

A MES PARENTS

A TOUTE MA FAMILLE

A TOUS MES AMIS

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier tout particulièrement Monsieur le Professeur B.BENYOUCEF pour l'intérêt constant qu'il a porté à mon travail. Son aide précieuse et les conseils qu'il n'a cessé de me prodiguer ont aboutit à la réalisation de ce travail.

J'exprime ma reconnaissance à Monsieur B.KHELIFA , Professeur à l'université d'ORAN pour avoir bien voulu accepter de présider le jury de ma thèse.

Je tiens également à exprimer ma profonde gratitude à Messieurs N.BELHAMEL, Maître de recherche et directeur du centre de développement en énergies renouvelables et M.BENABDALLAH , Docteur d'état à l'université de TLEMCEN pour m'avoir fait l'honneur d'examiner le présent travail. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma haute considération.

Mes vifs remerciements vont à Mme C.KAMINSKA , pour ses conseils ainsi que l'intérêt qu'elle a porté à mon étude.

Enfin ,j'exprime ma gratitude à tous ceux qui ont
participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail ainsi
qu'à tous mes collègues (F.HAKEM, A.SENOUDI,F.LAHFA...).

SOMMAIRE

INTRODUCTION

CHAP 1 EFFETS DE TAILLE DES CENTRALES THERMIQUES ET LEURS EFFETS SUR L'ENVIRONNEMENT

- 1.1 FONCTIONNEMENT D'UNE CENTRALE THERMIQUE
- 1.2 LES REJETS DEGAGES PAR LES CENTRALES THERMIQUES
- 1.3 L'IMPACT DES REJETS SUR L'ENVIRONNEMENT
- 1.4 CONCLUSION

CHAP 2 PHENOMENES DE SURELEVATION DES PANACHES D'EFFLUENTS GAZEUX DANS L'ATMOSPHERE

- 2.1 INTRODUCTION
- 2.2 EVOLUTION D'UN PANACHE CHAUD DANS L'ATMOSPHERE
- 2.3 CARACTERISTIQUES DES EFFLUENTS A LA SORTIE DE LA
 CHEMINEE
- 2.4 PARAMETRES METEOROLOGIQUES
- 2.5 CARACTERISTIQUES DE L'ENVIRONNEMENT: BATIMENTS ET
 TOPOGRAPHIE
 - 2.5.1 Effets mécaniques
 - 2.5.2 Effets thermiques
- 2.6 ESTIMATION DE LA POLLUTION DANS L'ETUDE DES
 SITES INDUSTRIELLES
- 2.7 APPROCHES PHENOMENOLOGIQUES
- 2.8 APPROCHES THEORIQUES
 - 2.8.1 Approche de BRIGGS
 - 2.8.2 Approche de PRIETSLEY
- 2.9 CONCLUSION

CHAP 3

DIFFUSION DES GAZ POLLUANTS DANS L'ATMOSPHERE

3.1 INTRODUCTION

3.2 THEORIE DE LA DIFFUSION

3.2.1 THEORIE DE TRANSFERT

3.2.2 DIFFUSION MOLECULAIRE ET DIFFUSION DE MASSE

3.3 FORMULES DE DIFFUSION D'UN PANACHE EMIS PAR UNE SOURCE PONCTUELLE

3.3.1 ETATS DE STABILITE DE L'ATMOSPHERE

3.3.2 FORMULE DE SUTTON

3.3.3 FORMULE DE PASQUILL

3.4 NOTION DE CONCENTRATION MAXIMALE

3.5 CONCLUSION

CONCLUSION GENERALE

BILIOGRAPHIE

INTRODUCTION

1. GENERALITES:

Le réchauffement mondial, la désertification, l'érosion des sols, la détérioration de la couche d'ozone, l'extinction d'espèces végétales et animales, l'accroissement de la pollution, la diminution ainsi que la détérioration des sources hydrauliques sont des maux affligés à notre planète et menacent sérieusement la vie sur terre.

L'homme à travers l'industrialisation sauvage, s'est porté responsable délibérément ou inconsciemment de l'état de santé périlleux de notre planète.

Compte tenu des rejets dans l'atmosphère de quelques milliards de tonnes de gaz carbonique et de quantités non moins considérables d'autres gaz tel que les CFC, CH_4 , NO_x , les scientifiques ont constaté que la terre se trouve actuellement plus chaude de $0,5^\circ\text{C}$ qu'à l'ère pré-industrielle et il est attendu que cette température devrait augmenter dans un siècle d'au moins 3°C .

Si ce réchauffement persiste, les températures de plus en plus élevées activeront de façon plus intense, les systèmes climatiques qui engendreront à leur tour des tempêtes plus fréquentes, l'expansion des océans et l'élévation des niveaux de mer.

Le développement prodigieux de l'industrie et de la recherche nucléaire s'est accompagné ces dernières années par la production inéluctable d'effluents et de résidus qui sont des facteurs de pollution de l'environnement. On assiste alors à une augmentation des risques de souillure de l'atmosphère, de l'eau, des végétaux, des denrées alimentaires, consécutifs à la dissémination d'effluents gazeux, liquides ou solides.

Et si l'homme reste attiré par la maîtrise de l'énergie surtout d'origine nucléaire, il ne redoute pas moins les effets nocifs des radiations dont il connaît les conséquences immédiates et à long terme.

En vue d'assurer la protection des populations et de l'environnement, de nombreuses études et travaux de recherche ont été élaborés sur la dispersion réglementée des différents effluents et résidus, les conditions de leur stockage ou leur neutralisation.

Les deux principaux éléments nutritifs de l'être vivant, l'air et l'eau, constituent des critères de choix pour l'évacuation de nombreux types de déchets. Ces rejets s'opèrent soit dans l'atmosphère, soit dans les milieux aquatiques grâce à leur abondance et leur aspect de fluidité. Ainsi les études s'étalent sur un champ d'application pour la mécanique des fluides vu que celle-ci présente des outils adaptés pour mettre en évidence les propriétés dispersives des milieux récepteurs tel que l'atmosphère, les eaux de diverses origines et évalue l'altération introduite par l'homme. Or nous savons que le développement de la vie, et plus particulièrement celle de l'homme, a toujours été assuré par un certain nombre de conditions physiques dans le système terre-atmosphère.

Dans le but de préserver cet environnement dans un cadre précis de développement économique de société, il faut engendrer une prévention des nuisances à ce développement selon les phases suivantes:

- 1/ Identifier les sources d'altération du milieu,

- 2/ fixer les seuils quantifiés d'apparition des nuisances dommageables pour chaque type d'altérage liés aux opérations d'aménagement du territoire, à l'exploitation des ressources terrestres, à la politique énergétique,

3/ Déterminer la liaison entre dommages et coûts de prévention pour les différents stades d'acceptation des risques.

2. Présentation des facteurs d'altérations de l'environnement

La pollution de l'air ambiant résulte de l'émission gazeuse ou particulaire liée aux activités humaines en particulier des émissions de foyers de combustion, de centrales énergétiques, de la circulation automobile ou de certains procédés de fabrication.

Ces sources sont responsables d'une pollution à caractère permanent, et des points de pollution qui apparaissent à la suite d'émission accidentelles ou lorsque les conditions météorologiques ne permettent pas une bonne dispersion de polluants.

Les principaux facteurs d'altération de l'environnement pouvant entraîner des nuisances par les aménagements industriels (en particulier les centrales énergétiques) sont:

- La pollution atmosphérique, les modifications climatiques dues au rejet de déchets dans l'atmosphère et les modifications des bilans radiatifs,

- La pollution des eaux (continentales et marines) et les modifications écologiques dues au rejet de déchets liquides dans les milieux aquatiques,

- L'altération des sols due au stockage de déchets solides et la modification des paysages,

- Les bruits et vibrations.

L'élaboration d'éléments de décision pour la prévention des nuisances consiste à:

1/ Etablir une estimation prévisionnelle de l'altération de l'environnement par l'aménagement prévu ou réalisé.

2/ Présenter des solutions techniques efficaces et économiquement acceptables pour la prévention ou la suppression des nuisances.

Pour estimer cette pollution, trois approches se présentent:

- L'expérimentation in situ : qui détermine les caractéristiques aérologiques du site (par exemple, à partir de campagnes de sondage ou d'expériences de diffusion par traceur).

- La simulation physique : qui permet de reproduire une gamme assez étendue de conditions météorologiques.

- Le modèle mathématique: qui utilise des modèles numériques.

3. BUT DU TRAVAIL:

Vu l'importance des rejets thermiques et gazeux émis par les centrales énergétiques et déversés dans l'atmosphère, On s'est intéressé dans notre étude à la pollution atmosphérique, son évaluation et les effets engendrés par celle-ci sur l'environnement.

Le but de notre travail porte essentiellement sur l'étude comparative des différentes méthodes d'estimation de la pollution atmosphérique, comprenant les avantages de chacune d'elles ainsi que les conditions de leurs applications.

Notre travail peut se présenter comme un outil adapté aux projets de centrales ou d'usines en voie d'exécution, permettant ainsi de prendre les dispositions nécessaires. Le concept de ce travail consiste à diminuer les effets des polluants et de prendre en considération les facteurs qui influent sur l'évolution du panache tel que l'emplacement du site, la nature du sol, les conditions climatiques de la région qui jouent un rôle très important quant à la diffusion des polluants...).

Dans le premier chapitre, nous avons exposé les problèmes qu'entraîne l'implantation de centrales énergétiques sur le milieu environnant ainsi que l'effet de taille des rejets thermiques.

L'analyse des phénomènes de surélévations de panaches, l'estimation de leur évolution dans l'atmosphère, les différentes méthodes de calcul de la surhauteur avec les conditions de leur applications ont été présentées dans le second chapitre.

Dans le troisième chapitre, nous avons considéré le problème de dispersion de polluants émis par une source ponctuelle avec les différentes méthodes de diffusion et nous avons étudié l'influence de certains paramètres sur le parcours des polluants à des distances plus ou moins variables.

Enfin une synthèse est présentée permettant la mise au point des différentes étapes à suivre avant et après la réalisation de chaque projet industriel et éventuellement prendre les précautions nécessaires pour afin de minimiser l'effet de la pollution.

CHAPITRE 1

IMPACT DES REJETS THERMIQUES
DEGAGES PAR LES CENTRALES
ENERGETIQUES SUR L'ENVIRONNEMENT



11-PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UNE CENTRALE THERMIQUE:

Les centrales thermiques ont pour rôle de produire de l'énergie électrique à partir de l'énergie calorifique dégagée par combustion. Celle-ci est réalisée par un générateur de vapeur ou chaudière. Elle permet de transformer l'eau en vapeur et de la surchauffer pour qu'elle atteigne une haute température et une haute pression.(fig 1)

Cette vapeur surchauffée se détend ensuite dans le corps haute pression (HP) de la turbine, elle revient dans la chaudière pour être surchauffée et est renvoyée pour se détendre dans les corps moyenne pression (MP) et basse pression (BP) de la turbine. Pendant ces détente successives, l'énergie calorifique est transformée en énergie mécanique. A la sortie des corps basse pression, la vapeur passe dans le condenseur qui est refroidi et l'eau retourne à l'état liquide.

Un poste de réchauffage de l'eau condensée, le poste d'eau (composé d'un certain nombre d'échangeurs ou réchauffeurs), alimente en énergie calorifique de réchauffage par de la vapeur prélevée par soutirage sur la turbine, permet de réchauffer l'eau avant de la renvoyer dans la chaudière à l'aide d'une pompe d'alimentation).

Le cycle se produit indéfiniment puisque la vapeur et l'eau circulent dans un circuit fermé. L'énergie mécanique disponible sur l'arbre de la turbine est transmise à un alternateur qui la transforme en énergie électrique. Cet alternateur alimente un transformateur de puissance qui est raccordée au réseau de transport.

Pendant ce temps, la chaleur sensible des fumées est en grande partie récupérée à la sortie de la chaudière grâce à un



réchauffeur d'air qui permet de réchauffer l'air comburant, nécessaire à la combustion.

