité : ici le rectangle construit sur chaque classe a une surface égale à la fréquence de la classe . Dans le cas de classes d'égales amplitudes on porte directement en ordonnée f_i à l'échelle près sinon f_i/a_i .

La détermination du nombre de classe d'un histogramme est délicate et on ne dispose pas de règle absolue . Un trop faible nombre de classes fait perdre de d'information et aboutit à gommer les différences pouvant exister entre les groupes de l'ensemble étudié . En revanche un trop grand nombre de classes aboutit à des graphiques incohérents : certaines classes deviennent vides ou presque, car n est fini .

On utilise généralement l'équation empirique de Sturge: $k = 1 + \frac{10}{3} \text{LOG}_{10} n$ (17).

On peut d'ailleurs critiquer le fait de présenter par une fonction en escalier la distribution d'une variable continue : l'histogramme est une approximation assez pauvre d'une fonction de densité et il sera plus logique de chercher une fonction plus régulière .

La théorie de l'estimation de densité permet de proposer des solutions à ce problème . Ce qui suit n'est qu'un exposé rudimentaire de la **méthode de noyau** .

Considérons tout d'abords le cas d'histogramme à classes d'égales amplitudes h . L'histogramme aboutit à estimer la densité de probabilité de X au point x par n_i/nh si x appartient à la i ème classe de l'histogramme . La densité est donc la même quelque soit la position de x entre les extrémités de cette classe .

5.3.3 Résumes numériques

Il est indispensable en général de résumer une série d'observations par des indicateurs typiques dont le plus connu est la moyenne arithmétique. Il est cependant toujours insuffisant de résumer une série par un seul indicateur.

5.3.3.1 Caractéristique de tendance centrale :

a - Le mode : La valeur la plus fréquente pour une distribution discrète; classe correspondant au pic de l'histogramme pour une variable continue.

b - La médiane M : Valeur de la variable tel que $F(M) = \frac{1}{2}$ du fait de la discontinuité des distributions empiriques on détermine M par l'interpolation linéaire :

$$M = e_{i-1} + a_i \frac{0.5 - F_{i-1}}{f_i} \quad (18)$$

c - Les moyennes d'ordre r :

$$\bar{M} = \left(\sum_{i=1}^n f_i x_i^r \right)^{\frac{1}{r}} \quad (19)$$

On constate la moyenne arithmétique pour $r = 1$: $\bar{X} = \sum_{i=1}^n f_i x_i$ (20)

5.3.3.2 Caractéristique de dispersion :

a - L'étendue : $W = X_{\max} - X_{\min}$. (21)

b - Variance et écart type :

$$S^2 = \sum_{i=1}^n f_i (X_i - \bar{X})^2 \quad (22)$$

c - Les moments d'ordre supérieur :

$$m_r = \sum_{i=1}^n f_i (X_i - \bar{X})^r \quad (23)$$

5.5.3 Carctéristiques de formes :

Elles sont utiles notamment pour vérifier rapidement le comportement normale d'une distribution (on sait que le coefficient d'aplatissement théorique de la loi normale est 3).

- Coefficient d'asymétrie : $v_1 = m_3/S^3$. (24)

-Coefficient d'aplatissement : $v_2 = m_4/S^4$. (25)

5.4 Caractéristiques d'un échantillon [14],[18]

(Cas d'une population de taille finie)

Soit U un ensemble, que nous appellerons population mère contenant un nombre fini N d'élément X (x_1, \dots, x_n). S'il est possible d'effectuer un recensement, les propriétés de X seront parfaitement connues. Ainsi si X est mesurable, on pourra calculer m, la valeur moyenne vraie de X et δ^2 variance vraie de X :

$$m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (26)$$

et

$$\delta^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - m)^2 \quad (27)$$

1- Moyenne empirique

La moyenne empirique de l'échantillon a pour expression :

$$\bar{x}_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (28)$$

2-Espérance Mathématique

Pour une variable discrète, on définit l'espérance E(X) par la formule :

$$E(X) = \sum_i x_i P(X = x_i) \quad (29)$$

E(X) : est la moyenne arithmétique des différentes valeurs de X pondérées par leur probabilité.

Pour une variable continue admettant une densité, E(X) est la valeur, si l'intégrale converge de $\int_R xf(x)dx$.

3- la Variance

On appelle variance de X, noté V(X) ou σ^2 la quantité définie par :

$$\sigma^2 = E[(X-m)^2] = \int_R (x-m)^2 dP_x(x) \quad (30)$$

Où $m = E(X)$.

σ : s'appelle l'écart-type de X.

La variance est donc le moment centré d'ordre 2 de la distribution et est une mesure de la dispersion de X autour de m.

4- la Covariance et le coefficient de corrélation linéaire

La covariance est une forme bilinéaire symétrique sur l'ensemble des variables aléatoires, en effet:

$$\begin{aligned} \text{Cov}(X, Y) &= \text{Cov}(Y, X) \\ \text{Cov}(X, Y) &= E(X \cdot Y) - E(X) \cdot E(Y) \quad (31.a) \end{aligned}$$

Dans l'indépendance, la covariance est nulle, mais la réciproque est fautive.

On définit la mesure suivante de la dépendance entre X et Y.

$$\rho = \frac{\text{Cov}(X, Y)}{\sigma_x \cdot \sigma_y} \quad (31.b)$$

ρ : Coefficient de la corrélation linéaire.

On voit que si X et Y sont indépendants $\rho = 0$.

5.5 Estimation: [16],[18]

1. Généralités

Le problème général de l'estimation est le suivant:

soit une variable X dont la densité $f(x, \theta)$ dépend d'un paramètre inconnu: comment trouver la **meilleure** valeur de θ à partir d'un échantillon de réalisation de X: $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$?

Autrement dit, il s'agit de trouver une application (ou statistique) T fonction des variables aléatoires $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ à des valeurs possibles de θ , satisfaisant à des critères aussi naturels que possible. T sera appelée un estimateur de θ et la valeur prise par T sera notée $\hat{\theta}$ est appelée estimateur de θ .

Qu'est ce qu'un bon estimateur?

Un estimateur doit être à la fois précis et convergent:

Un estimateur T est précis si les réalisations de T ne s'écartent pas trop du paramètre à estimer θ ; on exigera donc que $E[(T-\theta)^2]$ soit minimale.

- un estimateur T est convergent si, lorsque le nombre n des observations augmente, T converge vers θ .

5.5.2 Estimation ponctuelle.

m : soit X une variable aléatoire d'espérance m inconnue.

\bar{X} est un estimateur correct de m , car $E(\bar{X}) = m$ (on dit que \bar{X} est sans biais), et

$V(X) = \sigma^2 / m \rightarrow 0$ \bar{X} est convergent.

σ^2 : cependant si on veut estimer σ^2 on sait que s^2 n'est pas un estimateur sans-biais de σ^2 car $E(s^2) = (n-1) \sigma^2 / n$ ($E(s^2) \neq \sigma^2$).

La théorie d'estimation propose de chercher les estimateurs de variance minimale d'un paramètre σ .

5.5.3 L'estimation par intervalles [les fourchettes d'une estimation]:

Il est souvent plus réaliste et plus intéressant de fournir un renseignement du type $a < \theta < b$ plutôt que d'écrire sèchement $\bar{\theta} = c$

fournir un tel intervalle $[a, b]$ s'appelle une estimation par intervalle de θ ou estimation ensembliste.

La méthode des intervalles de confiance est la suivante:

soit T un estimateur de θ , on prendra évidemment le meilleur estimateur possible, dont on connaît la loi de probabilité pour chaque valeur de θ .

Etant donné une valeur de θ_0 de θ , on peut déterminer un intervalle de probabilité de niveau de $1-\alpha$ pour T , c'est-à-dire deux bornes t_1 et t_2 telles que:

$$p(t_1 < T < t_2 / \theta = \theta_0) = 1-\alpha.$$

ces bornes dépendent évidemment de θ_0 .

on adopte la règle de décision suivante: soit T la valeur observée de θ :

si $t \in [t_1, t_2]$ on conserve θ_0 .

si $t \notin [t_1, t_2]$ on élimine θ_0 .

Intervalles de confiance classiques:

• **Estimation de la moyenne d'une variable de Laplace-Gauss:**

si σ est connu : nous avons : \bar{X} est le meilleur estimateur de m et X suit la loi $N(m, \sigma / \sqrt{n})$; intervalle de confiance à $1-\alpha$ est :

$$\bar{X} - u_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < m < \bar{X} + u_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (32)$$

- si σ est inconnu : on utilise le fait que $T = \frac{\bar{X} - m}{s} \sqrt{n-1}$ suit la loi de Student a(n-1)

degrés de liberté; l'intervalle de confiance à $1-\alpha$ sera:

$$\bar{X} - t_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n-1}} < m < \bar{X} + u_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (33)$$

• **Estimation de σ^2 d'une variable de Laplace-Gauss:**

- Si m est connu: on a:

$$T = \frac{1}{n} \sum (X_i - m)^2 \quad (34)$$

est le meilleur estimateur de σ^2 . Soit k_1 et k_2 les bornes de l'intervalle de probabilité;

l'intervalle de confiance sera de la forme $\frac{nl}{\sigma^2}$, car suit la loi χ_n^2

- Si m est inconnu, on utilise :

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum (X - \bar{X})^2 \quad (35) \text{ et on a: } \frac{nS^2}{\sigma^2} \text{ suit } \chi_{n-1}^2.$$

Soit l_1 et l_2 les bornes de l'intervalle de probabilité. On a alors:

$$\frac{nS^2}{l_2} < \sigma^2 < \frac{nS^2}{l_1} \quad (36)$$

On note que ces formules sont variables seulement pour x suivant la loi normale.

5.6 LES TESTS STATISTIQUES:

5.6.1 Généralités

Un test est un mécanisme qui permet de trancher entre deux hypothèses au vu des résultats d'un échantillon.

Soient H_0 et H_1 les deux hypothèses, dont une et une seule est vraie. La décision aboutira à choisir H_0 ou H_1 . Il y a donc 4 cas possibles présentés dans le tableau ci-dessous avec les probabilités correspondantes.

		vérités	
		H_0	H_1
décision	H_0	$1-\alpha$	β
	H_1	α	$1-\alpha$

a) Risque et probabilité d'erreurs:

α et β sont les probabilités d'erreurs de la première et deuxième espèce.

- α probabilité de choisir H_1 alors que H_0 est vrai.
- β probabilité de conserver H_0 alors que H_1 est vrai.

Les erreurs correspondent à des risques différents, en pratique. Les tests statistiques Il est de règle de fixer α comme donnée (les valeurs courantes sont 0.01, 0.05 et 0.1). De préférence en fonction du risque de première espèce couru, ce qui fait jouer H_0 un rôle prééminent. α étant fixé; il importe de choisir une variable de décision: variable qui doit apporter le maximum d'informations sur le problème posé et dont la loi sera différente selon que H_0 ou H_1 est vrai. La région critique W est déterminée par la nature de H_1 , sa détermination exacte se fait en écrivant que: $P(W/H_0)=\alpha$

La région d'acceptation est son complémentaire \bar{w} et l'on a donc

$$P(W/H_0)=1-\alpha$$

La construction d'un test n'est rien d'autre que la détermination de la région critique, cette détermination se faisant sans connaître le résultat de l'expérience.

5.6.2 Les catégories des tests:

On peut classer les tests selon leurs objets (ajustement, indépendance, comparaison, ...) ainsi qu'il est fait dans la suite, ou selon leurs propriétés mathématiques: on parle des tests paramétriques ou non. Un test est dit paramétrique si son objet est de tester certaines hypothèses relatives à un ou plusieurs paramètres d'une variable aléatoire de loi spécifiée ou non. Dans la plupart des cas, ces tests sont basés sur la considération de la loi normale.

a) Test D'ajustement:

Ces tests ont pour but de vérifier qu'un échantillon provient ou non d'une variable aléatoire de distribution connue $F_0(x)$.

Soit $F(x)$ la fonction de répartition de la variable échantillonnée, il s'agit donc de tester

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0: F(x) = F_0(x) \\ H_1: F(x) \neq F_0(x) \end{array} \right.$$

Nous présentons ici les deux tests les plus classiques: celui de χ^2 et celui de Kolmogorov-Smirnov [18], ([14].

1. Test de χ^2

Soit une variable aléatoire x discrète ou descrétisée, c'est-à-dire divisée en k classes de probabilité $P_1, P_2, P_3, \dots, P_k$. Soit un n -échantillon de cette variable fournissant les effectifs aléatoires N_1, N_2, \dots, N_k dans chacune de ces classes on a évidemment $E(N_i) = n \cdot P_i$.

Considérons alors la statistique D^2 définie comme suit:

$$D^2 = \sum_{i=1}^k \frac{N_i - n P_i}{n P_i}^2$$

Il est clair que cette statistique D^2 est une mesure de l'écart aléatoire entre les effectifs réalisés et les effectifs espérés. D^2 dépend du nombre de termes de la somme k , mais on remarque que tous ces termes ne sont pas indépendants puisque la $\sum N_i = n$; il suffit d'en connaître en fait $k-1$, nombre de degrés de liberté de D^2 .

2. Test de Kolmogorov-Smirnov

Il s'agit d'un test non paramétrique d'ajustement à une distribution entièrement spécifiée de fonction de répartition $F(X)$. Si F_n représente la fonction de répartition empirique d'un échantillon d'une variable aléatoire d'une distribution $F(X)$, on sait que $D_n = \text{Sup}[F_n(X) - F(X)]$ est asymptotiquement distribuée comme suit:

$$P(\sqrt{n} \cdot D_n < Y) \rightarrow \sum (-1)^k \cdot \exp(-2 \cdot K^2 \cdot Y^2).$$

L'avantage de ce test est qu'il utilise la réalisation de l'échantillon telle qu'elle se présente; le test de χ^2 au contraire appauvrit de l'information apporté par cette réalisation en la classant par interval et ne se servant plus de la valeur individuelle de chaque observation, mais uniquement de sa propriété d'appartenir à un interval

b) Tests d'indépendance:

Il est indispensable d'effectuer un test d'indépendance, qu'il permet de décider quel test de comparaison est valable pour l'étude; En effet, il s'agit de savoir si les deux variables X, Y (qui représente dans notre étude les valeurs de densité et de la TVR à l'expédition et à la réception) sont indépendantes ou non.