Dans le cas d'une centrale à charbon, après être passées dans le réchauffeur d'air, les fumées traversent des dépoussiéreurs électrostatiques, qui retiennent les cendres volantes qu'elles contiennent, et elles sont ensuite rejetées par la cheminée.

Les centrales thermiques à flamme produisent de l'énergie électrique à partir de l'énergie thermique potentielle libérée par un combustible. Ce combustible est brûlé dans une chaudière tapissée de tubes dans lesquels circule de l'eau. Sous l'effet de la chaleur, l'eau se transforme en vapeur à très haute température; celle-ci entraîne des turbines couplées à un alternateur producteur d'électricité.

A la sortie des turbines, la vapeur se liquéfie dans un condenseur où circule l'eau de refroidissement puisée dans une rivière, la mer ou transitant dans un réfrigérant atmosphérique. L'eau ainsi obtenue est renvoyée à la chaudière et le cycle recommence.

Les différents types de centrales énergétiques qui existent:

- Les centrales thermiques à vapeur.
- Les centrales de turbines à gaz.
- Les centrales Diesel.
- Les centrales hydrauliques,...



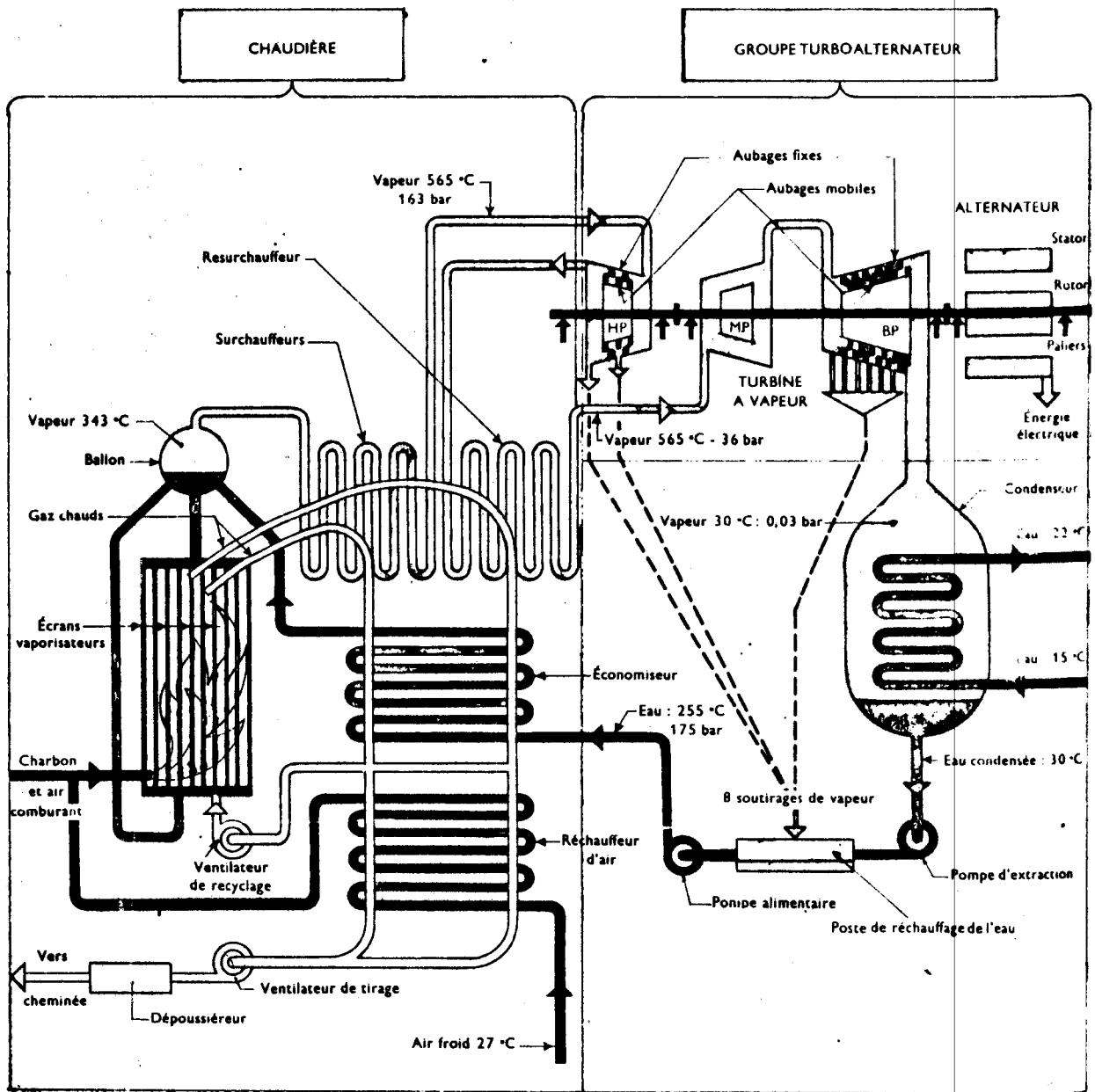


FIG 1 : SCHEMA D'UNE CENTRALE THERMIQUE

1.2 LES REJETS DECHARGE 3 PAR LES CENTRALES ENERGETIQUES:

1.2.1 Caractéristiques de la source froide d'une centrale thermique:

C'est peut être par sa source froide qu'une centrale thermique influe le plus sur son milieu environnant. La source froide des centrales thermiques à combustible fossile ou nucléaire peut être une rivière, un lac, l'atmosphère ou la mer.

Dans les deux premiers cas, la chaleur rejetée par la centrale ne fait que transiter par la rivière ou le lac et aboutit finalement à l'ensemble atmosphère/océan. Cette source reçoit la plus grande part de la chaleur produite par la chaudière.

Là, en effet, une quantité d'énergie considérable, allant de une à deux fois celle fournie sous forme d'électricité au réseau, est purement et simplement, rejetée dans le milieu environnant. Il y'a lieu de s'interroger sur les possibilités pour un milieu naturel d'absorber sans trop de dommages une telle quantité de chaleur, quantité très grande à l'échelle de l'homme puisqu'elle dépasse ses besoins énergétiques en électricité : le problème qui se pose est de savoir ou prévoir comment le milieu va réagir? quelles limites ne doit on pas dépasser sans porter atteinte de façon déraisonnable à l'environnement.

Cette source froide reçoit la plus grande part de la chaleur produite par la chaudière. Par KW électrique fourni au réseau:

- Les centrales à combustible fossile rejettent environ 1.2 KW thermique à la source froide.
- Les centrales nucléaires à eau légère rejettent environ 1.9 KW thermique soit près de 60% en plus.

Presque toujours, la vapeur provenant des échappements de la turbine est refroidie et condensée dans un condenseur à surface ; ce condenseur est lui-même refroidi par une circulation d'eau provenant:

- de la rivière ou d'un lac ou de la mer dans le cas d'un refroidissement en circuit ouvert.(Fig 2)
- d'un réfrigérant atmosphérique dans le cas du refroidissement en circuit fermé.(Fig 3).

Il existe aussi des refroidissements mixtes qui utilisent soit simultanément soit alternativement un refroidissement en circuit ouvert et un réfrigérant atmosphérique.

Dans le cas du refroidissement en circuit ouvert, l'échauffement de l'eau, de la rivière, du lac ou de la mer modifie en qualité et en quantité le développement des végétaux et animaux qui vivent.

1.2.2 Les rejets de chaleur à l'atmosphère:

La croissance de la puissance des centrales, les débits modérés des rivières et le souci de ne pas trop perturber l'équilibre écologique des cours d'eau vont conduire soit en bord de mer soit auprès de réfrigérants atmosphériques.

Dans le cas du refroidissement sur réfrigérant atmosphérique, les effets de l'environnement sont multiples et dépendent beaucoup du type de réfrigérant:

- Consommation d'eau et panache de condensation ; nuisances des rejets thermiques et chimiques en rivière pour les réfrigérants humides.

- Effets climatiques (humidité, température de l'air, ensoleillement...

Les rejets de chaleur à la source froide d'une centrale thermique intéressent particulièrement deux milieux récepteurs: l'air et l'eau . Mais en fait même si le rejet se fait en milieu aquatique, le puit ultime de chaleur reste aujourd'hui l'atmosphère puisque l'eau y va transmettre progressivement la chaleur reçue par les différents processus : évaporation, convection, et rayonnement.

Pour des raisons économiques, c'est d'abord vers l'eau que l'on cherche à évacuer les calories de la source froide. L'évolution technologique et divers impératifs économiques font envisager la concentration d'importants moyens de production d'énergie électrique sur un même site où se regroupent des centrales de puissance unitaire de plus en plus élevée, 900MW voire même 1350MW.

Par exemple, une centrale nucléaire de 1350MWe rejette à la source froide quelques 2700MW lorsqu'elle fonctionne à pleine charge. Un site équipé de 5000MWe en rejettera environ quatre fois plus.

1.3 IMPACT DES REJETS THERMIQUES SUR L'ENVIRONNEMENT:

La composition normale de l'air en volume est:

Azote	78,03%
Oxygène	20,99%
Argon	0,94%
Gaz Carbonique	0,03%
Divers	0,01%

Les divers sont des éléments de quantité variables sous forme de traces tels que le dioxyde de soufre, l'oxyde de carbone, les oxydes d'azote, les hydrocarbures, les fumées ou poussières non retenues par filtration , et les gaz rares.

La pollution de l'air (telle qu'elle a été définie par AFNOR) est la présence de polluants ou modification de la composition ou des propriétés normales de l'air par la présence d'une substance étrangère pouvant provoquer un effet nocif ou créer une nuisance ou une gêne notable.

L'unité de mesure des polluants est :

- ppm volume (rapport de volume $\times 10^6$)
- $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (masse par unité de volume).

Les pollutions principales provenant des centrales thermiques classiques résultent de la combustion des combustibles fossiles, en plus des rejets radioactifs provenant des centrales nucléaires.

Les combustibles généralement utilisés dans les centrales thermiques classiques :

- le charbon ou le lignite ,
- le fuel-oil ,
- le gaz naturel.

Les principaux polluants émis par les centrales sont:

- les oxydes de soufre SO_2 et SO_3 ,
- les oxydes d'azote NO_x ,
- les poussières .

Accessoirement, on peut citer :

- l'oxyde de carbone CO ,
- le fluor et les composés fluorés.



La formation et l'évolution des panaches de condensation de la vapeur d'eau et les ascendances thermiques d'air non saturé liés au fonctionnement des tours de réfrigération atmosphérique constituent un problème paramétéorologique-[8]:

1/La principale modification météorologique de l'environnement due à l'exploitation d'une centrale thermique de forte puissance, dotée d'un système de réfrigération humide, concerne une augmentation locale de nébulosité par le développement du panache de condensation.

2/ La longueur d'un panache de condensation augmente avec le débit de vapeur d'eau, mais de façon non proportionnelle.

3/ La variation de la température au sol, conséquence de la diffusion du panache est nulle.

4/ Les risques de formation de brouillard au sol.

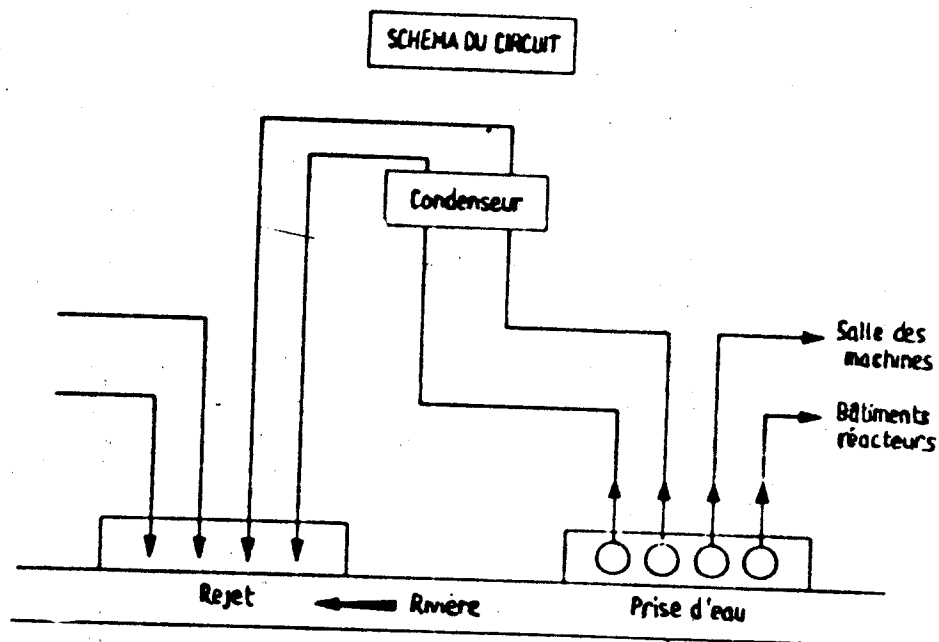


Fig 2 : REFROIDISSEMENT EN CIRCUIT OUVERT SUR RIVIERE.

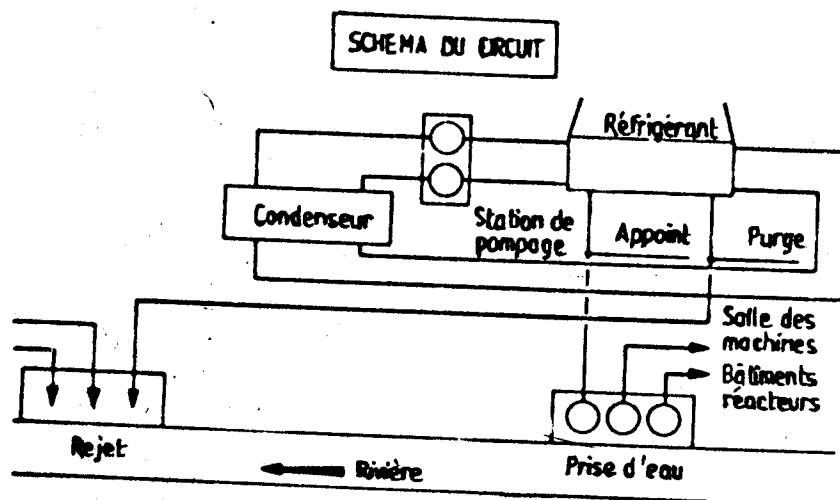


Fig 3 : REFROIDISSEMENT EN CIRCUIT FERME SUR REFRIGERANT ATMOSPHERIQUE HUMIDE A TIRAGE NATUREL.

1.4 CONCLUSION:

La source froide d'une centrale thermique est l'un des éléments déterminants dans le choix d'un site; c'est pourquoi, une grande attention est donnée aux problèmes d'environnement posés par la réfrigération d'une centrale.

Ces problèmes sont de toutes sortes: effets sur la qualité de l'eau, sur l'écologie du milieu aquatique récepteur, effets météorologiques, problèmes de rejets chimiques, du bruit...

Pour sauvegarder l'environnement, les centrales en fonctionnement doivent faire l'objet de contrôle permanent et la prévention des nuisances commence déjà par la surveillance régulière du bon fonctionnement de ces installations.

CHAPITRE 2

PHENOMENES DE SURELEVATION DE
PANACHES D'EFFLUENTS GAZEUX
DANS L'ATMOSPHERE



2.1 INTRODUCTION

La plupart des méthodes analytiques qui sont utilisées pour l'estimation de la pollution provenant d'une source émettrice ne sont applicables qu'à des conditions particulières et rarement rencontrés dans la basse atmosphère : terrain plat de rugosité uniforme, vent constant, stratification neutre.

Or, les caractéristiques des sources émettrices de gaz polluants s'étendent des cheminées de ventilation, de faible hauteur et jusqu'aux cheminées des centrales thermiques modernes pouvant atteindre des hauteurs de l'ordre de 200m. Cependant, n'oublions pas que l'environnement dans lequel la cheminée émet, comprend un certain nombre de paramètres susceptibles de jouer un rôle important dans la diffusion des polluants tels que les caractéristiques météorologiques, la situation de la cheminée par rapport à des obstacles artificiels (bâtiments) ou naturels (collines). Nous nous limiterons dans notre étude aux méthodes analytiques.

Les méthodes de calcul utilisées pour évaluer la dispersion des polluants gazeux provenant de cheminées industrielles comprennent deux étapes:

1^{ère} étape: étude de la première phase de l'évolution du panache, c'est là où la hauteur de la cheminée et les caractéristiques de l'émission jouent un rôle déterminant.

2^{ème} étape: calcul de dispersion, où n'interviennent que les caractéristiques de l'atmosphère environnante, en particulier: les champs de vitesse, de température et de la turbulence associée.

2.2 EVOLUTION D'UN PANACHE CHAUD DANS L'ATMOSPHERE

2.2.1-Conditions d'émission

On considère l'évolution d'un panache gazeux chaud issu d'une cheminée isolée et diffusant dans les 500 premiers mètres de l'atmosphère au dessus d'un sol plat et dégagé.

L'écoulement est turbulent à la sortie de la cheminée et cette turbulence présente un mélange énergétique avec l'air ambiant; en outre, une turbulence mécanique est engendrée du fait de l'existence d'un gradient de vitesse entre les effluents gazeux et l'air ambiant.

Le mélange, souvent qualifié d'entraînement, a un effet important sur la surélévation de panache (puisque à la fois la quantité de mouvement verticale du panache et les écarts de densité (entre panache et air ambiant) sont fortement dilués par ce processus.

L'évolution d'un panache d'effluents passe par trois phases:

première phase:

Le panache est presque vertical. La composante verticale de sa vitesse propre est supérieure à la vitesse horizontale du vent.

Cette phase prend fin lorsque cette composante verticale de la vitesse du panache est de l'ordre de la vitesse du vent.

deuxième phase: ou phase de transition

Le panache se courbe et devient approximativement horizontal. La vitesse du panache est approximativement celle des fluctuations de la vitesse du vent.

Troisième phase:

Les gaz du panache ont la même densité que l'air atmosphérique et une quantité de mouvement relative presque nulle. Leur mouvement dépend uniquement des propriétés de l'atmosphère environnante.

Dans le cas où se superposent des effets aérodynamiques et/ou thermiques dûs au relief ou à des bâtiments de grande hauteur, la géométrie du panache pourra être largement modifiée.

2.3 CARACTERISTIQUES DES EFFLUENTS A LA SORTIE DE LA CHEMINEE

A la sortie de la cheminée, les effluents sont caractérisées par:

- le diamètre de la cheminée d ,
- la vitesse d'éjection W_o ,
- la vitesse du vent au niveau du sommet de la cheminée U ,
- l'écart relatif de densité entre les effluents et l'atmosphère environnante: $\Delta\rho/\rho_a$.

où $\Delta\rho$ est l'écart de masse par rapport à l'atmosphère,
 ρ_a est la masse volumique de l'atmosphère,
 ρ est la masse volumique locale.

Ces paramètres permettent de définir la hauteur Z_a atteinte par le panache émis par une cheminée de hauteur h_o ; Z_a peut être écrite sous forme adimensionnelle [2]:

$$Z_a = f \left[\frac{W_o}{U}, \frac{gd\Delta\rho/\rho_a}{U}, \frac{d}{h_o} \right] \quad (2.1)$$

où le terme $(gd\Delta\rho/\rho_a)$ représente la force de poussée d'archimède.

D'après cette formule, on constate que Z_a croît proportionnellement avec le diamètre de la cheminée et le rapport W_o/U .

Pour $W_0/U < 1.5$ [1], $Z_1=0$ et on observe que les effluents sont absorbés par le sillage turbulent à l'aval de la cheminée.

2.4 PARAMETRES METEOROLOGIQUES

Au voisinage du sol, se situe la couche de surface de quelques dizaines de mètres d'épaisseur. C'est là que prennent naissance tous les mécanismes de base qui vont donner à la couche limite atmosphérique une structure bien déterminée de l'écoulement du vent, du champ des températures caractérisées par:

- le gradient vertical de la vitesse $\frac{\partial U}{\partial Z}$,
- le gradient vertical de la température $\frac{\partial T}{\partial Z}$.

A ces deux paramètres météorologiques sont liées, les caractéristiques turbulentes atmosphériques à petite échelle (c'est à dire la turbulence associée à des phénomènes atmosphériques qui se développent à une distance horizontale de l'ordre de 10 Km).

○ La forme géométrique d'un panache tel qu'il est observé est généralement due à la turbulence dont la période est de l'ordre de grandeur du temps nécessaire aux effluents pour parcourir la distance du point d'émission au point d'observation.

○ Les mesures de pollution au sol ne seront significatives qu'à condition de faire la moyenne des concentrations sur une durée du même ordre de grandeur.

○ Si l'on prend des mesures de concentrations sur des périodes de temps assez longues, il faudra prendre en considération les

changements de direction et de vitesse du vent ainsi que la turbulence associée.

La turbulence atmosphérique à petite échelle a deux origines distinctes: l'une mécanique et l'autre thermique. Selon l'importance d'un type de turbulence par rapport à l'autre, l'atmosphère peut être stable, neutre, instable.

Le degré de stabilité de l'atmosphère est déterminé en comparant le gradient vertical de la température $\frac{\partial T}{\partial z}$ au gradient de température adiabatique Γ ($-1^\circ\text{C}/100\text{m}$).

Cette comparaison est illustrée grâce au nombre de Richardson:

$$R = \frac{g}{T} \cdot \frac{(\frac{\partial T}{\partial z} + \Gamma)}{(\frac{\partial U}{\partial z})^2}$$

$R < 0$, atmosphère instable

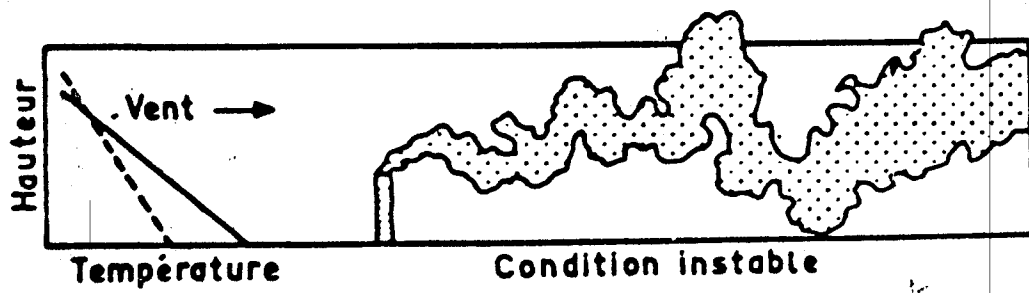
$R = 0$, atmosphère neutre

$R > 0$, atmosphère stable.

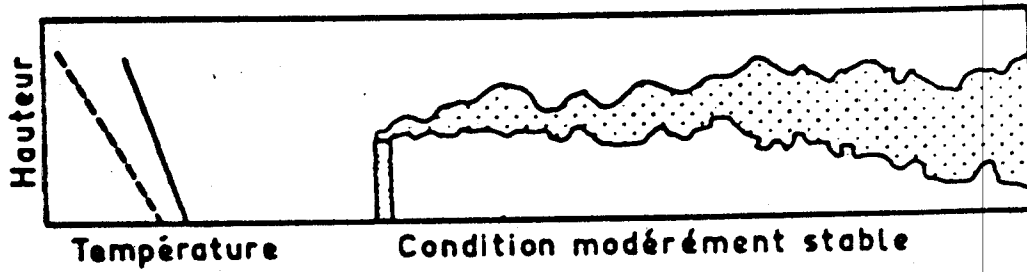
Les figures suivantes illustrent l'influence des paramètres météorologiques sur le comportement d'un panache de fumée, au cours d'un cycle de 24h.

La figure 4.1 représente les conditions de forte instabilité (en présence d'un vent faible) montre un panache dans une configuration ciel clair; le rayonnement solaire est intense et la stratification très instable.