Le problème générale est de savoir si la fonction de distribution du couple (X, Y) soit égale au produit de deux fonctions de distribution X, Y .

Le test repose sur r coefficient de corrélation linéaire:

$$r = \frac{\text{Cov}(X, Y)}{S_x \cdot S_y} \quad (38)$$

La condition nécessaire et suffisante d'indépendance est que: $\rho = 0$, d'où l'idée du test de calcul r , et l'on compare à 0. Si $|r|$ est trop grand, on rejette l'hypothèse d'indépendance.

c) Tests de comparaison d'échantillons:

Il est fréquent d'avoir à comparer entre elle de populations différentes. Nous avons supposé que l'en désire comparer une même variable X , normale, en termes d'espérance et de variance sur deux échantillons identiques.

	échantillon I	échantillon II
loi	$N(m_1, \sigma_1)$	$N(m_2, \sigma_2)$
taille de l'échantillon	n_1	n_2
moyenne empirique	\overline{X}_1	\overline{X}_2
variance empirique	S_1^2	S_2^2

2. Tests de Fisher-Snedecor et Student pour échantillons indépendants:

Mathématiquement, le problème se formalise de la manière suivante: On observe sur le premier échantillon les réalisations d'une variable aléatoire X_1 de fonction de répartition $F_1(x)$ et sur le deuxième échantillon les réalisations d'une variable aléatoire X_2 de fonction de répartition $F_2(x)$; veut tester:

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0: F_1(x) = F_2(x) \\ \\ H_1: F_1(x) \neq F_2(x) \end{array} \right.$$

Le choix de H_0 est dicté par des considérations pratiques car $F_1(x) \neq F_2(x)$ est trop vague pour obtenir une région critique.

Dans la pratique, on se contentera de vérifier l'égalité des espérances et des variances de X_1 et X_2 en disposant de \overline{X}_1 et \overline{X}_2 et S_1^2 et S_2^2 moyennes et variances empiriques des deux échantillons.

Cas de deux échantillons gaussiens:

$$X_1 \in N(m_1, \sigma_1) \text{ et } X_2 \in N(m_2, \sigma_2).$$

Les hypothèses deviennent alors: $H_0: m_1=m_2$ et $\sigma_1=\sigma_2$ contre $H_1: m_1 \neq m_2$ et $\sigma_1 \neq \sigma_2$.

Le test va consister à tester d'abord les variances et si elles ne sont pas significativement différentes à tester, en suite, les espérances en admettant que $\sigma_1=\sigma_2$.

a) Test des variances de Fisher-Snedecor:

En appliquant les résultats de la théorie de l'échantillonnage:

$$\frac{n_1 S_1^2}{\sigma_1^2} \in \chi^2_{n_1-1} \quad \frac{n_2 S_2^2}{\sigma_2^2} \in \chi^2_{n_2-1}$$

dont l'hypothèse $H_0: \sigma_1=\sigma_2$ et l'on a:

$$F_{n_1-1, n_2-1} = \frac{\frac{n_1 S_1^2}{n_1-1}}{\frac{n_2 S_2^2}{n_2-1}} \quad (39)$$

On peut interpréter F comme le rapport de deux estimateurs σ_1^2 et σ_2^2 respectivement. Si $\sigma_1=\sigma_2$, ce rapport ne doit pas différer significativement de 1. F sera la variable de décision. En pratique, on met toujours la plus grande valeur au numérateur de deux quantités:

$$\frac{n_1 S_1^2}{n_1-1} \text{ et } \frac{n_2 S_2^2}{n_2-1}$$

et la région critique est de la forme $f > k$ et $k > 1$.

\Rightarrow Maintenant, si les deux échantillons ont la même taille $n_1=n_2=n$, le calcul se simplifie et:

$$F_{n-1, n-1} = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad (40)$$

Si ce test aboutit à la conclusion $\sigma_1=\sigma_2$, on passe au test des espérances.

b) Test des espérances de student:

Supposons désormais $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$ inconnu. On a:

$$\left\{ \begin{array}{l} \left\{ \begin{array}{l} \frac{n_1 S_1^2}{\sigma^2} \in \chi_{n_1-1}^2 \\ \overline{X}_1 \in N(m_1, \frac{\sigma}{\sqrt{n_1}}) \end{array} \right. \dots \text{et} \dots \left\{ \begin{array}{l} \frac{n_2 S_2^2}{\sigma^2} \in \chi_{n_2-1}^2 \\ \overline{X}_2 \in N(m_2, \frac{\sigma}{\sqrt{n_2}}) \end{array} \right. \\ \\ \text{d'ou: } \frac{n_1 S_1^2}{\sigma^2} \in \chi_{n_1+n_2-2}^2 \\ \\ \text{et: } \overline{X}_1 - \overline{X}_2 \in N(m_1 - m_2, \sigma \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}) \end{array} \right.$$

$$\text{d'où la variable de Student par définition: } T_{n_1+n_2-2} = \frac{\overline{X}_1 - \overline{X}_2 - (m_1 - m_2)}{\sigma \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} = \frac{\overline{X}_1 - \overline{X}_2 - (m_1 - m_2)}{\sqrt{\frac{n_1 S_1^2 + n_2 S_2^2}{\sigma^2 (n_1 + n_2 - 2)}}} \quad (40)$$

Ce qui se simplifie en éliminant σ :

$$T_{n_1+n_2-2} = \frac{(\overline{X}_1 - \overline{X}_2) - (m_1 - m_2)}{\sqrt{(n_1 S_1^2 + n_2 S_2^2) \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}} \sqrt{n_1 + n_2 - 2}. \quad (41)$$

Dans l'hypothèse $H_0: m_1 = m_2$ et la région critique est de la forme $|T| > k$.

d) Test de comparaison de moyennes échantillons appariés:

Un même échantillon d'individu est soumis à deux mesures successives d'une même variable (ce qui est le cas pour notre étude).

On veut tester l'hypothèse que les deux séries de valeurs sont semblables. Soit X_1 la variable correspondante à la première série et X_2 l'autre. En fait, On se contente de tester l'hypothèse $E(X_1) = E(X_2)$ en faisant le modèle suivant:

$$X_1 - X_2 \in N(m_1 - m_2, \sigma) \text{ écarts aléatoires.}$$

Ce qui sous-entend que X_1 et X_2 sont séparément gaussiens. et :

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0: m_1 = m_2 \\ \\ H_1: m_1 \neq m_2 \end{array} \right.$$

Le test consiste à former les différences $X_{i1} - X_{i2} = d_i$ et à faire un test de Student sur la moyenne des d_i car ' σ ' est en général connu:

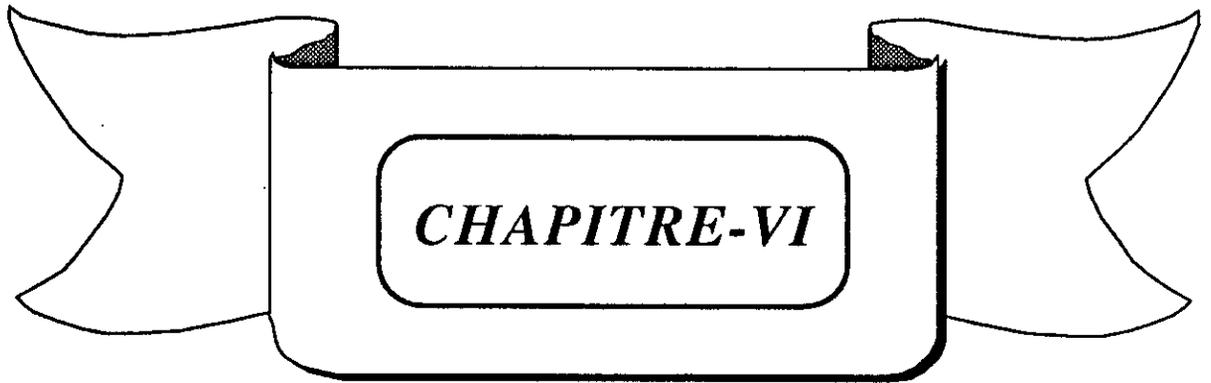
$$t_{n-1} = \frac{\bar{d}}{S_d} \sqrt{n-1} = \frac{\overline{X_1} - \overline{X_2}}{S_d} \sqrt{n-1}.$$

ou

$$S_d = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (d_i - \bar{d})^2} \quad (42), (43)$$

on rejettera que $H_0 =$ si $|T| > k$.

on note que: la différence avec le test de Student d'égalité de deux moyennes étudiés au paravent provient du fait que les variables x_1 , x_2 ne peuvent ici être supposées indépendantes.



***ANALYSE DES DONNEES
RECUEILLIES***

VI. Analyse des données recueillies

Rappelons que le degré de contamination au niveau de Bejaïa correspond à une lecture comprise entre 2.5 et 3.0 selon ASTM D 1500. La question est: Est ce que cette coloration observée du condensat est un indice de contamination, autrement dit, est ce que cette coloration suffit à elle seule de dire que le condensat réceptionné est contaminé, c-à-d, point de vue propriétés. Seule l'étude statistique, nous permet d'avoir la réponse d'une façon exacte

Pour les besoins de cette étude et en vue de concrétiser la présente enquête sur les origines probables de la contamination, nous avons eu recours aux données journalières de la densité, de la TVR et de la couleur du condensat expédié du H.E.H et recueillies par le laboratoire de Béjaïa au cours des années 93 et 94. Aussi, le condensat expédié du H.E.H est considéré à la limite du pur. L'objectif de cette enquête vise l'étude des données obtenues par:

- l'analyse graphique temporelle de la densité et de la TVR par rapports aux temps d'exploitations
- l'adaptation de la loi normale aux échantillons expédié et réceptionné et leurs comparaisons.

6.1-Analyse temporelle

L'objet de l'analyse temporelle vise à nous rendre compte du problème des écarts par le graphique des propriétés de la densité et de la TVR par rapport aux temps d'exploitation.

6.1.1-Données de densité et TVR obtenues durant l'année 93:

Les données moyennes mensuelles sont regroupées dans le tableaux suivants.

Tableau 6.1: Densité moyenne mensuelle obtenue durant l'année 93

mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui
densité à l'expédition	0.7230	0.7231	0.7232	0.7235	0.7228	0.7236
densité à la réception	0.7213	0.7215	0.7217	0.7217	0.7216	0.7220
mois	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
densité à l'expédition	0.7245	0.7232	0.7235	0.7229	0.7232	0.7227
densité à la réception	0.7230	0.7225	0.7218	0.719	0.7215	0.7215

Le graphe ci dessous represente l'evolution de la densité du condensaten fonction du temps.

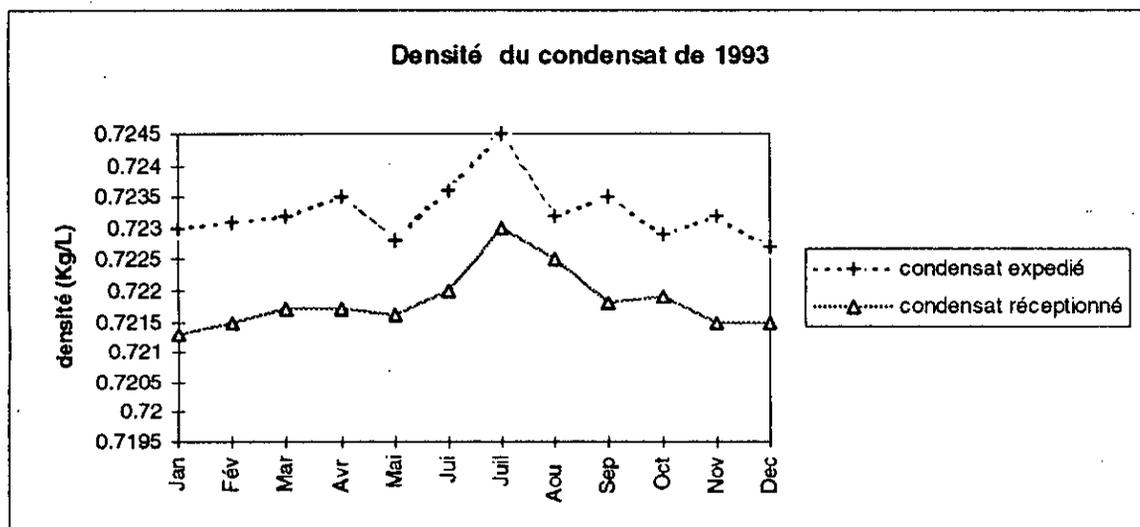
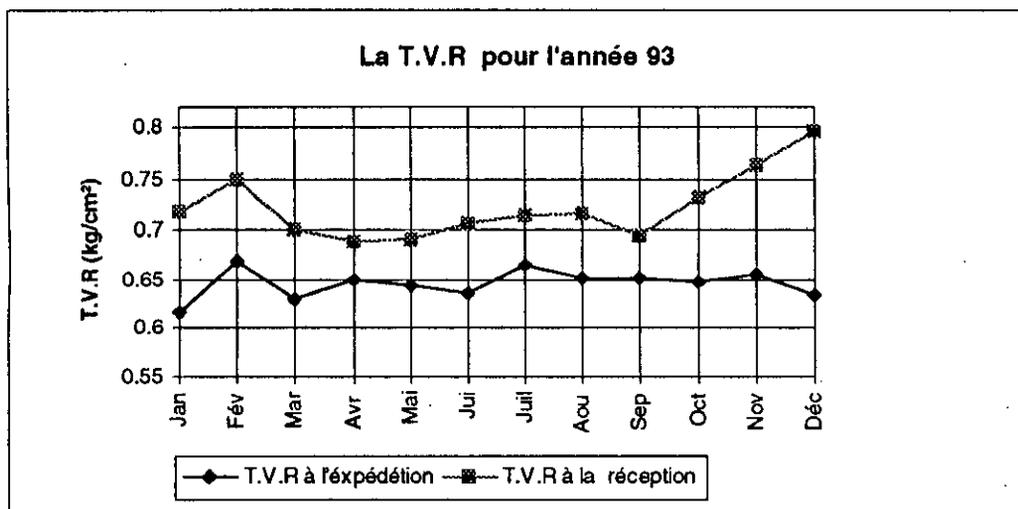


tableau 6.2 :TVR pour l'année 93:

mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui
T.V.R à l'expédition	0.617	0.670	0.630	0.650	0.643	0.636
T.V.R à la réception	0.719	0.750	0.701	0.688	0.690	0.706
mois	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
T.V.R à l'expédition	0.666	0.652	0.652	0.647	0.655	0.634
T.V.R à la réception	0.715	0.717	0.694	0.732	0.764	0.796

Le graphe ci-après représente l'évolution de la TVR du condensat en fonction du temps.