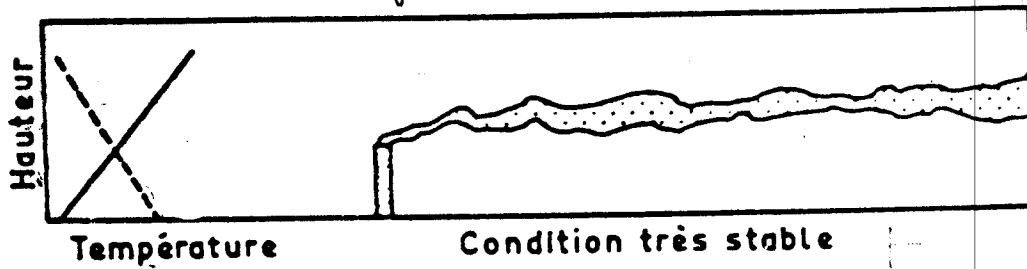
La figure 4.2 indique la forme du panache pour des conditions de stabilité presque neutres (vent fort, turbulence mécanique).



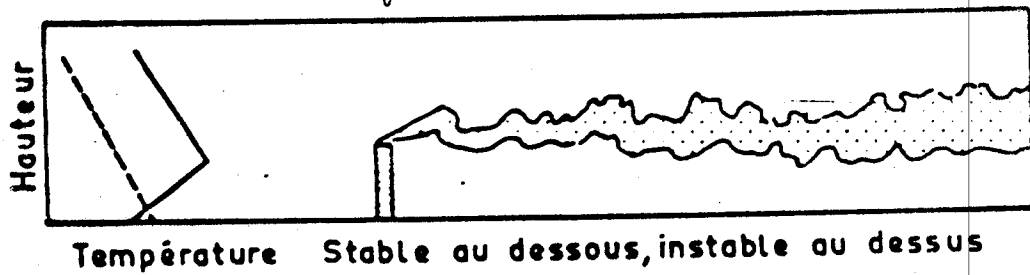
Fig(4.1)



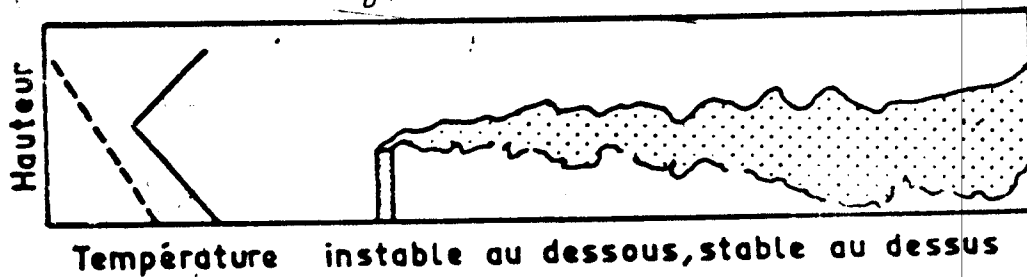
Fig(4.2)



Fig(4.3)



Fig(4.4)



Fig(4.5)

Fig. 4 CLASSIFICATION DES PANACHES EN FONCTION DE
LA STRUCTURE THERMIQUE DE L'ATMOSPHERE

La figure 4.3 représente les conditions de forte instabilité (vent modéré, conditions d'extrêmes stabilité). Cette configuration se présente soit la nuit, soit peu après le coucher du soleil ou peu après son lever. Le panache peut être animé de fluctuations latérales de grande période.

La figure 4.4 : conditions d'inversion au dessous du sommet de la cheminée et d'instabilité au dessus.

C'est le cas où une inversion se forme. Ce type de panache apparaît souvent vers la fin de l'après midi. C'est un cas très favorable puisque la plus grande partie du panache est diffusée verticalement vers le haut. La diffusion vers le sol étant supprimée.

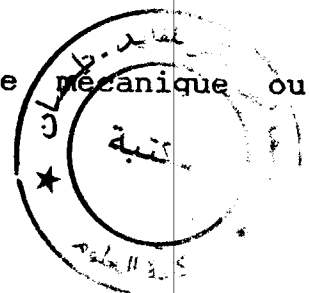
La figure 4.5 : conditions d'inversion au-dessus du sommet de la cheminée et d'instabilité au dessous.

Une couche instable se forme à partir du sol, cette configuration est très fréquente dans la matinée. Lorsque la limite supérieure de la couche instable atteint le niveau du panache, les parties les plus basses du panache sont diffusées vers le sol assez rapidement, alors que la partie supérieure reste intacte; ces conditions sont très défavorables du point de vue de la pollution.

2.5 CARACTERISTIQUES DE L'ENVIRONNEMENT: BATIMENTS ET TOPOGRAPHIE:

On peut constater que la topographie, les bâtiments et tout autre obstruction faisant partie de l'environnement d'une cheminée, jouent un rôle déterminant dans la dispersion du panache. (Voir Fig 5)

Cette influence peut être soit d'origine mécanique ou thermique.



2.5.1 Effets mécaniques:

L'influence d'une obstruction au vent , apparaît à l'amont, sur une distance relativement courte, de l'ordre de grandeur de la taille de l'obstruction, et qui se manifeste par des variations locales de la distributions de la vitesse et de la direction du vent.

En conséquence, on peut dire qu'il n'y a pas de modifications importantes de la structure turbulente.

Par contre, à l'aval de l'obstruction, la turbulence, la vitesse et la direction du vent moyen sont affectées de façon non négligeable.

C'est ainsi que pour des obstructions à arêtes vives (cas des bâtiments), la création de sillages turbulents a pour effet de modifier complètement la structure de l'écoulement. (Voir Fig 6)

o L'étude de ce phénomène présente un grand intérêt du point de vue pollution puisque la dispersion à partir d'une cheminée de petite hauteur fixée sur le toit d'un bâtiment sera complètement différente de celle obtenue avec une cheminée de grande hauteur [12]. (Voir Fig 7)

2.5.2 Effets thermiques:

L'industrialisation et l'urbanisation peuvent créer certaines perturbations thermiques dans l'atmosphère. Dans le cas d'installations isolées, les rejets de chaleur ne sont pas à l'échelle des phénomènes météorologiques pour entretenir en permanence une ascendance thermique importante. Toutefois au centre des villes étendues, la température peut être supérieure de quelques degrés celsius à celle de la campagne environnante. De telles zones jouent un rôle analogue à celui d'un îlot chaud qui, en certaines circonstances peut être favorable à la dispersion de la pollution atmosphérique.

Fig 5: Influence des de la topographie sur l'allure du panache.

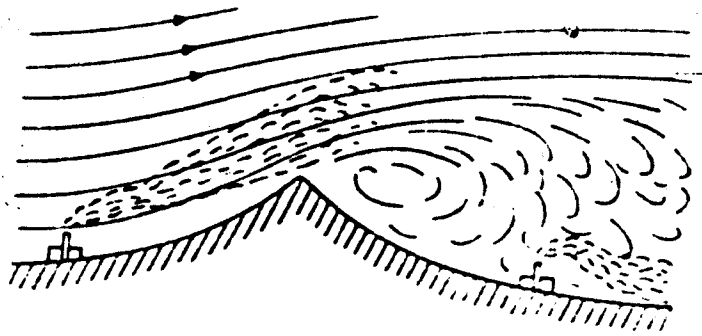
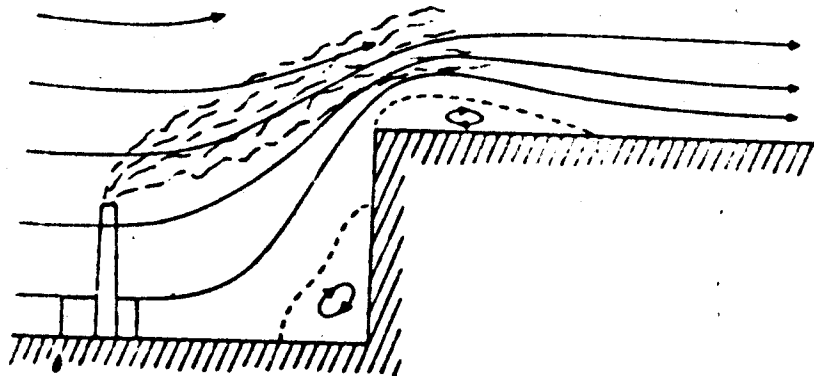


Fig5.1: Cas de l'arête montagneuse (d'après STROM)



ise

fig5.2: Cas de la falaise - cheminée au vent (d'après SCORER)

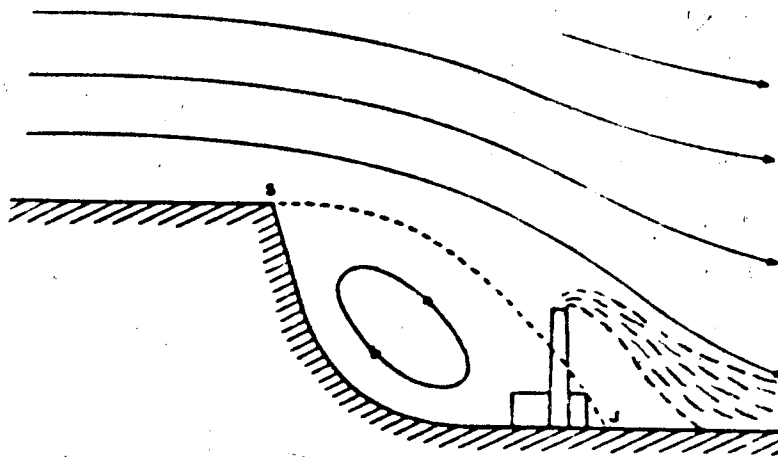


Fig53: Cas de la falaise - cheminée sous le vent (d'après SCORER)