6.1.2-Données de densité et de TVR obtenues durant l'année94:

Tableau6.3:densité pour l'année 94

mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui
densité à l'expédition	0.7235	0.7225	0.7219	0.7234	0.7225	0.7232
densité à la réception	0.7225	0.7212	0.7205	0.7220	0.7216	0.7210
mois	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
densité à l'expédition	0.7228	0.7225	0.7225	0.7228	0.7223	0.7220
densité à la réception	0.7213	0.7219	0.7212	0.7211	0.7206	0.7208

Le graphe ci-dessous représente l'évolution de la densité en fonction du temps.

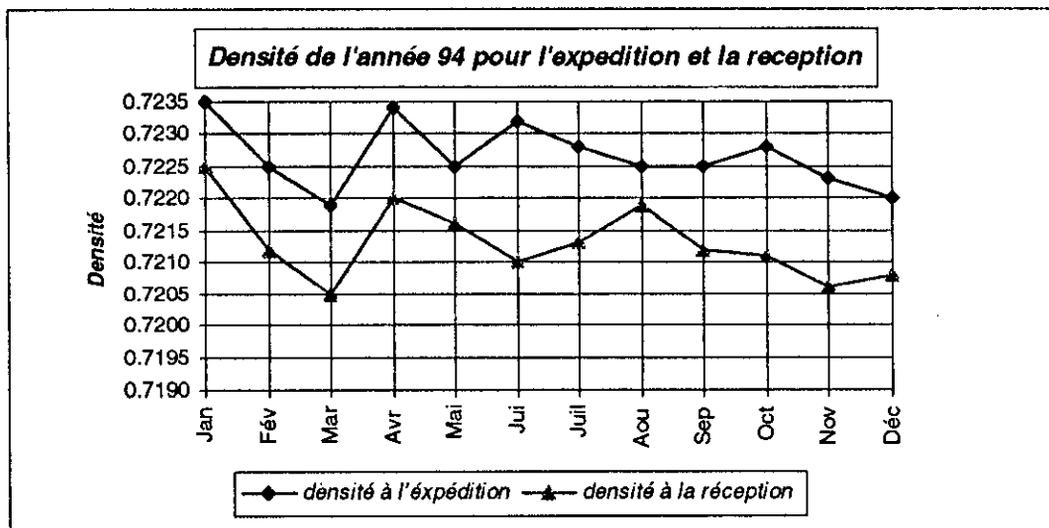
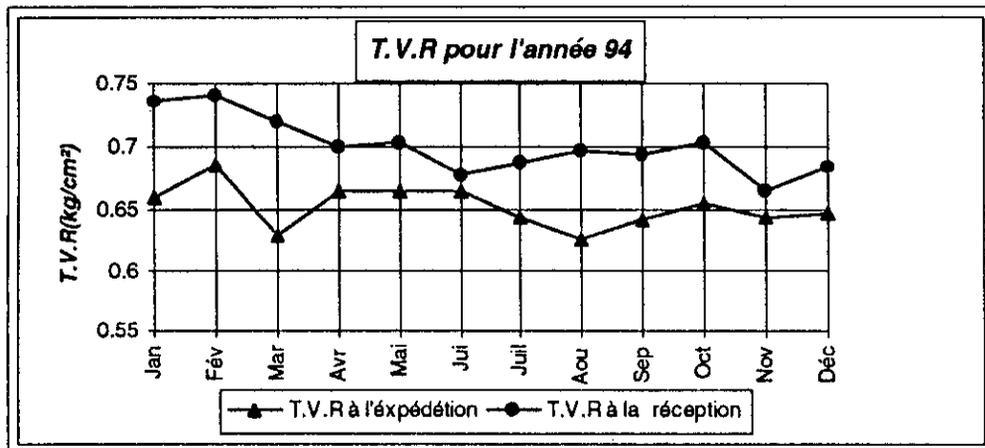


Tableau 6.4: TVR pour l'année 94

mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui
T.V.R à l'expédition	0.660	0.685	0.629	0.665	0.665	0.665
T.V.R à la réception	0.735	0.740	0.720	0.700	0.703	0.677
mois	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
T.V.R à l'expédition	0.643	0.626	0.640	0.655	0.643	0.647
T.V.R à la réception	0.687	0.696	0.693	0.703	0.665	0.684

-Le graphe ci-dessous représente l'évolution de la TVR en fonction du temps.



6.1.3 Interprétation des résultats

Les graphes montrent que les deux propriétés étudiées (la densité et la T.V.R) à l'expédition sont presque les mêmes qu'à la réception avec une légère différence qui est due éventuellement à une contamination au cours de transit. Si l'on ne considère pas le troisième chiffre significatif la courbe qui représente la propriétés à l'expédition en fonction du temps se confond parfaitement avec celle qui la représente à la réception. Remarquons à part quelques valeurs observées des pics où des points qui seront considérés comme des valeurs aberrantes dûent à des causes externes qui dépassent les normes exigées et cela est dû au programme d'exploitation du pipe-line et celui de la demande au sein du port de Béjaïa il se trouve qu'il faut pour les éliminer (apurement), car après , dans le calcul statistique on sera sûr d'avoir traité l'échantion représentatif de la population mère.

6.2-Analyse statistique des échantillons étudiés

6.2.1 Sélection des échantillons étudiés

Le tableau ci-après contient les propriétés de l'échantillon sélectionné parmi une population de deux années de façon à avoir le même condensé de l'expédition au terminal arrivée:

Tableau6.5:contenant l'échantillon sélectionné de la densité et la T.V.R à la réception et à l'expédition

Les propriétés	Densité à 15°C (Kg/L)		T.V.R à 38.7°C (Kg/cm ²)	
Norme ASTM Norme IFP	D 1298 160		D 223 69	
Norme contractuelle	0.7181 min 0.7329 max		0.750 max	
	à l'expédition	à la réception	à l'expédition	à la réception
1	0.7242	0.7212	0.6600	0.740
2	0.7235	0.7205	0.6500	0.720
3	0.7234	0.7211	0.7000	0.680
4	0.7232	0.7217	0.6920	0.790
5	0.7242	0.7213	0.631	0.780
6	0.7240	0.7206	0.526	0.740
7	0.7231	0.7207	0.5260	0.730
8	0.7240	0.7202	0.5370	0.650
9	0.7238	0.7211	0.712	0.730
10	0.7226	0.7213	0.6712	0.730
11	0.7229	0.7206	0.6180	0.690
12	0.7236	0.7206	0.5910	0.760
13	0.7236	0.7207	0.6130	0.700
14	0.7238	0.7204	0.5920	0.720
15	0.7235	0.7222	0.6160	0.680
16	0.7231	0.7207	0.7450	0.720
17	0.7242	0.7209	0.6110	0.690
18	0.7226	0.7207	0.6760	0.670
19	0.7235	0.7201	0.6110	0.660
20	0.7230	0.7197	0.6720	0.740
21	0.7239	0.7198	0.6110	0.810
22	0.7245	0.7205	0.6310	0.650
23	0.7229	0.7205	0.7190	0.740
24	0.7225	0.7208	0.6670	0.710
25	0.7240	0.7207	0.6670	0.720
26	0.7232	0.7209	0.7260	0.660
27	0.7223	0.7212	0.6560	0.750
28	0.7227	0.7210	0.6540	0.700
29	0.7247	0.7209	0.6810	0.780
30	0.7235	0.7212	0.6890	0.810

6.2.2- Résultats et conclusions de l'étude statistique des échantillons étudiés

1-Etude de la densité du Condensât à l'expédition et à la réception:

Les résultats de l'étude statistique des échantillons sont regroupés dans le tableau 6.6 suivi de l'histogramme des données de densité au terminal de départ et à l'arrivée ajustées à la loi normale.

Les caractéristiques de l'échantillon	Les résultats à l'expédition	Les résultats à la réception
Taille de l'échantillon	30	30
Valeur mini. observée	0.7220	0.71970
Valeur maxi. observée	0.7247	0.7222
Moyenne empirique	0.72317	0.72070
Médiane	0.72210	0.72070
Variance	$5.503 \cdot 10^{-7}$	$2.6903 \cdot 10^{-7}$
Coef.d'aplatissement	2.1233	3.5474
Coef. d'asymétrie	0.13797	0.2972

Tableau6.6: Densités du condensât expédié et réceptionné.

Le tableau 6.6 montre que sur un échantillon de 30 individus à l'expédition et à la réception, les valeurs minimale et maximale observées sont voisines. De même que la moyenne empirique et la médiane sont des valeurs comparativement voisines. On remarque, que le carré des écarts moyens exprimé par la variance varie doublement à l'expédition par rapport à la réception. Aussi, les valeurs des coefficients d'aplatissement et d'asymétrie semblent indiquer que le comportement de la distribution des individus constituants de l'échantillon suit la loi normale.

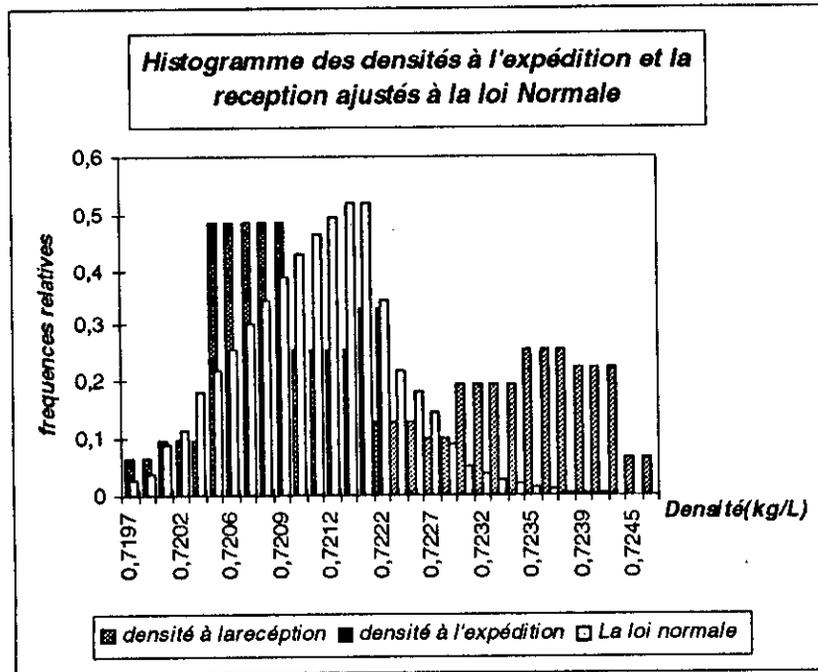


Figure 7 : Histogramme des données de densité au terminal de départ et à l'arrivée ajustés à la loi normale

De l'histogramme des données de densité à la réception apparaît que le comportement de la distribution des individus constituant de l'échantillon suit la loi normale ce qui conforte cette hypothèse déjà observée dans le tableau 6.6. Cependant, les écarts observés par rapport à la loi normale semblent être liés au phénomène de la contamination. Aussi, on relève dans les données de densité à l'expédition dans les intervalles 0,7236 à 0,7240 une concentration des individus indiquant ainsi une représentativité des résultats obtenus. Il faut noter la faible fréquence des écarts observés dans les données de densité à l'expédition par rapport à celles de la réception.

Tableau 6.7: Paramètres ajustés à la loi Normale

	A l'expédition	A la réception
Moyenne (m_1)	0.72317	0.7208
Ecart-type (σ_1)	7.41810^{-4}	5.186710^{-4}

Pour estimer les paramètres de la loi Normale ajustée à notre échantillon, nous avons eu recours aux paramètres de l'échantillon sélectionné. En effet, nous ignorons les paramètres de la population mère. Aussi, l'intervalle de confiance de la moyenne sera calculé à partir de l'équation suivante pour justifier ce choix.

En appliquant cette equation (33), on trouve que l'intervalle de confiance pour la moyenne à l'expédition et à la reception est le suivant:

$$0,7179 < m_{\text{exp}} < 0,7236$$

$$0,7204 < m_{\text{réc}} < 0,7260$$

Il en est de même pour l'écart-type, l'intervalle de confiance sera calculé à partir de l'equation (36) :

$$0,522 \cdot 10^{-3} < \sigma_{\text{exp}} < 1,267 \cdot 10^{-3}$$

$$0,435 \cdot 10^{-3} < \sigma_{\text{rec}} < 0,675 \cdot 10^{-3}$$

Il ressort de ces calculs une interférence des intervalles de confiance de l'expédition et de la reception , ce qui peut signifier qu' il y a une probabilité de retrouver les mêmes paramètres de l'échantillon à l'expédition et à la reception.