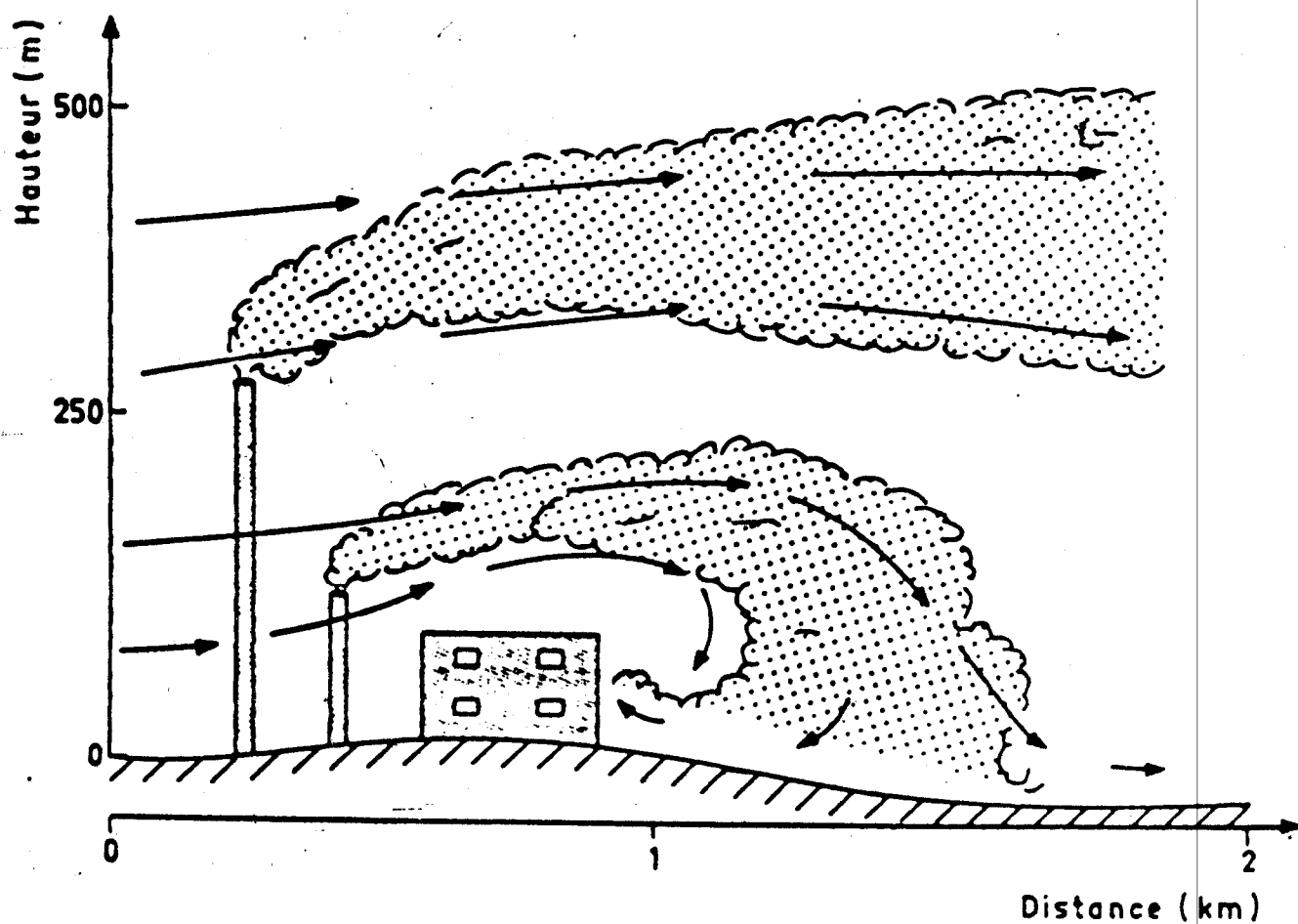


Fig 6 : EFFET DU SILLAGE D'UN BATIMENT
SUR LA DISPERSION D'UN POLLUANT

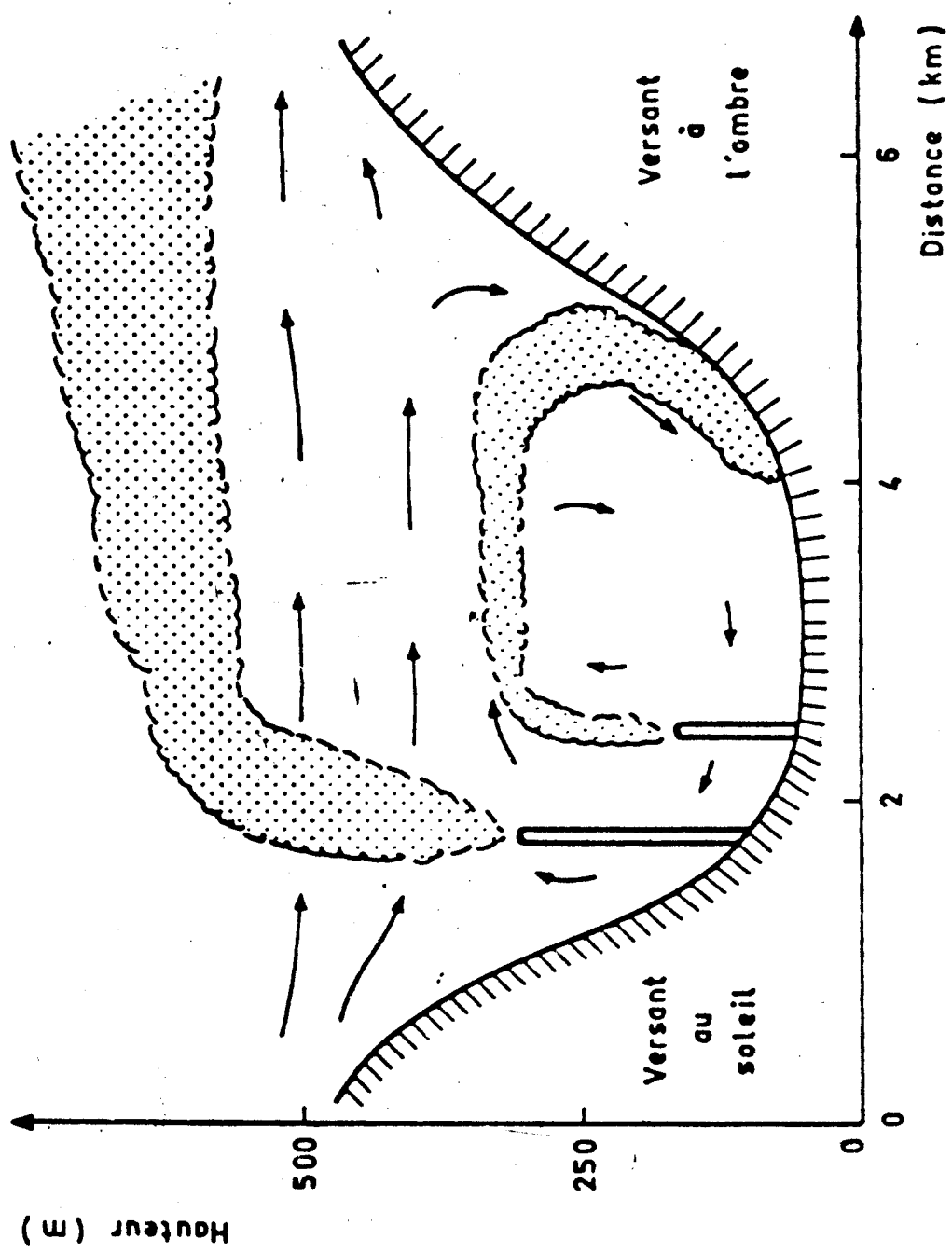


Fig. 7 : CIRCULATIONS LOCALES INDUITES DANS UNE VALLEE
PAR DES DISCONTINUITES THERMIQUES

2.6 ESTIMATION DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE DANS L'ETUDE DES SITES INDUSTRIELS

La réalisation de complexes industriels de grande taille sur un même site pose de sérieux problèmes quant à la dispersion atmosphérique des effluents gazeux dégagés en raison de leur importance.

Les effets de ces effluents, régis par le transfert de masse, de chaleur, de quantité de mouvement, varient d'une zone à une autre, d'où la nécessité d'un choix rigoureux en matière de site.

En effet, pour le cas d'une zone urbanisée, l'émission de polluants s'étend sur une très grande surface, ce qui n'est pas le cas pour un site industriel doté de puissants moyens de dispersion.

Il faut noter aussi que l'importance des rejets gazeux nécessite généralement des cheminées de grande hauteur [42] . Il s'avère aussi nécessaire d'opérer par une exploration des zones de retombée de panache d'effluents à des distances plus ou moins grandes par rapport au point d'émission afin de déterminer l'efficacité de ces cheminées .

Donc en vue de diminuer les effets de polluants, des études spécifiques doivent être entreprises avant la réalisation d'un site industriel. Ces études s'étendent sur deux grandes phases:

1/ au lancement du projet qui consiste à:

- mettre en oeuvre des techniques d'exploration des phénomènes météorologiques " IN SITU " et analyser les conditions de diffusion dans l'atmosphère .

-estimer l'efficacité optimale de la dispersion en fonction des conditions de rejet.

2/ à la mise en exploitation du complexe industriel qui permet de:

- Contrôler les émissions réelles produites par le complexe dans les niveaux de pollution atmosphérique.
- Observer les modifications climatologiques.

2.7 APPROCHES PHENOMENOLOGIQUES

2.7.1 DEFINITION DU CONCEPT DE SURHAUTEUR

Pratiquement, quand on s'intéresse au calcul des concentrations à une distance suffisante de la source, il s'avère utile de faire appel au "concept de surhauteur". On considère alors la diffusion de gaz émis sans vitesse initiale et à la température ambiante par une source fictive S' plus élevée que la source réelle S et située à une distance x_0 en amont: la cote H de S' est la somme de la cote H_0 de S et de la surhauteur ΔH .

En fait, la distance x_0 est mal connue: elle est en général très petite vis à vis des dimensions longitudinales auxquelles on s'intéresse.

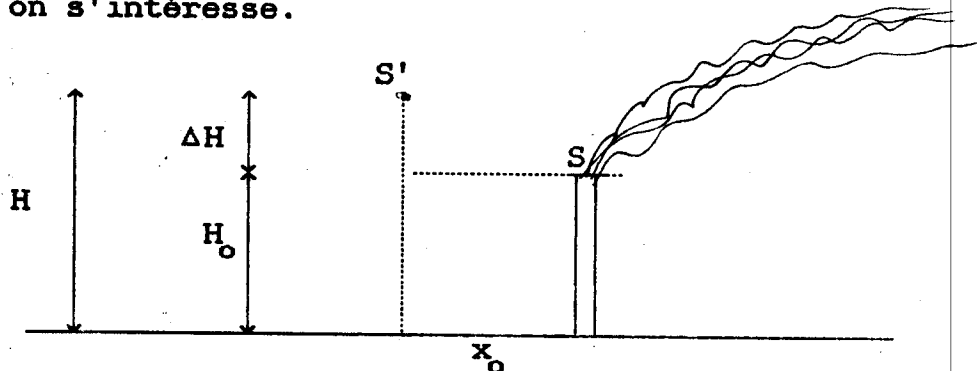


fig 2.1 : Le modèle de diffusion utilisé.

Les formulations analytiques ne sont pas applicables au cas de l'atmosphère fortement stratifiée ou à fort cisaillement du vent.

La plupart de ces formules sont déduites d'observations et ne sont plus utilisables en dessous de $V=3\text{m/s}$.

La détermination de la surélévation d'un panache d'effluents exige un dispositif de mesure (le lidar) permettant notamment :

- Son utilisation par ciel couvert, temps de pluie ou léger brouillard,
- Le repérage du panache sur une distance de l'ordre de 2Km,
- Son application à des panaches non visibles.

De nombreuses formules empiriques décrivent le calcul de la surélévation d'un panache d'effluents. Les écarts entre ces calculs peuvent être très importants pour diverses raisons: la diversité des conditions d'émission, les différences entre les techniques de mesures et les résultats expérimentaux utilisées. Ils divergent sur la définition de surhauteur et sur l'influence de la puissance calorifique à l'émission.

Nous nous contenterons d'exposer les formules permettant le calcul de la valeur approchée de la surhauteur, les plus souvent utilisées et qui donnent une meilleure estimation de la surhauteur.

2.7.2 FORMULE DE HOLLAND

La formule proposée par HOLLAND [10] est:

$$\Delta H = 1.5 d \frac{W_b}{U} + 9.56 \frac{Q}{U} \quad (2.2)$$

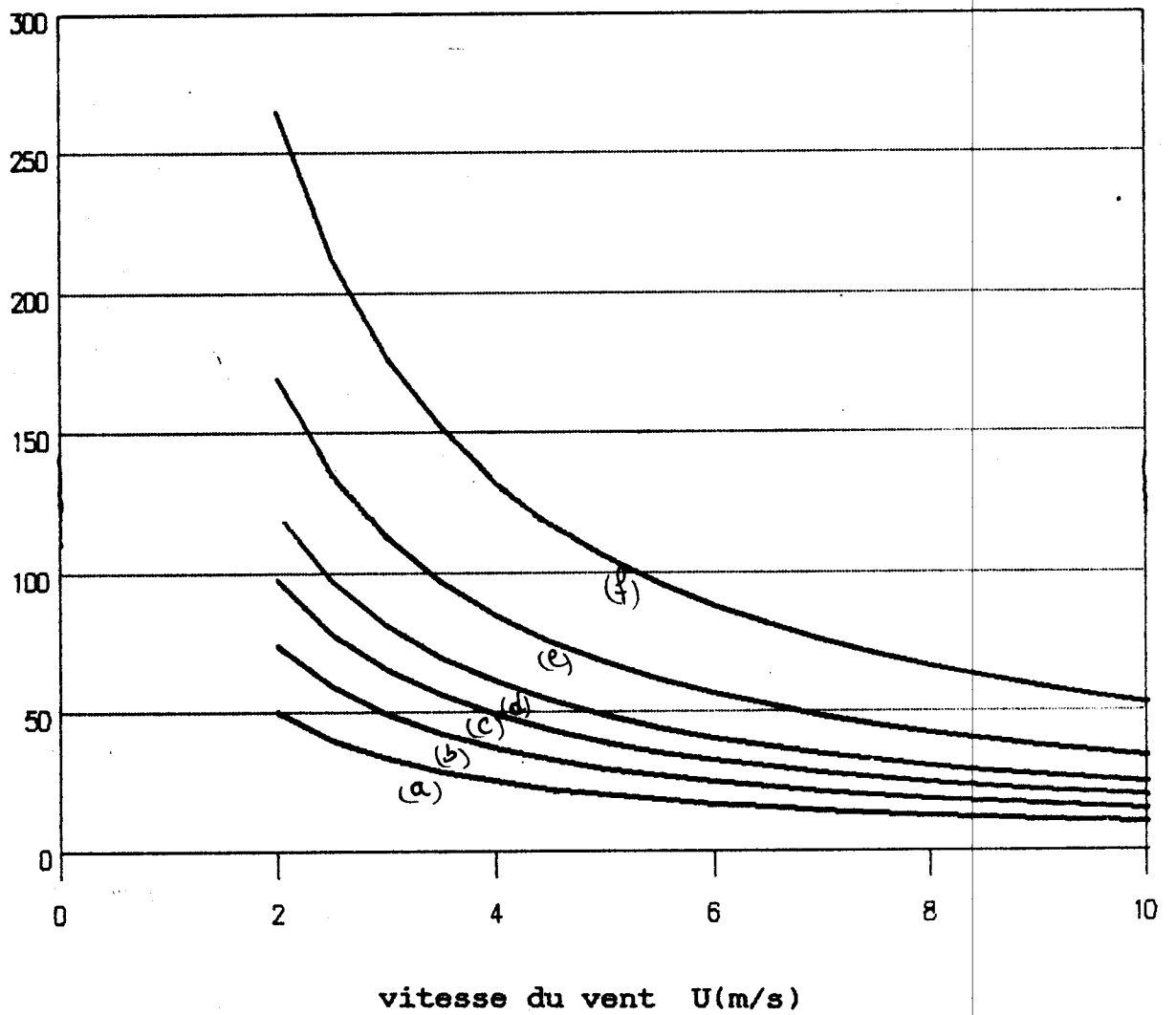


fig 8 : Evaluation de la surhauteur ΔH atteinte par le panache par la formule de HOLLAND, pour différentes puissances calorifiques Q .

(a) $Q=5\text{MW}$

(b) $Q=10\text{MW}$

(c) $Q=15\text{MW}$

(d) $Q=20\text{MW}$

(e) $Q=30\text{MW}$

(f) $Q=50\text{MW}$

où:

- d représente le diamètre intérieur de la cheminée (m),
- W_0 est la vitesse d'éjection à l'émission (m/s),
- Q le flux de chaleur à la sortie de la cheminée (MW),
- U la vitesse du vent (m/s).

L'avantage de cette formule est qu'elle sépare les effets surhauteur dynamiques et thermiques. Elle a été établie à partir d'expériences faites en soufflerie et complétée à partir d'observations faites sur des panaches émis par des cheminées de faible hauteur (de l'ordre de 50m).

La représentation graphique (fig 8) de la surhauteur d'après la formule de HOLLAND montre l'influence de la vitesse du vent sur l'évolution du panache ainsi on peut remarquer que plus la vitesse du vent augmente, plus la surhauteur a tendance à diminuer; par contre avec l'augmentation de Q et de W_0 , la surhauteur augmente proportionnellement.

2.7.3 FORMULE DE LUCAS

LUCAS a proposé la formule suivante pour calculer la surhauteur [1]:

$$\Delta H = \alpha \frac{Q^{1/4}}{U} \quad (2.3)$$

Cette formule est basée sur l'étude de Prietsley et sur des observations effectuées sur les sites de plusieurs centrales thermiques. Le coefficient α varie en fonction du site, des conditions de stabilité atmosphérique, et du type de cheminée.

$$\alpha = 475 + \frac{2}{3} (h_0 - 100) \quad (m^2.s^{-1}.MW^{-1/4})$$

où h_0 est la hauteur réelle de la cheminée variant de 50 à 150m .

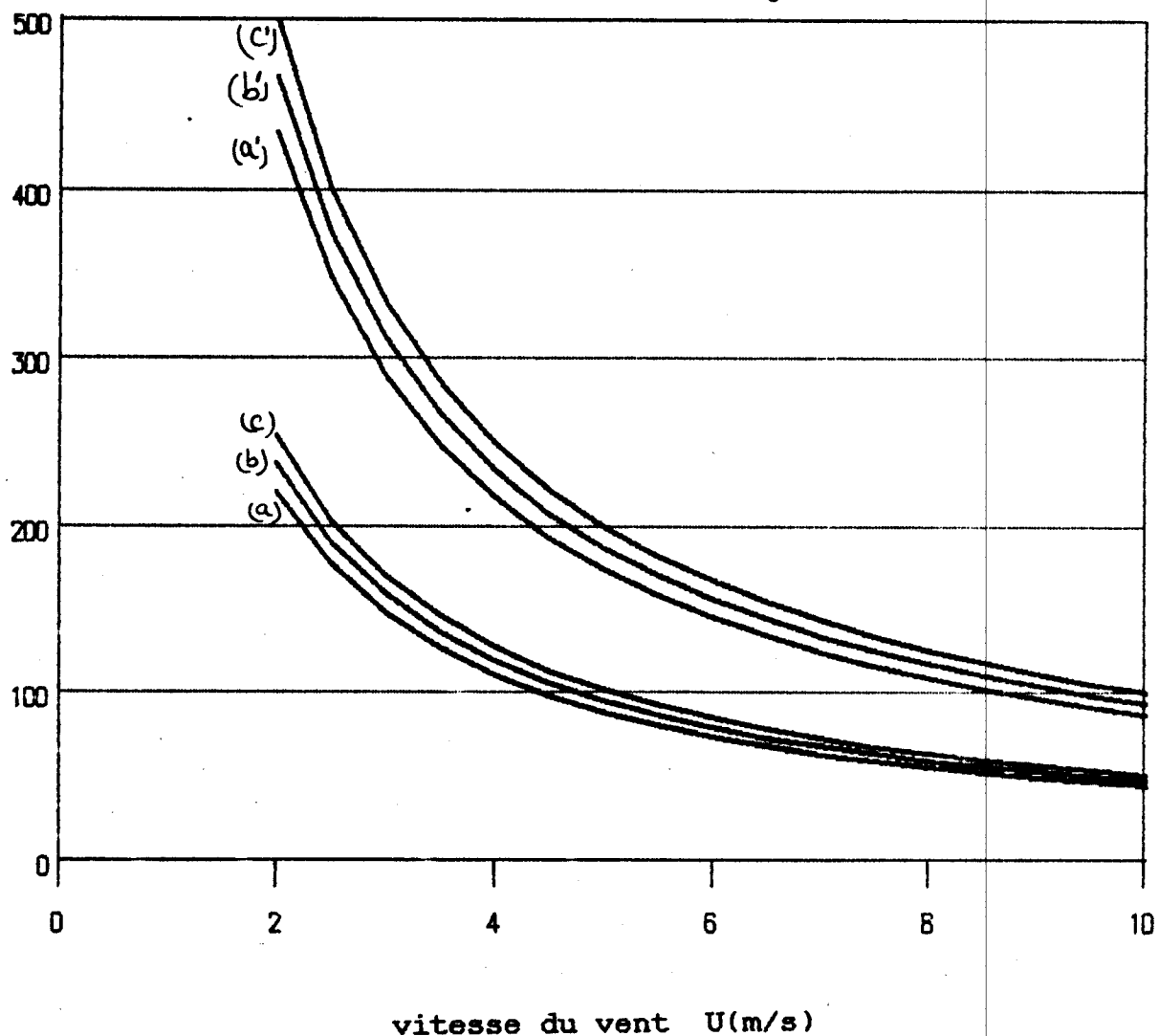


fig 9 : Evaluation de la surhauteur ΔH atteinte par le panache par la formule de LUCAS, pour différentes puissances calorifiques Q et différentes hauteurs de cheminées.

$h_0=50\text{m}$, (a) $Q=1\text{MW}$ (a') $Q=15\text{MW}$
 $h_0=100\text{m}$, (b) $Q=1\text{MW}$ (b') $Q=15\text{MW}$
 $h_0=150\text{m}$, (c) $Q=1\text{MW}$ (c') $Q=15\text{MW}$

Ainsi, on remarque qu'une large considération a été accordée à la hauteur de la cheminée vu que celle-ci joue un rôle très important sur l'altitude atteinte par le panache et même sur sa dispersion au cours de la troisième phase.(fig 9)

Le terme $\frac{2}{3} (h_0 - 100)$ tient compte de la décroissance du taux de turbulence de l'atmosphère en altitude, décroissance qui accentue l'effet de surélévation.

Expérimentalement, la formule de LUCAS donne de bons résultats pour les cheminées ne dépassant pas les 200 mètres.

2.7.4 FORMULE DE C.O.N.C.A.W.E

$$\Delta H = 86 \frac{Q^{1/2}}{U^{3/4}} \quad (2.4)$$

Cette formule a été établie principalement à partir de données de Rauch relatives au site de Duisburg(R.F.A). Bien que ce site soit équipé d'une centrale de faible puissance ($1\text{MW} < Q < 10\text{MW}$) et que les observations de panaches aient été faites à des distances n'excédant pas les 500m, la formule de CONCAWE semble rendre assez bien compte des observations effectuées à l'aval de six centrales thermiques de grande puissance.

Cette formule dite aussi de BRUMMAGE est classée parmi les meilleurs formules estimant la surhauteur dans le cas de centrales de faible puissance.

2.7.5 Formule de MOSES-CARSON

$$\Delta H = 82 \frac{Q^{1/2}}{U} \quad (2.5)$$

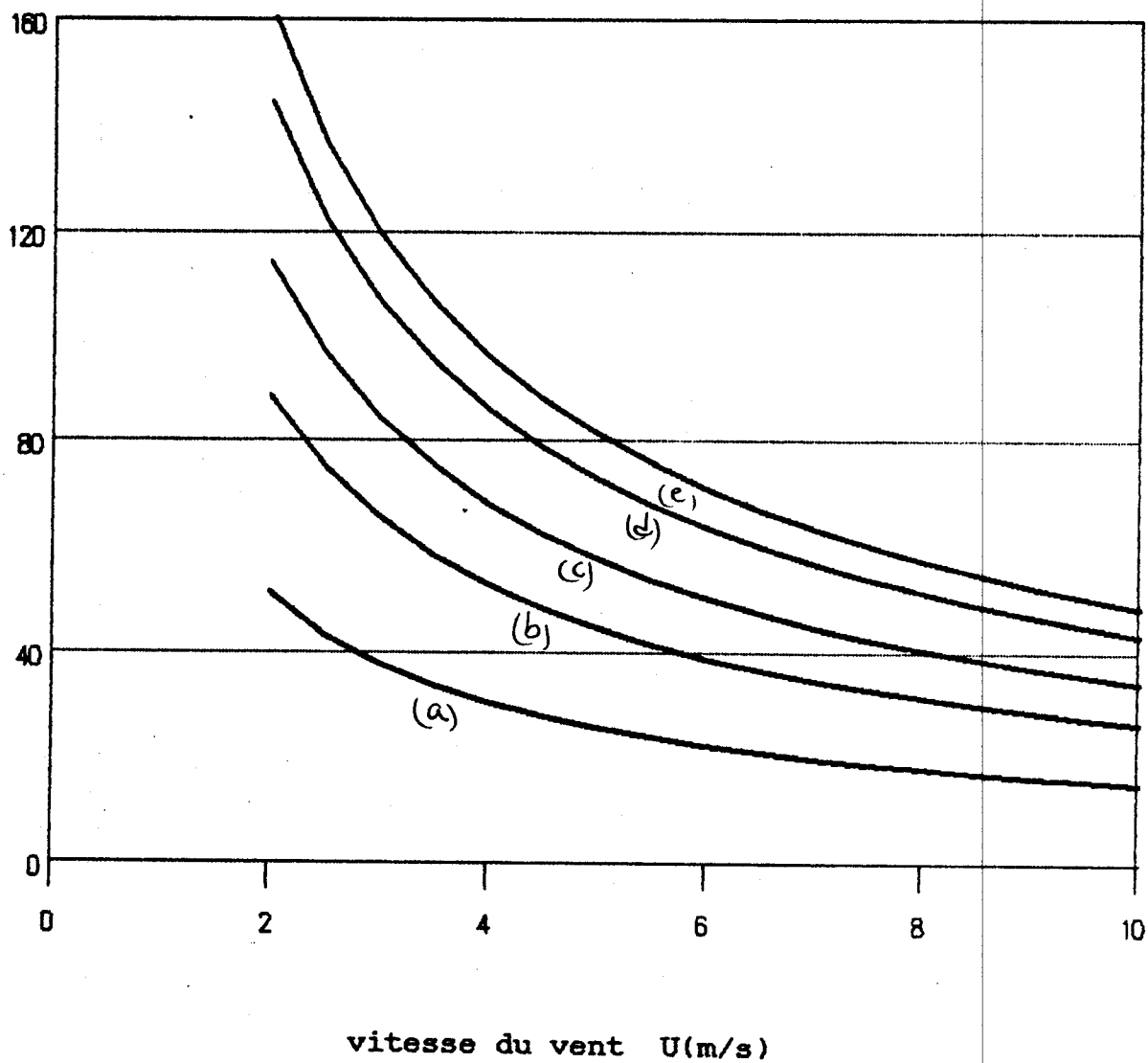


fig 10 : Evaluation de la surhauteur ΔH atteinte par le panache par la formule de BRUMMAGE, pour différentes puissances calorifiques Q .