Par ailleurs, nous avons appliqué le test d'ajustement *Komologov-Smirnov* pour s'assurer si notre échantillon est ajustable à la loi Normale. Le principe consiste à considérer l'écart le plus élevé des différences entre la courbe de densité de l'échantillon et celle de la loi Normale en vue de le comparer avec les valeurs obtenues à l'aide du test *Komolgrov-Smirnov* regroupées dans le tableau 6.8 .

Tableau 6.8 : Les valeurs critiques obtenues à l'aide du test *Komolgrov-Smirnov*

nombre d'observations	0,15	0,10	0,05	0,02	0,01
30	0,75	0,79	0,87	0,96	1,00
	50	79	19	93	83

Tableau 6.9 : Le test modifié de l'échantillon à l'expédition et à la réception

	A l'expédition	A la réception
Le test statistique modifié	0,5669	0,57898

Il faut constater que les valeurs obtenues à l'aide du test ainsi modifié à notre échantillon est inférieur pour un seuil de probabilité de 5% par rapport celles indiqués sur la table de Komologov-Smirnov. On peut donc conclure que notre modèle semble acceptable pour l'échantillon sélectionné et s'ajuste à la loi Normale.

2-Etude de la TVR du Condensât à l'expédition et à la réception

L'étude de la TVR du Condensât à l'expédition et à la réception concernera les mêmes paramètres que celle de la densité effectuée précédemment suivie par une représentation graphique des histogrammes des valeurs à l'expédition et à la réception, ainsi que la loi Normale appliquée à cet échantillon. Les résultats obtenus sont exprimés dans le tableau 6.10 et la figure 8.

Tableau 6.10: la T.V.R du condensât réceptionné et expédié:

Les caractéristiques de l'échantillon	Les résultats à l'expédition	Les résultats à la réception
Taille de l'échantillon	30	30
Valeur mini. observée	0,526	0,71970
Valeur maxi. observée	0,745	0,7222
Moyenne empirique	0,6457	0,72070
Médiane	0,655	0,72070
Variance	$3,281 \cdot 10^{-3}$	$2,6903 \cdot 10^{-3}$
Coef. d'aplatissement	2,5892	3,5474
Coef. d'asymétrie	-0,429 ($\cong 0$)	0,2972

Il en résulte de ces valeurs à l'expédition des différences par rapport à ceux de la réception, comme le mentionne le tableau 6.10. Ce résultat est dû probablement à la contamination du condensât. Aussi la TVR semble plus affectée que la densité précédemment examiné. Il faut signaler que la TVR a pour objet la mesure de la volatilité du produit ce qui nous permet de relever la sensibilité de cette propriété a toute modification.

Il faut signaler, que la variance à l'expédition est proche par rapport à la réception. Les valeurs des coefficients d'aplatissement et d'asymétrie fluctuent autours des valeurs caractérisant la loi Normale.

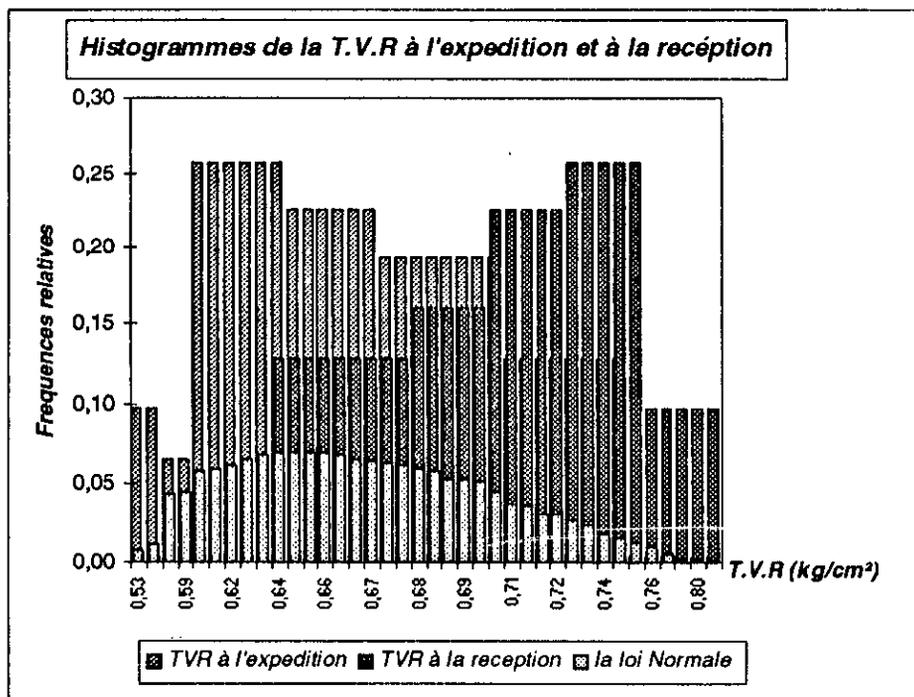


Figure 8 : Histogramme des données de TVR au terminal de départ et à l'arrivée ajustées à la loi normale

De l'histogramme des données de TVR à la réception, il apparaît une concentration dans l'intervalle 0,72 et 0.75 et un regroupement des valeurs à l'expédition dans l'intervalle 0,6 et 0,65. Ce dernier écart semble être révélateur de la contamination. Le comportement de la distribution des individus constituant de l'échantillon semble suivre la loi normale. Il faut noter l'importance des écarts observés dans les données de TVR à l'expédition par rapport à celles de la réception. Nous donnerons les paramètres estimés de la loi Normale dans le tableau 6.11 suivant:

Tableau 6.11: Paramètres estimés de la loi Normale

	A l'expédition	A la réception
Moyenne (m_1)	0.6457	0.72166
Ecart-type (σ_1)	0.05727	0.04472

De même que pour la densité, pour estimer les paramètres de la loi Normale ajustée à notre échantillon, nous avons eu recours aux paramètres de l'échantillon sélectionné, puisque nous ignorons les paramètres de la population mère. Aussi, l'intervalle de confiance sera calculé à partir de l'équation suivante pour justifier ce choix.

$$\bar{x} - 1,24 \cdot 10^{-3} < m_{\text{exp}} < \bar{x} + 1,24 \cdot 10^{-3} \quad (33)$$

$$\bar{x} - 0,75 \cdot 10^{-3} < m_{\text{rec}} < \bar{x} + 0,75 \cdot 10^{-3}$$

$$0,644 < m_{\text{exp}} < 0,647$$

$$0,721 < m_{\text{rec}} < 0,722$$

L'intervalle de confiance pour l'écart-type est donné par l'équation (36)

$$0,0315 < \sigma_{\text{exp}} < 0,0757$$

$$0,0403 < \sigma_{\text{rec}} < 0,097$$

D'après ces calculs, nous pouvons dire, que l'intervalle de variation de la moyenne de la TVR à l'expédition est différent de celui de la réception, la même remarque peut être faite pour l'écart-type.

Nous appliquons le test d'ajustement *Komologov-Smirnov* pour s'assurer si notre échantillon est ajustable à la loi Normale ou non. Le principe consiste à considérer l'écart le plus élevé des différences entre la courbe de distribution de la TVR de l'échantillon et celle de la loi Normale en vue de le comparer avec les valeurs obtenues à l'aide du test *Komolgorov-Smirnov* regroupées dans le tableau 6.12 .

Tableau 6.12: des valeurs critiques pour la statistique modifié:

nombre d'observation	0.15	0.100	0.05	0.025	0.01
30	0.755	0.7979	0.8719	0.9693	1.0083

Tableau 6.13: Le test modifié de l'échantillon de la TVR à l'expédition et à la réception

	<i>A l'expédition</i>	<i>A la réception</i>
Le test statistique modifié	0,57898	0,5894

L'utilisation du test de Kolmogorov-Smirnov nous a permis de confirmer l'ajustement de la distribution des valeurs de l'échantillon à la loi Normale qui affirme nos remarques dans le tableau 6.10, l'allure des histogrammes fig8 confirme également cette remarque.

Car on a trouvé que le test modifié de l'échantillon est inférieur à la valeur correspondante à un seuil de probabilité de 5%.

Puisque notre échantillon suit la loi normale, on passe donc au test de comparaison entre les paramètres estimés précédemment.

En vue de déterminer l'indépendance des variables X (densité ou TVR à l'expédition) et Y (densité ou TVR à la réception), il faut effectuer les tests dit d'indépendance pour permettre un choix convenable du test de comparaison. Les calculs des covariances des variables X et Y et les indices de corrélation linéaire sont réalisés respectivement à l'aide des équations (31.a) et (31.b). Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau 6.9 suivant:

Tableau 6.14: Résultats de la covariance et du coefficient de régression pour la densité

	$S_{x,y}$	S_x	S_y	$Cov(X,Y)$	r
densité	$7,66 \cdot 10^{-7}$	$6,200 \cdot 10^{-4}$	$5,10 \cdot 10^{-4}$	$-2,656 \cdot 10^{-8}$	-0,09
TVR	$6,01 \cdot 10^{-2}$	$5,62 \cdot 10^{-2}$	$4,47 \cdot 10^{-2}$	$2,85 \cdot 10^{-4}$	0,12

Le coefficient de corrélation linéaire r est comparativement supérieur à 0, en valeur absolue indiquant la dépendance des variables X et Y (remarquant que c'est une faible dépendance), ce qui nous permet d'opter pour le test de comparaison de moyennes d'échantillons appariés. Les valeurs obtenues de la variable d_i des différences de la densité, de la TVR respectivement à l'expédition et à la réception et sa variance S^2 sont regroupés dans le tableau 6.15 ci-après.

Tableau 6.15 : variable d_i des différences de la densité, de la TVR respectivement à l'expédition et à la réception et sa variance S^2

Propriétés du condensât	Densité	T.V.R
La moyenne d'expédition	$X_1 = 0,72317$	$X_1 = 0,646$
La moyenne de réception	$X_2 = 0,72078$	$X_2 = 0,722$
N° d'individus	Différences de densité	Différences de T.V.R
1	0.003	-0.08
2	0.003	-0.007
3	0.0023	+0.02
4	0.0015	-0.098
5	0.0029	-0.149
6	0.0034	-0.214
7	0.0024	-0.204
8	0.0038	-0.113
9	0.0027	-0.018
10	0.0013	-0.588
11	0.0023	-0.072
12	0.003	-0.169
13	0.0029	-0.087
14	0.0034	-0.128
15	0.0013	-0.064
16	0.0024	+0.025
17	0.0033	-0.079
18	0.0019	+0.006
19	0.0034	-0.049
20	0.0035	-0.068
21	0.0041	-0.068
22	0.004	-0.019
23	0.0024	-0.021
24	0.0017	-0.043
25	0.0033	-0.066
26	0.0023	-0.094
27	0.0011	-0.046
28	0.0018	-0.046
29	0.0016	-0.099
30	0.0013	-0.121
S_d	$8.672 \cdot 10^{-3}$	0.06084

De l'application du test de Student sur ces deux échantillons pour tester la moyenne, il en résulte pour :

- la densité où $n=30$, $S_d = 8.67 \cdot 10^{-3}$

$$t_{n-1} = 14,85 \text{ (c'est T calculé) avec } k = 1,699$$

on en déduit qu'on peut rejeter l'hypothèse d'égalité des moyennes pour cette propriété, car $t > k$.

- la TVR où $n = 30$, $S_d = 0.06084$

$$t_{n-1} = 6,69 \text{ avec } k = 1,699$$

dans ces conditions le test consistera à rejeter l'hypothèse d'égalité des moyennes, car $t > k$. C'est ce que nous avons relevé également pour les cas précédent et le test de Student.

Nous pouvons conclure une différence significative des moyennes entre les échantillons issus du terminal-départ (H.E.H) et du terminal-d'arrivée (Béjaia). Cela implique une modification des caractéristiques de la densité et de la TVR constituant ainsi une preuve de contamination.

CONCLUSION

Le phénomène du transport de deux ou plusieurs produits dans une même conduite a pour conséquence de diminuer la qualité du condensât et corrélativement de compromettre les normes de sa commercialisation .

La coloration du condensât ne suffit pas à elle seule à donner une idée exacte du phénomène qui s'est produit ou à dire que le condensât est contaminé, de ce fait on a eu recours aux méthodes statistiques pour comparer l'échantillon de l'expédition et de la réception de chaque propriété, on s'est limité à deux propriétés puisque les seules données recueillies au niveau de la direction régionale de transport de Béjaïa (RTC) sont la densité et la TVR des années 93 et 94. Notre étude a été faite sur ces deux propriétés. Dans un premier temps, une analyse temporelle a été faite pour visualiser d'une manière claire le phénomène de la contamination, nous pouvons cependant observer que le condensât conserve plus ou moins ces propriétés, mais cette observation est insuffisante, elle nous ne permet pas de quantifier la différence entre le condensât expédié et le condensât reçu du point de vue propriétés physico-chimiques. Pour cette raison nous avons fait appel aux méthodes statistiques, seul outil mathématique, afin de sortir avec une conclusion sur la confirmation ou le refus de l'hypothèse énoncée que le condensât est conforme aux spécifications ou non de point de vue des propriétés étudiées.

Nous avons montré dans le chapitre précédent que les deux distributions des échantillons sélectionnés sont ajustables à la loi normale. La taille de l'échantillon étant n'excède cependant pas 30, Dans une première étape nous avons estimé les paramètres de cette loi [la moyenne et l'écart-type], puis on a effectué les tests de comparaison entre ces deux échantillons. Nous avons trouvé une différence significative des moyennes entre les échantillons issus du terminal-départ (H.E.H) et du terminal-d'arrivée (Béjaïa). Cela implique une modification des caractéristiques de la densité et de la TVR constituant ainsi une preuve de contamination.