(a) $Q=1$ MW

(b) $Q=3$ MW

(c) $Q=5$ MW

(d) $Q=8$ MW

(e) $Q=10$ MW

Cette formule a été aussi établie à partir d'observations effectuées en majorité à Duisburg. De ce fait, nous pouvons constater que les résultats de MOSES-CARSON s'approchent sensiblement de ceux de CONCAWE :

$$\frac{(\Delta H) \text{ CONCAWE}}{(\Delta H) \text{ MOSES}} \approx 1.04 U^{1/4}$$

En considérant les formules précédentes d'évaluation de la surhauteur, on observe l'importance des paramètres tel que la vitesse d'éjection de l'effluent, le diamètre intérieur de la cheminée et la puissance calorifique à l'émission qui varie d'une centrale à une autre et en fonction de la vitesse du vent qui joue un rôle déterminant sur la hauteur atteinte par le panache et sur sa dispersion.

2.7.6 Formule de BRINGFELT:

BRINGFELT propose plusieurs formules:

$$\begin{aligned} \Delta H &= \frac{103}{U} Q^{0.39} && \text{pour } x=250\text{m} \\ \Delta H &= \frac{167}{U} Q^{0.36} && \text{pour } x=500\text{m} \\ \Delta H &= \frac{224}{U} Q^{0.34} && \text{pour } x=1000\text{m} \end{aligned} \quad (2.6)$$

(Q est exprimée en MW).

Ces formules ont été fondées sur un grand nombre d'expériences.

- Pour des distances x comprises entre 250 et 500m , BRINGFELT trouve que le panache évolue en fonction de la distance suivant une loi $x^{2/3}$.

- Entre 500 et 1000m, cette loi n'est déjà plus vérifiée; la turbulence atmosphérique jouant un rôle plus important.

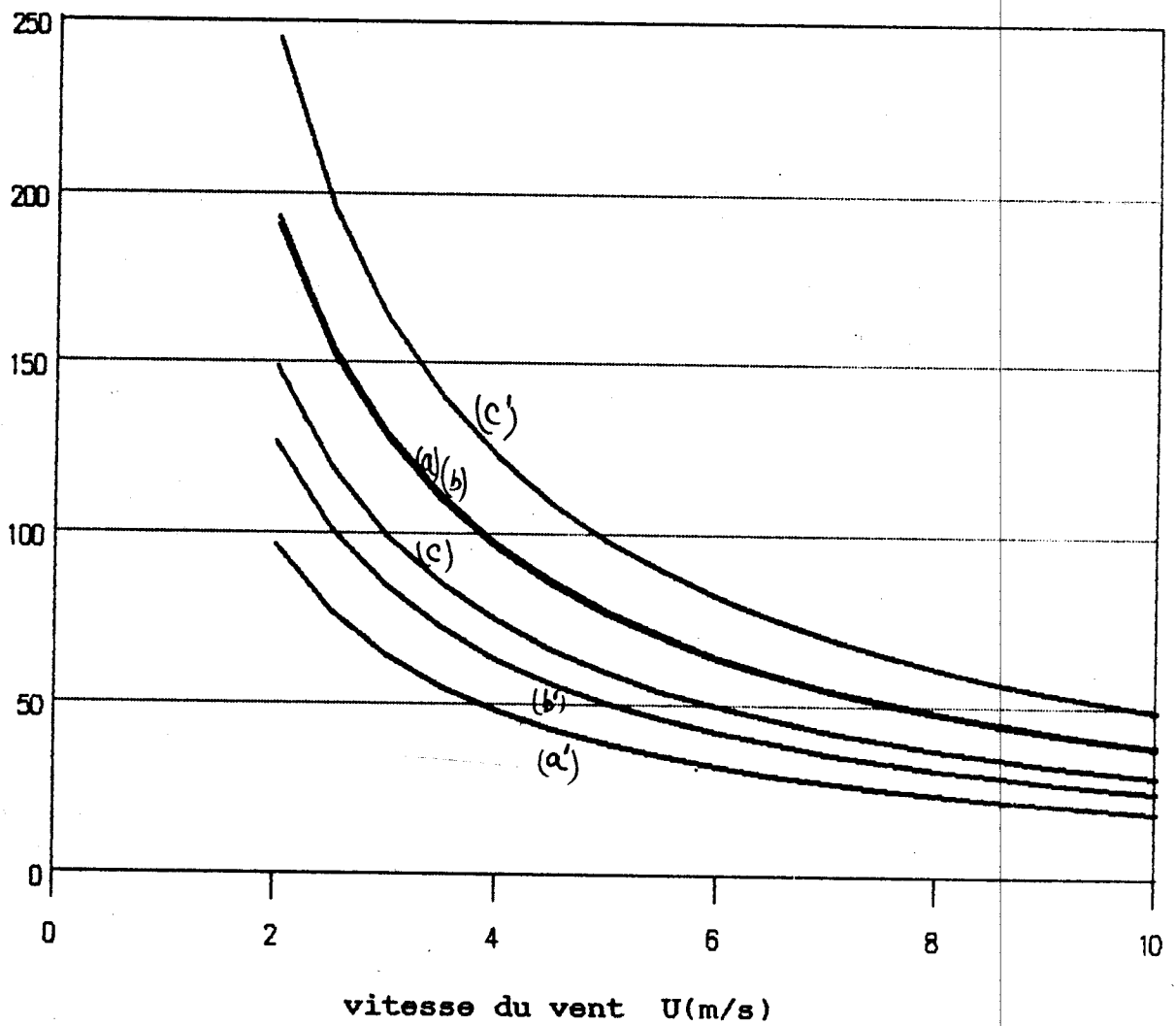


fig 12: Evaluation de la surhauteur ΔH atteinte par le panache par la formule de BRINGFELT, pour différentes puissances calorifiques Q et différentes distances à la source x .

$x=250m$	(a) $Q=5MW$	(a') $Q=10MW$
$x=500m$	(b) $Q=5MW$	(b') $Q=10MW$
$x=1000m$	(c) $Q=5MW$	(c') $Q=10MW$

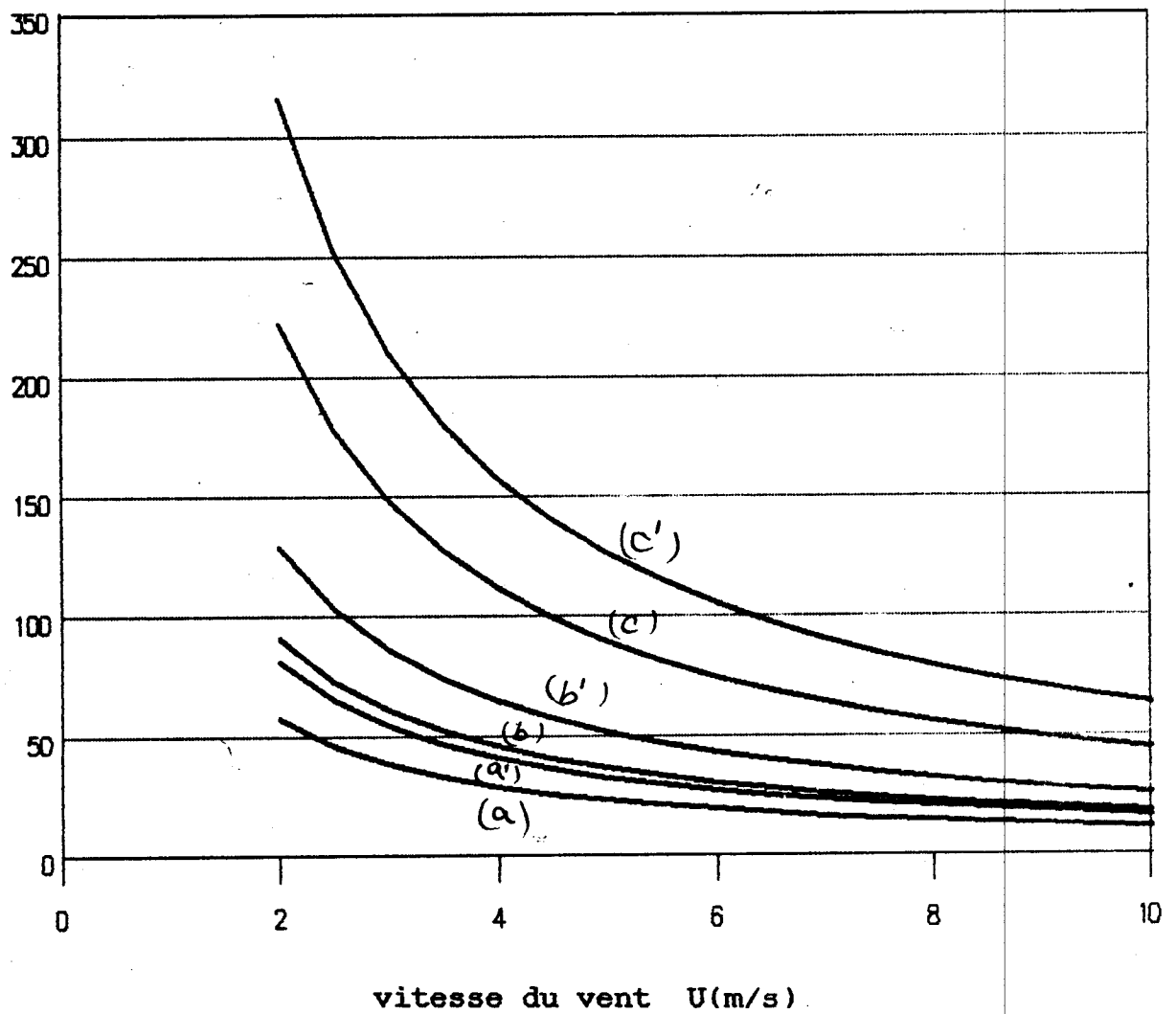


fig 11: Evaluation de la surhauteur ΔH atteinte par le panache par la formule de MOSES, pour différentes puissances calorifiques Q et différents cas de stabilité A .

$A=0.68$	(a) $Q=1000\text{KCAL}$	(a') $Q=2000\text{KCAL}$
$A=1.08$	(b) $Q=1000\text{KCAL}$	(b') $Q=2000\text{KCAL}$
$A=2.65$	(c) $Q=1000\text{KCAL}$	(c') $Q=2000\text{KCAL}$

$d=3.5\text{m}$ et $W_b=10\text{m/s}$

- Les valeurs obtenues à 1000m semblent être inférieures à celles données par LUCAS (Fig).

Ces écarts sont attribués à plusieurs circonstances:

- La formule de LUCAS n'est valable que pour des distances inférieures à 1Km.
- LUCAS utilise la vitesse du vent au niveau de la hauteur effective du panache et non au sommet de la cheminée.