Le contact intime des deux produits différents (pétrole brut et condensât) est à l'origine de cette coloration ou contamination. Il faut relevé que la conduite OB1 objet de la présente contamination est exploitée (pétrole brut et condensât réunis) présentement aux environs de 76% (soit 7 à 9 MTA de pétrole brut et 4 MTA de condensât) de la capacité pour laquelle elle est conçue [23]. Il apparaît une première suggestion possible, qui consiste à spécifier exclusivement la conduite OB1 pour le condensât et la réalisation d'une autre conduite pour le transport du pétrole brut. Cette mesure vise une exploitation rationnelle et maximale de notre conduite dans le cas d'une demande importante du marché international du condensât. En effet, cette proposition permet d'augmenter les quantités de transport du condensat, actuellement de l'ordre de 4 MTA (Millions de Tonnes métriques par An) [23]. Aussi, elle peut porter l'exploitation de la conduite OB1 à ses capacités maximales qui serait de l'ordre de 17 MTA. La réalisation d'une autre conduite pour le transport exclusif du pétrole brut dans le cadre d'une étude technico-économique permettra l'exploitation des capacités demandées en pétrole brut.

L'identification et l'étude des causes et des sources de la contamination, laisse entrevoir des propositions techniques à envisager pour atténuer la contamination du condensât. Il s'agit en premier lieu de s'assurer de l'étanchéité des vannes au niveau des interconnexions des lignes entrée manifold 30'' NH2 du Terminal du départ. Aussi, il faut isoler la ligne de vidange du 30'' NH2 de celle du 14'' Rhoide El Baguel. Enfin, il est nécessaire d'éliminer le pétrole brut contenu dans le collecteur commun avant même de procéder aux transferts entre bacs de condensât.

Par ailleurs, l'augmentation de la longueur du bouchon du condensât peut constituer une autre solution possible pour parer à la contamination. En effet, la fréquence des pompages successifs dépend de la demande en pétrole brut et en condensât. Dans le cas d'une augmentation du volume du bouchon du condensât, il y a diminution du volume des interfaces (contaminats) et par voie de fait atténuation du niveau de la coloration. Il faut noter que les bouchons expédiés actuellement ne dépassent pas 32000 m³. En effet, l'augmentation du volume du bouchon à 70000 m³ en prenant en compte les valeurs d'exploitation de 4 MTA réalisées en 1995, la configuration du nombre de bouchon pour

l'exploitation du 24'' sera de 174 à des fréquences d'expédition respectives de 1.12 jours pour le pétrole brut et 0.78 jours pour le condensât[23]. Dans les conditions actuelle

d'exploitation du réseau en question, il est évident qu'un bouchon de 70000 m³ diminue la contamination du condensât de moitié. Cette atténuation de la contamination semble relever du possible par rapport aux capacités de stockage de Haoud-El-Hamra dont les objectifs d'exploitation d'un volume de condensât de 91600 m³. Néanmoins, du point de vue autonomie de la station de Béni-Mansour, un bouchon de 70000 m³ de condensât impose une capacité de stockage qui doit répondre à la situation de régime minimum soit 800 m³/h, c'est à dire une autonomie de 87.5 heures soit 3.65 jours, correspondant à un stock exploitable de 48390 m³ [23].

Enfin, une autre solution semble plus simple et économique. Elle réside dans la séparation des deux produits à expédier par une sphère qui épouse légèrement la conduite. Ainsi, il faut expédier le brut suivi de la sphère, du condensât et ainsi de suite. Tout de même ce procédé n'élimine pas complètement la contamination, mais il l'a réduit d'une manière qui semble remarquable [23].

BIBLIOGRAPHIE

- [1]- **VINCENT-GENOD**,le transport des hydrocarbures liquides et gazeux par canalisation (texte),ed TECHNIP, Paris (1966).
- [2]- **Manuel pour le transport et la distribution du gaz**,ed TECHNIP,Paris (1959).
- [3]- **R.CABET-Y.LIZORT**,Economie du transport par conduite , ed TECHNIP,Paris (1985)
- [4]-**Problèmes généraux de la distribution des produits petroliers**, ed TECHNIP,Paris(1969).
- [5] **SZILAS**,Production and transport of oil and gas,ed AKADEMI (1975).
- [6]-**P.WUITHIER**,Le petrole :Raffinage et genie chimique,tome 1, ed TECHNIP,Paris(1972).
- [7] **P.WUITHIER-G.PERRET**,Petrole brut et fractions petrolieres, ed TECHNIP,Paris (1958).
- [8]**Methodes d'essais des produits pétroliers** ,ed AFNOR,Paris(1974).
- [9]-**DELION**,Generalités sur les essais normalisés des produits petroliers, ed Technip,Paris (1982).
- [10]-**S MERGHACHE**,Contribution à l'etude analytique de petrole brut , Thèse de Magistère,dirigé par C.E.CHITOUR,ENP 1995.
- [11]-**REVUE AFTP** (Association française des techniciens et professionnels du pétrole),n°197,année 1969.
- [12]-**SONATRACH** revue , N°1- NOV ,1995.
- [13]- **Dictionnaire de l'énergie**,ed SCM,Paris.

- [14]- V.KOROULIOUK, **Aide mémoire de théorie des probabilités-statistiques mathématiques**, ed Mir, Mosco (1983).
- [15]- P.TASSI , **Méthodes statistiques**, 2^{ème} ed ,edition Economica, Paris (1989).
- [16]- A.H.BOWKER, **Méthodes statistiques de l'ingénieur**, ed DUNOD, Paris (1965).
- [17]- MURRAY-R.SPIEGL, **Théorie et application des statistiques**, ed Mac GRAW HILL, New York (1982).
- [18]- G.SAPORTA, **Probabilités, Analyse des données et statistiques**, ed Paris (1991).
- [19]- M.MOREAU, **Statistique appliqué à l'expérimentation**, ed EYROLLES, Paris (1979).
- [20]- C.FOURGEAUXD-A.FUCHS, **Statistique**, ed DUNOD, Paris (1972).
- [21]- G.KOROBKOV-R.ALIEV, **Etude et exploitation des Pipe-Lines**,
ed INH, Boumerdes (1978).
- [22]- R.JOHNSON-G-BHATTACHARYYA, **STATISTICS, Principales and Methods**,
ed John Wiley & Sons, Inc, Cannada (1986).
- [23]- **Rapports annuels -Sonatrach (TRC), Service DCO (Département coordination des opérations) .**

Annexe

Annexe 1. Tables usuelles

table1-loi Normale.

table2-loi de Fisher-Snedecor.

table3-loi de Student.

table4- loi de χ^2

Annexe2- Formulaire pour les differentes lois :

a-les lois continues.

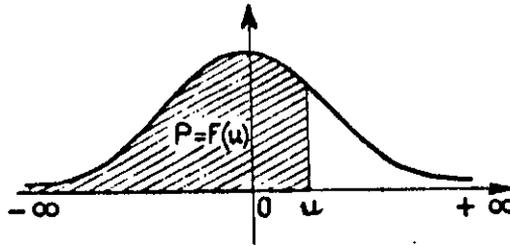
b-les lois discontinues.

Annexe3- les applications du logiciel Unifit à l'échantillon sélectionné.

Annexe 1- Tables usuelles

table I-loi Normale.

Fonction de répartition de la loi normale réduite
(Probabilité de trouver une valeur inférieure à u)



u	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	0,5000	0,5040	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359
0,1	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753
0,2	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141
0,3	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517
0,4	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879
0,5	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224
0,6	0,7257	0,7290	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549
0,7	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852
0,8	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133
0,9	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389
1,0	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621
1,1	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830
1,2	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,9015
1,3	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177
1,4	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9279	0,9292	0,9306	0,9319
1,5	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9429	0,9441
1,6	0,9452	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545
1,7	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633
1,8	0,9641	0,9649	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706
1,9	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9750	0,9756	0,9761	0,9767
2,0	0,9772	0,9779	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817
2,1	0,9821	0,9826	0,9830	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,9850	0,9854	0,9857
2,2	0,9861	0,9864	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9881	0,9884	0,9887	0,9890
2,3	0,9893	0,9896	0,9898	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916
2,4	0,9918	0,9920	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936
2,5	0,9938	0,9940	0,9941	0,9943	0,9945	0,9946	0,9948	0,9949	0,9951	0,9952
2,6	0,9953	0,9955	0,9956	0,9957	0,9959	0,9960	0,9961	0,9962	0,9963	0,9964
2,7	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,9970	0,9971	0,9972	0,9973	0,9974
2,8	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979	0,9980	0,9981
2,9	0,9981	0,9982	0,9982	0,9983	0,9984	0,9984	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986

Table pour les grandes valeurs de u

u	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,8	4,0	4,5
F(u)	0,99865	0,99894	0,99913	0,99932	0,99950	0,99967	0,99984	0,99992	0,99998	0,99999

Annexe 1- Tables usuelles

table2-loi de Student.

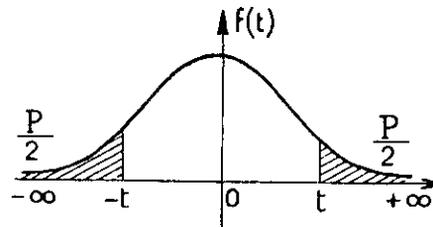
Annexe 1

Tables usuelles

TABLE A1.8

TABLE DE DISTRIBUTION DE T (LOI DE STUDENT)

Valeurs de T ayant la probabilité P d'être dépassées en valeur absolue



$\frac{P}{2}$	0,90	0,80	0,70	0,60	0,50	0,40	0,30	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,001
1	0,158	0,325	0,510	0,727	1,000	1,376	1,963	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657	636,619
2	0,142	0,289	0,445	0,617	0,816	1,061	1,386	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	31,598
3	0,137	0,277	0,424	0,584	0,765	0,978	1,250	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	12,929
4	0,134	0,271	0,414	0,569	0,741	0,941	1,190	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610
5	0,132	0,267	0,408	0,559	0,727	0,920	1,156	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	6,869
6	0,131	0,265	0,404	0,553	0,718	0,906	1,134	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959
7	0,130	0,263	0,402	0,549	0,711	0,896	1,119	1,415	1,895	2,385	2,998	3,499	5,408
8	0,130	0,262	0,399	0,546	0,706	0,889	1,108	1,397	1,860	2,308	2,896	3,355	5,041
9	0,129	0,261	0,398	0,543	0,703	0,883	1,100	1,383	1,833	2,282	2,821	3,250	4,781
10	0,128	0,260	0,397	0,542	0,700	0,879	1,093	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,587
11	0,128	0,260	0,396	0,540	0,697	0,876	1,088	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,437
12	0,128	0,259	0,395	0,539	0,695	0,873	1,083	1,358	1,782	2,179	2,681	3,055	4,318
13	0,128	0,259	0,394	0,538	0,694	0,870	1,079	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221
14	0,128	0,258	0,393	0,537	0,692	0,868	1,076	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	4,140
15	0,128	0,258	0,393	0,536	0,691	0,866	1,074	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073
16	0,128	0,258	0,392	0,535	0,690	0,865	1,071	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	4,015
17	0,128	0,257	0,392	0,534	0,689	0,863	1,069	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965
18	0,127	0,257	0,392	0,534	0,688	0,862	1,067	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,922
19	0,127	0,257	0,391	0,533	0,688	0,861	1,066	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,883
20	0,127	0,257	0,391	0,533	0,687	0,860	1,064	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,850
21	0,127	0,257	0,391	0,532	0,686	0,859	1,063	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,819
22	0,127	0,256	0,390	0,532	0,686	0,858	1,061	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,792
23	0,127	0,256	0,390	0,532	0,685	0,858	1,060	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,767
24	0,127	0,256	0,390	0,531	0,685	0,857	1,059	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,745
25	0,127	0,256	0,390	0,531	0,684	0,856	1,058	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,725
26	0,127	0,256	0,390	0,531	0,684	0,856	1,058	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,707
27	0,127	0,256	0,389	0,531	0,684	0,855	1,057	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,690
28	0,127	0,256	0,389	0,530	0,683	0,855	1,056	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,674
29	0,127	0,256	0,389	0,530	0,683	0,854	1,055	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,659
30	0,127	0,256	0,389	0,530	0,683	0,854	1,055	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,646
40	0,126	0,255	0,388	0,529	0,681	0,851	1,050	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	3,561
80	0,126	0,254	0,387	0,527	0,679	0,848	1,046	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	3,460
120	0,126	0,254	0,386	0,526	0,677	0,845	1,041	1,289	1,658	1,980	2,358	2,617	3,373
∞	0,126	0,253	0,385	0,524	0,674	0,842	1,036	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	3,291

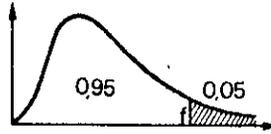
table3-loi de Fisher-Snedecor.

Tables usuelles

Annexe 1

TABLE A1.7 (suite)

VALEURS f DE LA VARIABLE DE FISHER-SNEDECOR $F(v_1; v_2)$ AYANT LA PROBABILITÉ 0.05 D'ÊTRE DÉPASSÉES

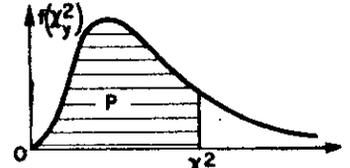


$v_2 \backslash v_1$	19	20	22	24	26	28	30	35	40	45	50	60	80	100	200	500	∞
1	2.48	2.48	2.49	2.49	2.49	2.50	2.50	2.51	2.51	2.51	2.52	2.52	2.52	2.53	2.54	2.54	2.54
2	19.4	19.4	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5
3	8.67	8.66	8.65	8.64	8.63	8.62	8.62	8.60	8.59	8.59	8.58	8.57	8.56	8.55	8.54	8.53	8.53
4	5.81	5.80	5.79	5.77	5.76	5.75	5.75	5.73	5.72	5.71	5.70	5.69	5.67	5.66	5.65	5.64	5.63
5	4.57	4.56	4.54	4.53	4.52	4.50	4.50	4.48	4.46	4.45	4.44	4.43	4.41	4.41	4.39	4.37	4.37
6	3.88	3.87	3.86	3.84	3.83	3.82	3.81	3.79	3.77	3.76	3.75	3.74	3.72	3.71	3.69	3.68	3.67
7	3.46	3.44	3.43	3.41	3.40	3.39	3.38	3.36	3.34	3.33	3.32	3.30	3.29	3.27	3.25	3.24	3.23
8	3.16	3.15	3.13	3.12	3.10	3.09	3.08	3.06	3.04	3.03	3.02	3.01	2.99	2.97	2.95	2.94	2.93
9	2.95	2.94	2.92	2.90	2.89	2.87	2.86	2.84	2.83	2.81	2.80	2.79	2.77	2.76	2.73	2.72	2.71
10	2.78	2.77	2.75	2.74	2.72	2.71	2.70	2.68	2.66	2.65	2.64	2.62	2.60	2.59	2.56	2.55	2.54
11	2.66	2.65	2.63	2.61	2.59	2.58	2.57	2.55	2.53	2.52	2.51	2.49	2.47	2.46	2.43	2.42	2.40
12	2.56	2.54	2.52	2.51	2.49	2.48	2.47	2.44	2.43	2.41	2.40	2.38	2.36	2.35	2.32	2.31	2.30
13	2.47	2.46	2.44	2.42	2.41	2.39	2.38	2.36	2.34	2.33	2.31	2.30	2.27	2.26	2.23	2.22	2.21
14	2.40	2.39	2.37	2.35	2.33	2.32	2.31	2.28	2.27	2.25	2.24	2.22	2.20	2.19	2.16	2.14	2.13
15	2.34	2.33	2.31	2.29	2.27	2.26	2.25	2.22	2.20	2.19	2.18	2.16	2.14	2.12	2.10	2.08	2.07
16	2.29	2.28	2.25	2.24	2.22	2.21	2.19	2.17	2.15	2.14	2.12	2.11	2.08	2.07	2.04	2.02	2.01
17	2.24	2.23	2.21	2.19	2.17	2.16	2.15	2.12	2.10	2.09	2.08	2.06	2.03	2.02	1.99	1.97	1.96
18	2.20	2.19	2.17	2.15	2.13	2.12	2.11	2.08	2.06	2.05	2.04	2.02	1.99	1.98	1.95	1.93	1.92
19	2.17	2.16	2.13	2.11	2.10	2.08	2.07	2.05	2.03	2.01	2.00	1.98	1.96	1.94	1.91	1.89	1.88
20	2.14	2.12	2.10	2.08	2.07	2.05	2.04	2.01	1.99	1.98	1.97	1.95	1.92	1.91	1.88	1.86	1.84
21	2.11	2.10	2.07	2.05	2.04	2.02	2.01	1.98	1.96	1.95	1.94	1.92	1.89	1.88	1.84	1.82	1.81
22	2.08	2.07	2.05	2.03	2.01	2.00	1.98	1.96	1.94	1.92	1.91	1.89	1.86	1.85	1.82	1.80	1.78
23	2.06	2.05	2.02	2.00	1.99	1.97	1.96	1.93	1.91	1.90	1.88	1.86	1.84	1.82	1.79	1.77	1.76
24	2.04	2.03	2.00	1.98	1.97	1.95	1.94	1.91	1.89	1.88	1.86	1.84	1.82	1.80	1.77	1.75	1.73
25	2.02	2.01	1.98	1.96	1.95	1.93	1.92	1.89	1.87	1.85	1.84	1.82	1.80	1.78	1.75	1.73	1.71
26	2.00	1.99	1.97	1.95	1.93	1.91	1.90	1.87	1.85	1.84	1.82	1.80	1.78	1.76	1.73	1.71	1.69
27	1.99	1.97	1.95	1.93	1.91	1.90	1.88	1.86	1.84	1.82	1.81	1.79	1.76	1.74	1.71	1.69	1.67
28	1.97	1.96	1.93	1.91	1.90	1.88	1.87	1.84	1.82	1.80	1.79	1.77	1.74	1.73	1.69	1.67	1.65
29	1.96	1.94	1.92	1.90	1.88	1.87	1.85	1.83	1.81	1.79	1.77	1.75	1.73	1.71	1.67	1.65	1.64
30	1.95	1.93	1.91	1.89	1.87	1.85	1.84	1.81	1.79	1.77	1.76	1.74	1.71	1.70	1.66	1.64	1.62
32	1.92	1.91	1.88	1.86	1.85	1.83	1.82	1.79	1.77	1.75	1.74	1.71	1.69	1.67	1.63	1.61	1.59
34	1.90	1.89	1.86	1.84	1.82	1.80	1.80	1.77	1.75	1.73	1.71	1.69	1.66	1.65	1.61	1.59	1.57
36	1.88	1.87	1.85	1.82	1.81	1.79	1.78	1.75	1.73	1.71	1.69	1.67	1.64	1.62	1.59	1.56	1.55
38	1.87	1.85	1.83	1.81	1.79	1.77	1.76	1.73	1.71	1.69	1.68	1.65	1.62	1.61	1.57	1.54	1.53
40	1.85	1.84	1.81	1.79	1.77	1.76	1.74	1.72	1.69	1.67	1.66	1.64	1.61	1.59	1.55	1.53	1.51
42	1.84	1.83	1.80	1.78	1.76	1.74	1.73	1.70	1.68	1.66	1.65	1.62	1.59	1.57	1.53	1.51	1.49
44	1.83	1.81	1.79	1.77	1.75	1.73	1.72	1.69	1.67	1.65	1.63	1.61	1.58	1.56	1.52	1.49	1.48
46	1.82	1.80	1.78	1.76	1.74	1.72	1.71	1.68	1.65	1.64	1.62	1.60	1.57	1.55	1.51	1.48	1.46
48	1.81	1.79	1.77	1.75	1.73	1.71	1.70	1.67	1.64	1.62	1.61	1.59	1.56	1.54	1.49	1.47	1.45
50	1.80	1.78	1.76	1.74	1.72	1.70	1.69	1.66	1.63	1.61	1.60	1.58	1.54	1.52	1.48	1.46	1.44
55	1.78	1.76	1.74	1.72	1.70	1.68	1.67	1.64	1.61	1.59	1.58	1.55	1.52	1.50	1.46	1.43	1.41
60	1.76	1.75	1.72	1.70	1.68	1.66	1.65	1.62	1.59	1.57	1.56	1.53	1.50	1.48	1.44	1.41	1.39
65	1.75	1.73	1.71	1.69	1.67	1.65	1.63	1.60	1.58	1.56	1.54	1.52	1.49	1.46	1.42	1.39	1.37
70	1.74	1.72	1.70	1.67	1.65	1.64	1.62	1.59	1.57	1.55	1.53	1.50	1.47	1.45	1.40	1.37	1.35
80	1.72	1.70	1.68	1.65	1.63	1.62	1.60	1.57	1.54	1.52	1.51	1.48	1.45	1.43	1.38	1.35	1.32
90	1.70	1.69	1.66	1.64	1.62	1.60	1.59	1.55	1.53	1.51	1.49	1.46	1.43	1.41	1.36	1.32	1.30
100	1.69	1.68	1.65	1.63	1.61	1.59	1.57	1.54	1.52	1.49	1.48	1.45	1.41	1.39	1.34	1.31	1.28
125	1.67	1.65	1.63	1.60	1.58	1.57	1.55	1.52	1.49	1.47	1.45	1.42	1.39	1.36	1.31	1.27	1.25
150	1.66	1.64	1.61	1.59	1.57	1.55	1.53	1.50	1.48	1.45	1.44	1.41	1.37	1.34	1.29	1.25	1.22
200	1.64	1.62	1.60	1.57	1.55	1.53	1.52	1.48	1.46	1.43	1.41	1.39	1.35	1.32	1.26	1.22	1.19
300	1.62	1.61	1.58	1.55	1.53	1.51	1.50	1.46	1.43	1.41	1.39	1.36	1.32	1.28	1.23	1.19	1.15
500	1.61	1.59	1.56	1.54	1.52	1.50	1.48	1.45	1.42	1.40	1.38	1.34	1.30	1.28	1.21	1.16	1.11
1000	1.60	1.58	1.55	1.53	1.51	1.49	1.47	1.44	1.41	1.38	1.36	1.33	1.29	1.26	1.19	1.13	1.08
∞	1.59	1.57	1.54	1.52	1.50	1.48	1.46	1.42	1.39	1.37	1.35	1.32	1.27	1.24	1.17	1.11	1.00

Annexel. Tables usuelles.

table4 - loi de χ^2

Table 4 - loi du χ^2 . ν nombre de degrés de liberté



P	0,00050	0,0010	0,0050	0,010	0,0250	0,050	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	0,950	0,9750	0,990	0,9950	0,9990	0,99950
1	0,00000393	0,00000157	0,0000393	0,000157	0,000982	0,00393	0,0158	0,0642	0,148	0,275	0,455	0,708	1,074	1,642	2,706	3,841	5,024	6,635	7,879	10,828	12,116
2	0,00100	0,00200	0,0100	0,0201	0,0506	0,103	0,211	0,446	0,713	1,022	1,386	1,833	2,408	3,219	4,605	5,991	7,378	9,210	10,597	13,816	15,202
3	0,0153	0,0243	0,0717	0,115	0,216	0,352	0,584	1,005	1,424	1,869	2,366	2,946	3,665	4,642	6,251	7,815	9,348	11,345	12,838	16,266	17,730
4	0,0639	0,0908	0,207	0,297	0,484	0,711	1,064	1,649	2,195	2,753	3,357	4,045	4,878	5,989	7,779	9,488	11,143	13,277	14,860	18,467	19,998
5	0,158	0,210	0,412	0,554	0,831	1,145	1,610	2,343	3,000	3,655	4,351	5,132	6,064	7,289	9,236	11,070	12,832	15,086	16,750	20,515	22,105
6	0,299	0,381	0,676	0,872	1,237	1,635	2,204	3,070	3,828	4,570	5,348	6,211	7,231	8,558	10,645	12,592	14,449	16,812	18,548	22,458	24,103
7	0,485	0,598	0,989	1,239	1,690	2,167	2,833	3,822	4,671	5,493	6,346	7,283	8,383	9,803	12,017	14,067	16,013	18,475	20,278	24,322	26,018
8	0,710	0,857	1,344	1,646	2,180	2,733	3,490	4,594	5,527	6,423	7,344	8,351	9,524	11,030	13,362	15,507	17,535	20,090	21,955	26,125	27,868
9	0,972	1,153	1,735	2,088	2,700	3,325	4,168	5,380	6,393	7,357	8,343	9,414	10,656	12,242	14,684	16,919	19,023	21,666	23,589	27,877	29,666
10	1,265	1,479	2,156	2,558	3,247	3,940	4,865	6,179	7,267	8,295	9,342	10,473	11,781	13,442	15,987	18,307	20,483	23,209	25,188	29,588	31,419
11	1,587	1,834	2,603	3,053	3,816	4,575	5,578	6,989	8,148	9,237	10,341	11,530	12,899	14,631	17,275	19,675	21,920	24,725	26,757	31,264	33,136
12	1,934	2,214	3,074	3,571	4,404	5,226	6,304	7,807	9,034	10,182	11,340	12,584	14,011	15,812	18,549	21,026	23,336	26,217	28,300	32,909	34,821
13	2,305	2,617	3,565	4,107	5,009	5,892	7,042	8,634	9,926	11,129	12,340	13,636	15,119	16,985	19,812	22,362	24,736	27,688	29,819	34,528	36,478
14	2,697	3,041	4,075	4,660	5,629	6,571	7,790	9,467	10,821	12,079	13,339	14,685	16,222	18,151	21,064	23,685	26,119	29,141	31,319	36,123	38,109
15	3,108	3,483	4,601	5,229	6,262	7,261	8,547	10,307	11,721	13,030	14,339	15,733	17,322	19,311	22,307	24,996	27,488	30,578	32,801	37,697	39,719
16	3,536	3,942	5,142	5,812	6,908	7,962	9,312	11,152	12,624	13,983	15,338	16,780	18,418	20,465	23,542	26,296	28,845	32,000	34,267	39,252	41,308
17	3,980	4,416	5,697	6,408	7,564	8,672	10,085	12,002	13,531	14,937	16,338	17,824	19,511	21,615	24,769	27,587	30,191	33,409	35,718	40,790	42,879
18	4,439	4,905	6,265	7,015	8,231	9,390	10,865	12,857	14,440	15,893	17,338	18,868	20,601	22,760	25,989	28,869	31,526	34,805	37,156	42,312	44,434
19	4,912	5,407	6,844	7,633	8,907	10,117	11,651	13,716	15,352	16,850	18,338	19,910	21,689	23,900	27,204	30,144	32,852	36,191	38,582	43,820	45,973
20	5,398	5,921	7,434	8,260	9,591	10,851	12,443	14,578	16,266	17,809	19,337	20,951	22,775	25,038	28,412	31,410	34,170	37,566	39,997	45,315	47,498
21	5,896	6,447	8,034	8,897	10,283	11,591	13,240	15,445	17,182	18,768	20,337	21,991	23,858	26,171	29,615	32,671	35,479	38,932	41,401	46,797	49,010
22	6,405	6,983	8,643	9,542	10,982	12,338	14,041	16,314	18,101	19,729	21,337	23,031	24,939	27,301	30,813	33,924	36,781	40,289	42,796	48,268	50,511
23	6,924	7,529	9,260	10,196	11,688	13,091	14,848	17,167	19,021	20,690	22,337	24,069	26,018	28,429	32,067	35,172	38,076	41,638	44,181	49,728	52,000
24	7,453	8,085	9,886	10,856	12,401	13,848	15,659	18,062	19,943	21,652	23,337	25,106	27,096	29,553	33,196	36,415	39,364	42,980	45,558	51,179	53,479
25	7,991	8,649	10,520	11,524	13,120	14,611	16,473	18,940	20,867	22,616	24,337	26,143	28,172	30,675	34,382	37,652	40,646	44,314	46,928	52,620	54,947
26	8,538	9,222	11,160	12,198	13,844	15,379	17,292	19,820	21,792	23,579	25,336	27,179	29,246	31,795	35,563	38,885	41,923	45,642	48,290	54,052	56,407
27	9,093	9,803	11,808	12,879	14,573	16,151	18,114	20,703	22,719	24,544	26,336	28,214	30,319	32,912	36,741	40,113	43,194	46,983	49,645	55,476	57,858
28	9,656	10,391	12,461	13,565	15,308	16,928	18,939	21,588	23,647	25,509	27,336	29,249	31,391	34,027	37,916	41,337	44,461	48,278	50,993	56,892	59,300
29	10,227	10,986	13,121	14,256	16,047	17,708	19,768	22,475	24,577	26,475	28,336	30,283	32,461	35,139	39,087	42,557	45,722	49,588	52,336	58,302	60,734
30	10,804	11,588	13,787	14,953	16,791	18,493	20,599	23,364	25,508	27,442	29,336	31,316	33,530	36,250	40,256	43,773	46,979	50,892	53,672	59,703	62,161
31	11,389	12,196	14,458	15,655	17,539	19,281	21,434	24,255	26,440	28,409	30,336	32,349	34,598	37,359	41,422	44,985	48,232	52,191	55,003	61,098	63,582
32	11,979	12,811	15,134	16,362	18,291	20,072	22,271	25,148	27,373	29,576	31,336	33,381	35,665	38,466	42,585	46,194	49,480	53,486	56,328	62,487	64,995
33	12,576	13,431	15,815	17,073	19,047	20,867	23,110	26,042	28,307	30,344	32,336	34,413	36,731	39,572	43,745	47,400	50,725	54,776	57,648	63,870	66,402
34	13,179	14,057	16,501	17,789	19,806	21,664	23,952	26,938	29,242	31,313	33,336	35,444	37,795	40,676	44,903	48,602	51,966	56,061	58,964	65,247	67,803
35	13,788	14,688	17,192	18,509	20,569	22,465	24,797	27,836	30,178	32,282	34,336	36,475	38,859	41,778	46,059	49,802	53,203	57,342	60,275	66,619	69,198
36	14,401	15,324	17,887	19,233	21,336	23,269	25,643	28,735	31,115	33,252	35,336	37,505	39,922	42,879	47,212	50,998	54,437	58,619	61,581	67,985	70,588
37	15,020	15,965	18,586	19,960	22,106	24,075	26,492	29,635	32,053	34,222	36,336	38,535	40,984	43,978	48,363	52,192	55,668	59,892	62,883	69,346	71,972
38	15,644	16,611	19,289	20,691	22,878	24,884	27,343	30,537	32,992	35,192	37,335	39,564	42,045	45,076	49,513	53,384	56,895	61,162	64,181	70,703	73,351
39	16,273	17,261	19,996	21,426	23,654	25,695	28,196	31,441	33,932	36,163	38,335	40,593	43,105	46,173	50,660	54,572	58,120	62,428	65,476	72,055	74,725
40	16,906	17,916	20,707	22,164	24,433	26,509	29,051	32,345	34,872	37,134	39,335	41,622	44,165	47,269	51,805	55,758	59,342	63,691	66,766	73,402	76,095
41	17,544	18,575	21,421	22,906	25,215	27,326	29,907	33,251	35,813	38,105	40,335	42,651	45,224	48,363	52,949	56,942	60,561	64,950	68,053	74,745	77,459
42	18,186	19,238	22,138	23,650	25,999	28,144	30,765	34,157	36,755	39,077	41,335	43,679	46,282	49,456	54,090	58,124	61,777	66,206	69,336	76,084	78,820
43	18,832	19,905	22,859	24,398	26,785	28,965	31,625	35,065	37,698	40,050	42,335	44,706	47,339	50,548	55,230	59,304	62,990	67,459	70,616	77,418	80,176
44	19,482	20,576	23,584	25,148	27,575	29,787	32,487	35,974	38,641	41,022	43,335	45,734	48,396	51,639	56,369	60,481	64,201	68,709	71,893	78,749	81,528
45	20,136	21,251	24,311	25,901	28,366	30,612	33,350	36,884	39,585	41,995	44,335	46,761	49,452	52,729	57,505	61,656	65,410	69,957	73,166	80,077	82,876
46	20,794	21,929	25,041	26,657	29,160	31,439	34,215	37,795	40,529	42,968	45,335	47,787	50,507	53,818	58,641	62,830	66,617	71,201	74,437	81,400	84,220
47	21,456	22,610	25,774	27,416	29,956	32,268	35,081	38,708	41,474	43,942	46,335	48,814	51,562	54,906	59,774	64,001	68,821	72,443	75,704	82,720	85,560
48	22,121	23,295	26,511	28,177	30,755	33,098	35,949	39,621	42,420	44,915	47,335	49,840	52,616	55,993	60,907	65,178	69,023	73,683	76,969	84,037	86,897
49	22,789	23,983	27,249	28,941	31,555	33,930	36,818	40,534	43,366	45,889	48,335	50,866	53,670	57,079	62,038	66,339	70,222	74,919	78,231	85,350	88,231
50	23,461	24,674	27,991	29,707	32,357	34,764	37,689	41,449	44,313	46,864	49,335	51,892	54,723	58,164</							

Annexe2- Formulaire pour les differentes lois :

a-les lois continues.

TABLEAU A2.2
PARAMÈTRES DES PRINCIPALES DISTRIBUTIONS CONTINUES

Loi	Espérance $E(X)$	Variance $V(X)$	Coefficient d'asymétrie $\gamma_1 = \frac{\mu_3}{\sigma^3}$	Coefficient d'aplatissement $\gamma_2 = \frac{\mu_4}{\sigma^4}$
Continue uniforme sur $[0, 1]$	1/2	1/12	0	1.8
LG ($m; \sigma$)	m	σ^2	0	3
γ_r	r	r	$2/\sqrt{r}$	$3 + 6/r$
χ_n^2	n	$2n$	$\sqrt{8/n}$	$3 + 12/n$
Student T_n	0	$n/(n-2)^{(1)}$	0	$3 + 6/(n-4)^{(2)}$
Beta I (n, p)	$n/(n+p)$	$\frac{np}{(n+p+1)(n+p)}$	$\frac{2(p-n)\sqrt{n^{-1}+p^{-1}+(np)^{-1}}}{n+p+2}$	$\frac{(3(n+p+1)(2(n+p)^2+np(n+p-6))}{np(n+p+2)(n+p+3)}$
Beta II (n, p)	$\frac{n}{p-1}$	$\frac{n(n+p-1)}{(p-1)^2(p-2)}$	$2\sqrt{\frac{(p-2)}{n(n+p-1)}} \frac{2n+p-1}{p-3}$	$\frac{6(p-1)^2(p-2)+n(n+p-1)(5p-11)}{n(p-3)(p-4)(n+p-1)} + 3$
$F(n, p)$	$\frac{n}{p-2}$	$\frac{2p^2(n+p-2)}{n(p-2)^2(p-4)}$	$\sqrt{\frac{8(p-4)}{n(n+p-2)}} \frac{2n+p-2}{p-6}$	$\frac{12(p-2)^2(p-4)+m(n+p-2)(5p-22)}{n(p-6)(p-8)(n+p-2)}$
Log-normale	$\exp\left(m + \frac{\sigma^2}{2}\right)$	$\exp(2m + \sigma^2)(\exp \sigma^2 - 1)$	$(\exp \sigma^2 + 2) \sqrt{\exp \sigma^2 - 1}$	$\exp 4\sigma^2 + 2 \exp 3\sigma^2 + 3 \exp 2\sigma^2 - 3$
Weibull $f(x) = \beta x^{\beta-1} \exp(-x^\beta)$	$\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$	$\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - (E(x))^2$		
Gumbel $\exp(-x - \exp(-x))$	0.57722	$\pi^2/6$	1.29857	5.4

(1) si $n > 2$.

(2) si $n > 4$.

Annexe2- Formulaire pour les differentes lois :

b-les lois discontinues.

TABLEAU A2.1
PARAMÈTRES DES PRINCIPALES DISTRIBUTIONS DISCRÈTES

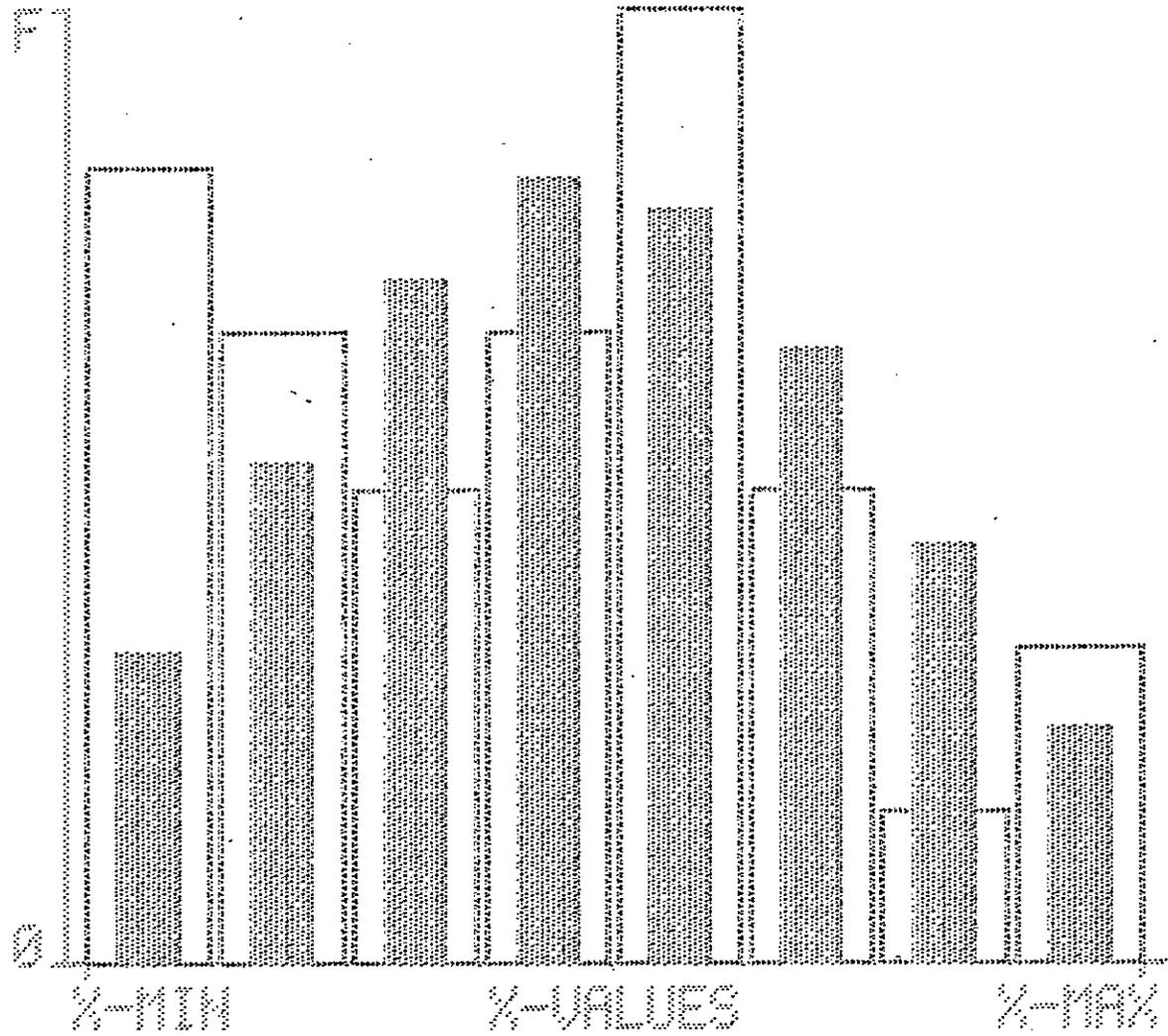
Loi	Espérance $E(X)$	Variance $V(X)$	Coefficient d'asymétrie γ_1	Coefficient d'aplatissement γ_2
Binomiale $\mathcal{B}(n; p)$ $P(X = x) = C_n^x p^x q^{n-x}$ $X = 0, 1, 2, \dots, n$	np	npq	$\frac{q-p}{\sqrt{npq}}$	$3 + \frac{1-6pq}{npq}$
Binomiale négative $B^-(n; p)$ $P(X = x) = C_{n+x-1}^{x-1} \left(\frac{p}{q}\right)^{x-1} \left(1 - \frac{p}{q}\right)^n$ $= C_{n+x-1}^x p^x q^{-n-x}$ $q = 1 + p$ $X = 0, 1, 2, \dots, \infty$	np	npq	$\frac{p+q}{\sqrt{npq}}$	$3 + \frac{1+6pq}{npq}$
Pascal $Pa(n; p)$ $P(X = x) = C_{x-1}^{n-1} p^n q^{x-n}$ $X = n, n+1, \dots, \infty$ $p+q=1$	$\frac{n}{p}$	$\frac{nq}{p^2}$	$\frac{2-p}{\sqrt{nq}}$	$3 + \frac{p^2+6q}{nq}$
Hypergéométrique $\mathcal{H}(N, n, p)$ $P(X = x) = \frac{C_{np}^x C_{nq}^{n-x}}{C_N^n}$	np	$npq \frac{N-n}{N-1}$	$\frac{q-p}{\sqrt{npq}} \cdot \frac{N-2n}{N-2} \sqrt{\frac{N-1}{N-n}}$	$3 \frac{(N-1)(N+6)}{(N-2)(N-3)} + \frac{(N-1)N(N+1)}{(N-n)(N-2)(N-3)}$ $\cdot \frac{1}{npq} \left(1 - 6 \frac{N}{N+1} \left(pq + \frac{n(n-N)}{N^2}\right)\right)$
Poisson $\mathcal{P}(m)$ $P(X = x) = \exp(-m) \left(\frac{m^x}{x!}\right)$ $X = 0, 1, 2, \dots, \infty$	m	m	$\frac{1}{\sqrt{m}}$	$3 + \frac{1}{m}$
Uniforme $P(X = x) = \frac{1}{n}$ $X = 1, 2, \dots, n$	$\frac{n+1}{2}$	$\frac{n^2-1}{12}$	0	$1.8 - \frac{2.4}{n^2-1}$

formulaire

Annexe3- les applications du logiciel Unifit à l'échantillon sélectionné.

La densité à l'expédition et à la réception

FREQUENCY COMPARISON OF MODEL 1
 (NO) SAMPLE : OFD94.DAT



FREQUENCIES
 BELOW PLOT

0.
 .05888

ABOVE PLOT

.05888
 .03908

7
 .20000

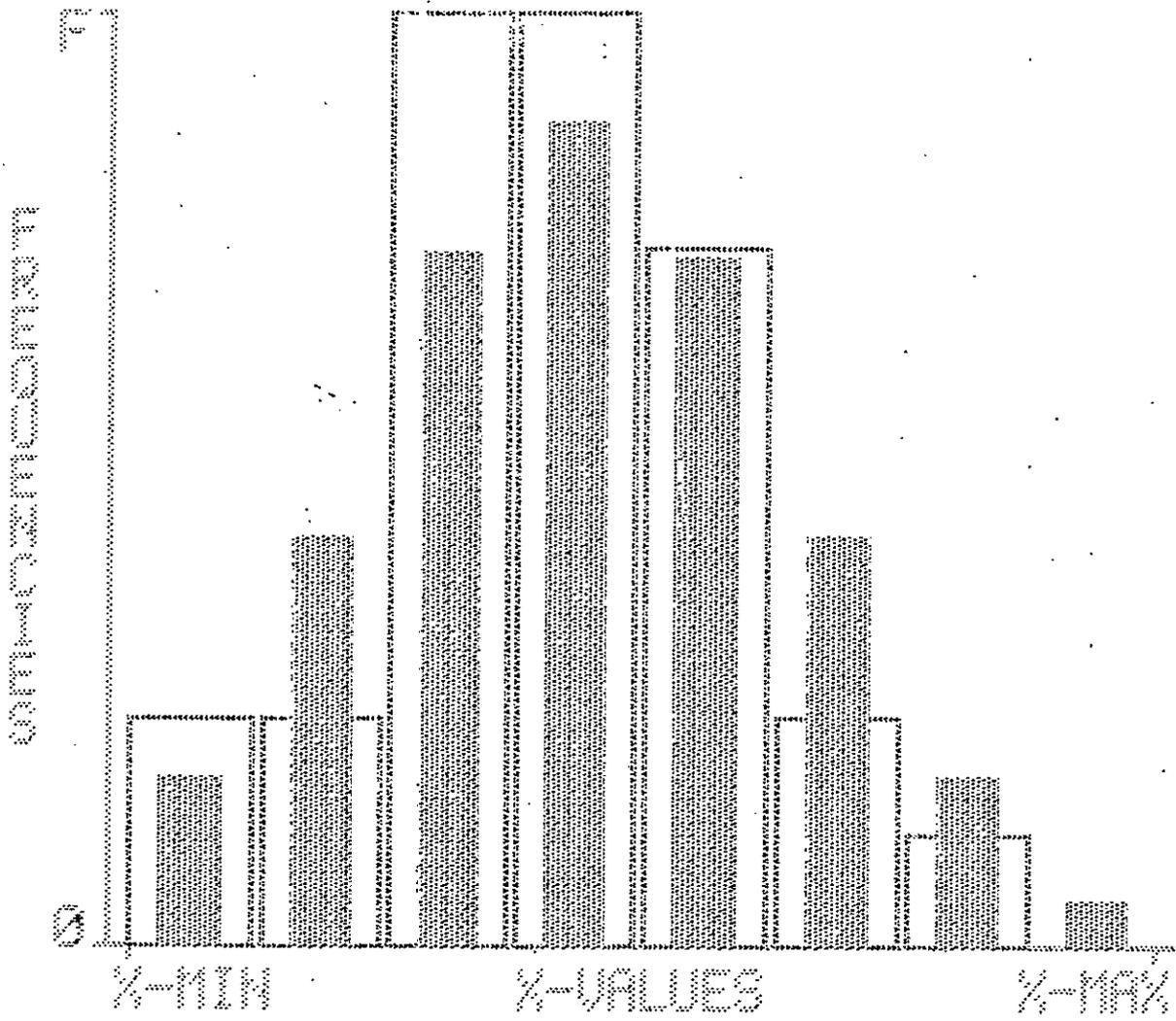
%-VALUES

%-MIN
 .72200

%-MAX
 .72448

INTERVAL WIDTH
 3.10000E- 4

FREQUENCY COMPARISON OF MODEL 1
AND SAMPLE # 10004.DAT

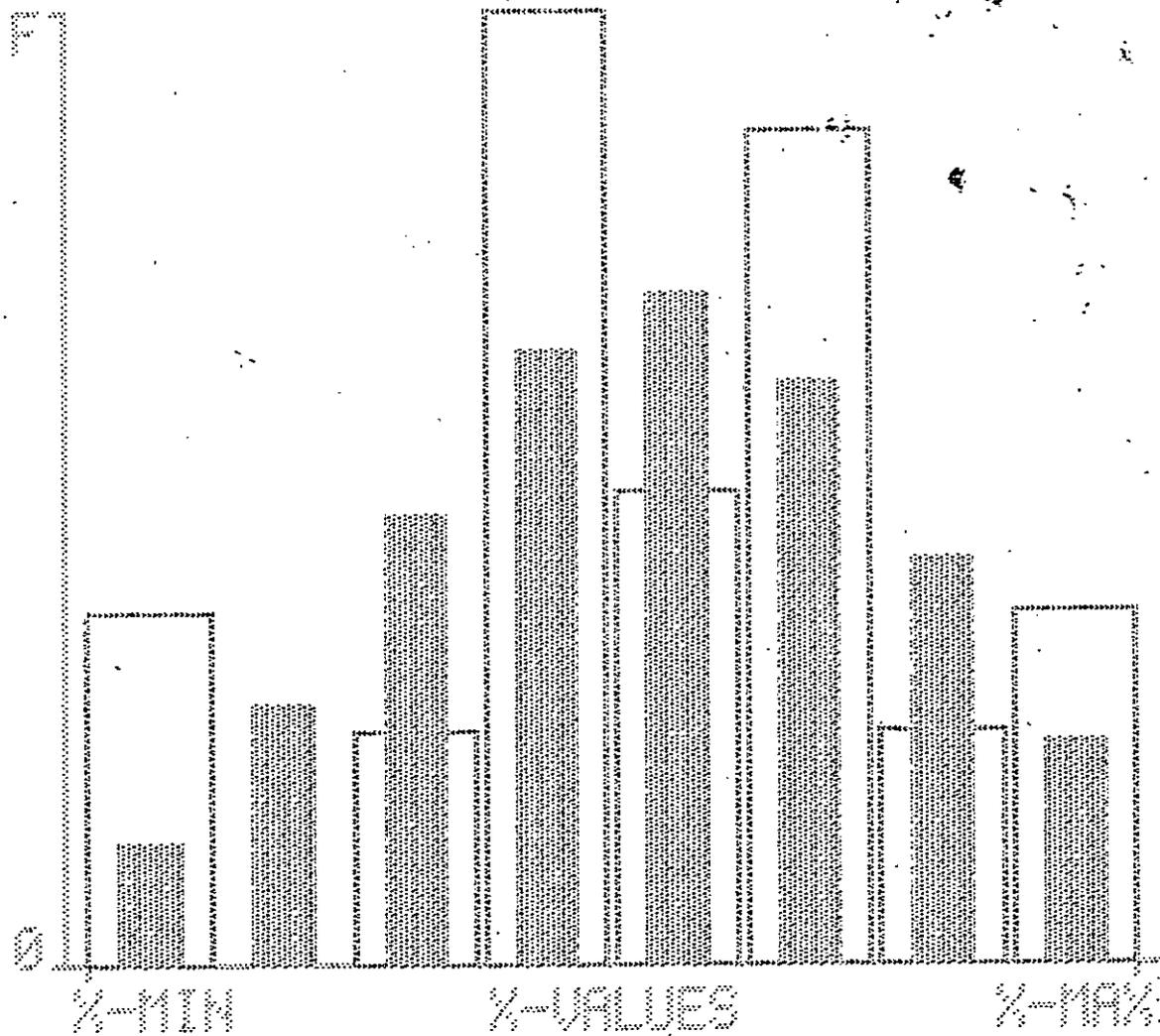


FREQUENCIES
BELOW PLOT
0.
.01837
ABOVE PLOT
.03333
3.54338E- 3
F
.26666
%-VALUES
%-MIN
.71970
%-MAX
.72218
INTERNAL WIDTH
3.10000E- 4

Annexe3- les applications du logiciel Unifit à l'échantillon sélectionné.

La TVR à l'expédition et à la réception

FREQUENCY COMPARISON OF MODEL 1
 AND SAMPLE 1 CAPTURED DATA



FREQUENCIES
 BELOW PLOT

0.
 .01832

ABOVE PLOT

.03333
 .04241

F
 .28888

%-VALUES

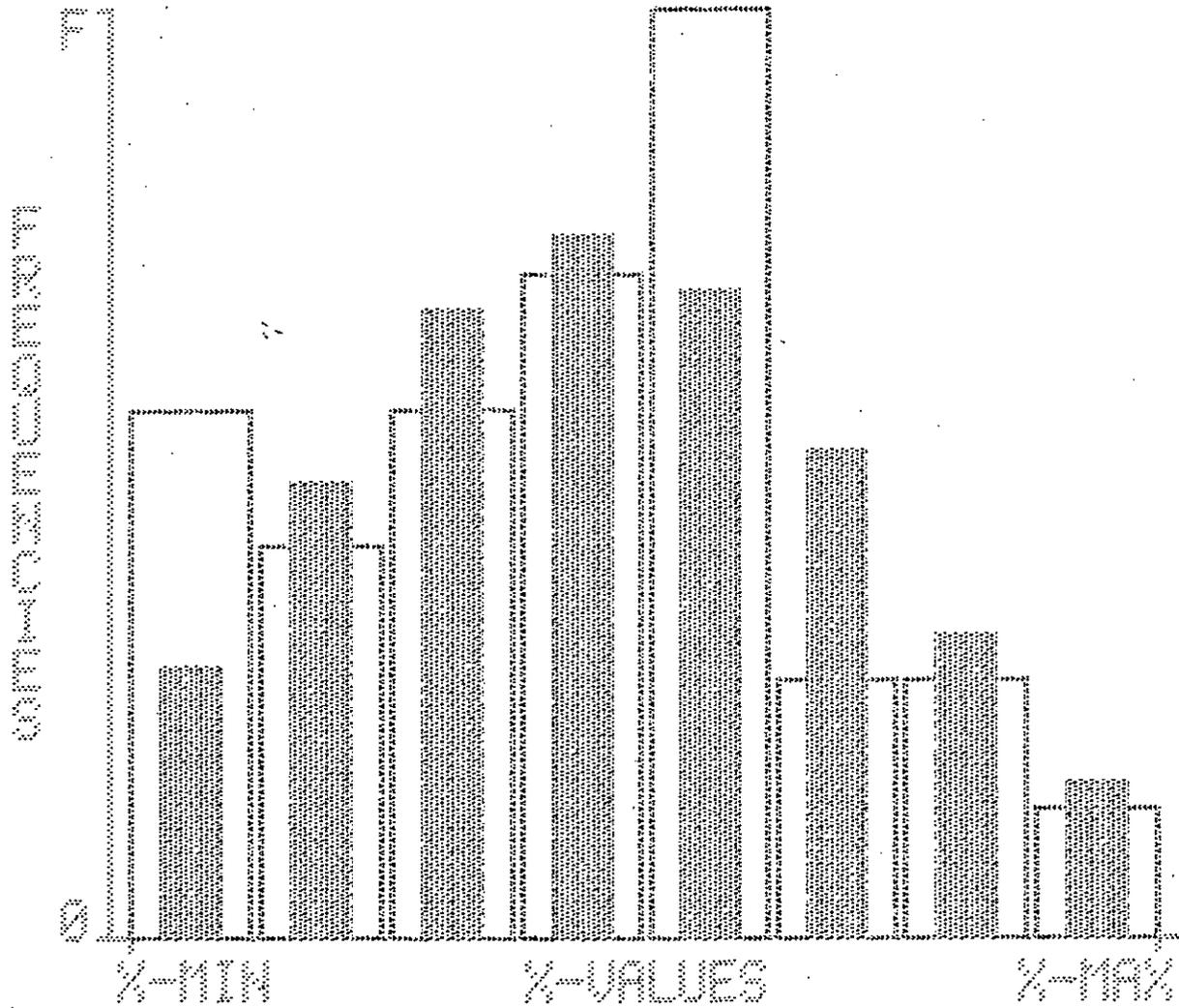
%-MIN
 .52500

%-MAX
 .74448

INTERVAL WIDTH

.02730

FREQUENCY COMPARISON OF MODEL 1
AND SAMPLE # ONCUTURAL DAT



FREQUENCIES
BELOW PLOT

G.

.05454

ABOVE PLOT

.05666

.02413

F

.22333

%-VALUES

%-MIN

.65000

%-MAX

.81000

INTERNAL WIDTH

.02000

13-JUN-1986 3:00 PM