2.7.7 Formule de WHALEY:

$$\Delta H = \frac{262}{U} Q^{1/4} \quad (2.7)$$

WHALEY utilise une définition de surhauteur légèrement différente de celle donnée par LUCAS, la surhauteur maximale est en effet définie comme étant la hauteur atteinte par le panache lorsque les effets de densité et la quantité de mouvement initiaux cessent de contribuer à l'élévation de l'axe du panache.

La figure (13) donne l'allure de la surélévation du panache pour des puissances calorifiques différentes. On constate que pour une puissance de 30MW, le panache atteint une hauteur de 300m; pour Q=15MW, il atteint environ 250m.

2.7.6 CHOIX D'UNE FORMULE D'EVALUATION DE SURHAUTEUR

La formule de CONCAWE introduit un biais assez important, car elle estime nettement la surhauteur dès que celle-ci dépasse 200m. En revanche, c'est incontestablement la meilleure formule dans le domaine des faibles surhauteurs.

La formule de LUCAS a tendance à surestimer les faibles surhauteurs (<200m) , pour lesquelles on observe une assez grande dispersion.

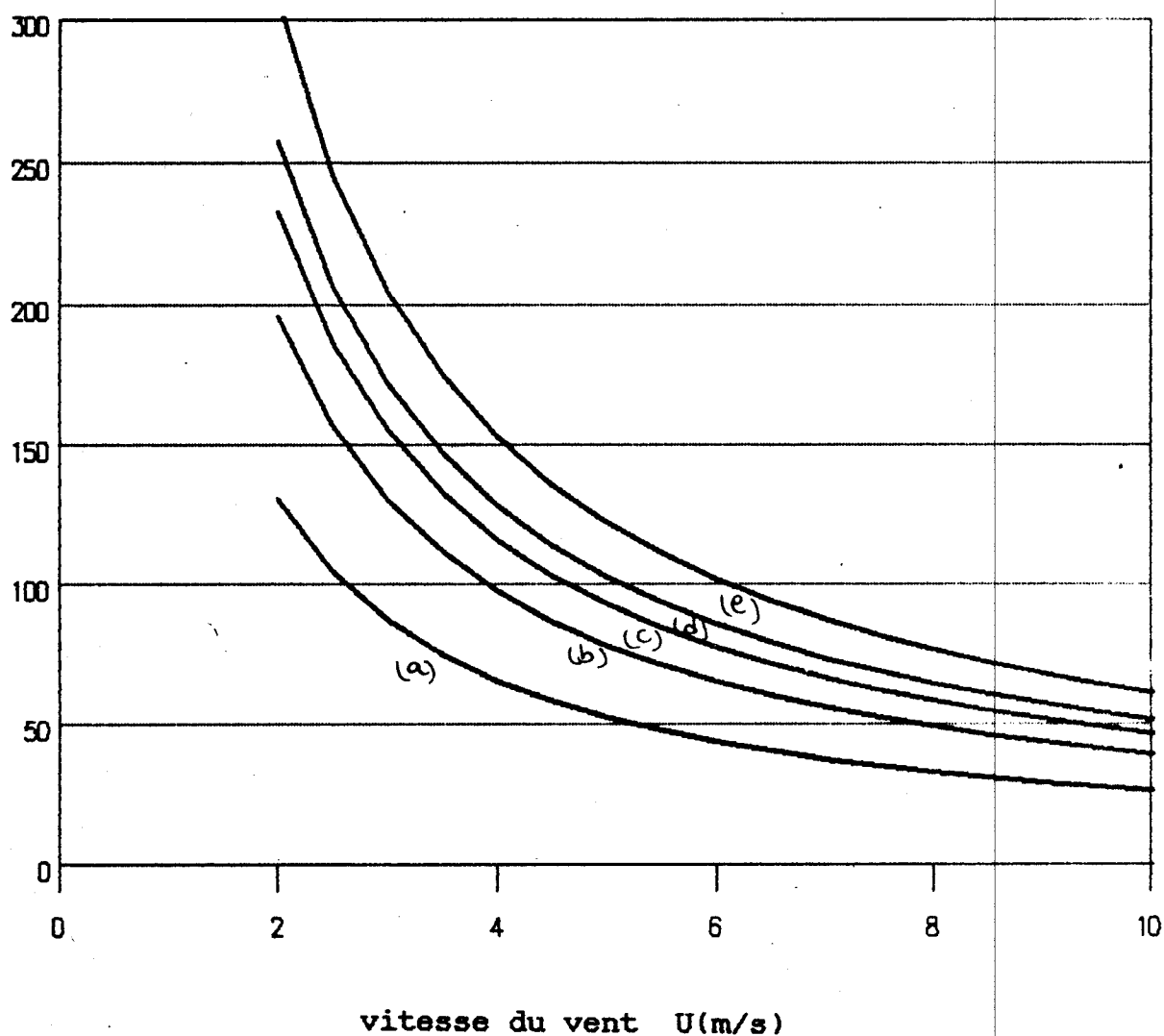


fig 13: Evaluation de la surhauteur ΔH atteinte par le panache par la formule de WHALEY, pour différentes puissances calorifiques Q .

(a) $Q=1$ MW

(b) $Q=5$ MW

(c) $Q=10$ MW

(d) $Q=15$ MW

(e) $Q=30$ MW

Parmi les points d'accord entre les différentes formules de surhauteur, on peut citer essentiellement la formulation de la surhauteur:

$$\Delta H = \text{constante} \times Q^a \cdot U^b$$

ΔH : Surélévation du panache

Q : Débit calorifique à l'émission.

U : Vitesse du vent horizontal au niveau du sommet de la cheminée.

a, b des paramètres qui varient d'une formule à une autre.

Ces formules qui permettent le calcul de la surhauteur divergent sur:

-la définition de la surhauteur,

-la puissance calorifique à l'émission.

2.8 APPROCHES THEORIQUES

2.8.1 Approche de BRIGGS

L'approche de BRIGGS donne les meilleurs résultats concernant le calcul de surhauteur pour les hautes cheminées ($H > 100$ mètres), du fait qu'il tient compte des conditions de stabilité (en admettant différents taux d'entraînement).

Il a proposé [] pour les cas neutres et instables, la relation

$$\Delta H = \left[\frac{1}{U(h)} \cdot \left[\frac{3 F}{2 \gamma_1^2} \right]^{1/3} \cdot x^{2/3} \right] f \quad (2.8)$$

où :

f est le facteur de correction semi-empirique ,

F est la force de poussée d'Archimède, $F = \frac{gV}{\eta} \left(1 - \frac{T_a}{T_b} \right)$

V est le débit volumique d'émission de la cheminée, $V = \pi r^2 W$

r est le rayon de la cheminée,

T_a est la température de l'air ambiant ,

T_b est la température de l'effluent à la sortie de la cheminée,

x est la distance à la source ,

γ_1 représente le coefficient d'entraînement donné par $\gamma_1 = 0.6$

avec:

$$f = \begin{cases} 1 & \text{pour } U(h) \leq W/1.5 \\ 0 & \text{pour } U(h) > W \\ \frac{3W - 3U(h)}{W} & \text{pour } W/1.5 < U(h) < W \end{cases}$$

et pour les cas stables, BRIGGS a définie la surhauteur de la manière suivante:

$$\Delta H = \begin{cases} \frac{F}{U(h) \cdot \gamma_1^2 \cdot S} & \pi U(h) \cdot S^{1/2} < 10h \\ \frac{3F}{U(h) \cdot \gamma_2^2 \cdot S} \left[1 - \cos \left[\frac{10 \cdot S^{1/2} \cdot h}{U(h)} \right] \right] & \pi U(h) \cdot S^{1/2} \geq 10h \end{cases} \quad (2.9)$$

où :

γ_2 est le coefficient d'entraînement pour les conditions stables,

$$\gamma_2 = 0.66$$

S est le facteur de stabilité, donné par la relation:

$$S = \frac{g}{T_a} \frac{\partial \theta}{\partial z} \quad (2.10)$$

$\frac{\partial \theta}{\partial z}$ étant le gradient vertical de température.

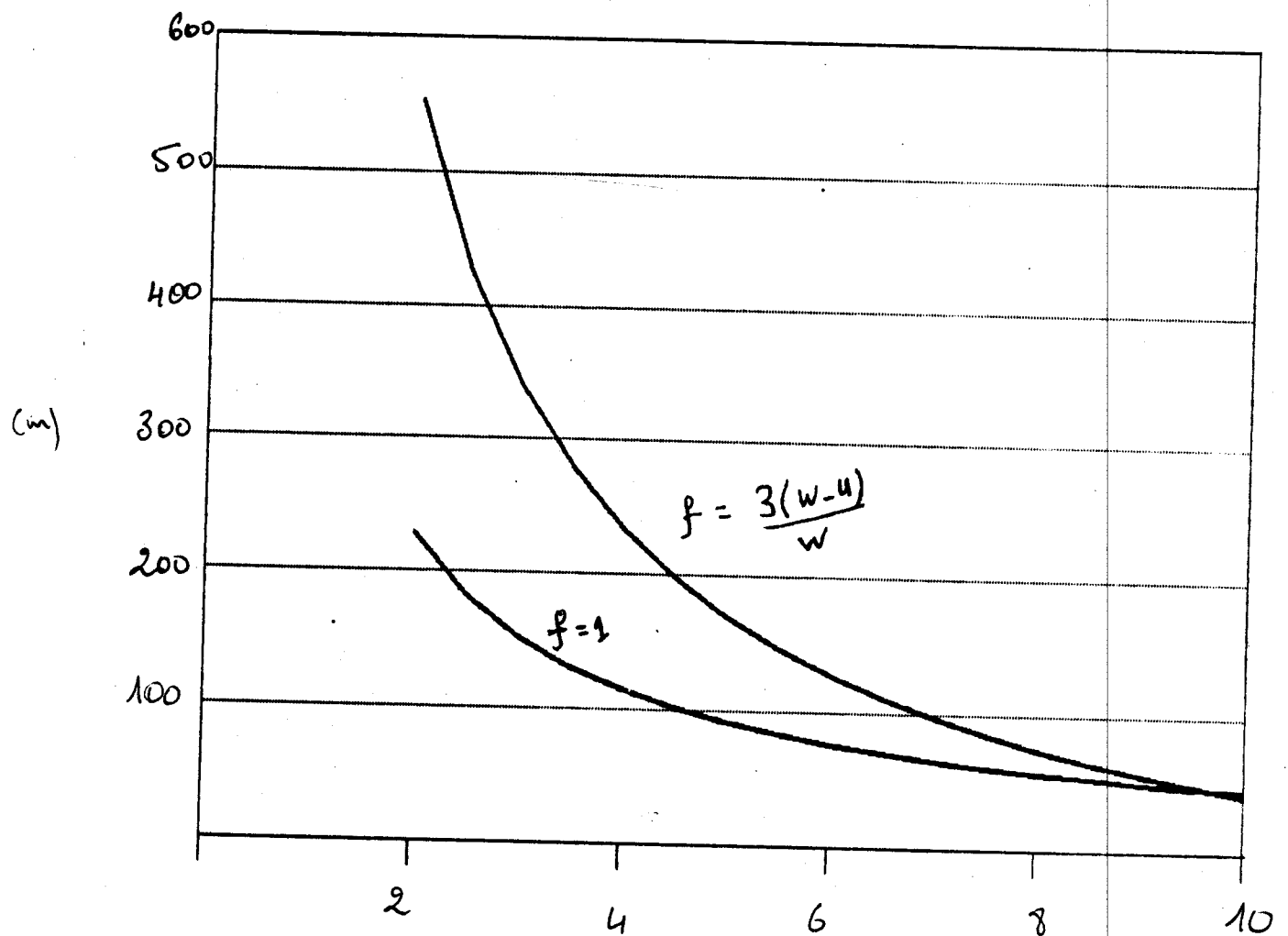


Fig : La surélévation du panache évaluée théoriquement par BRIGGS.

$$x = 250 \text{ m.}$$

$$T_s = 100^\circ\text{C.}$$

$$f = 1 \quad \leftrightarrow \quad W = 15$$

$$f = \frac{3(W-u)}{W} \quad \leftrightarrow \quad W = 12.$$



Sachant que pour les cas stables, $\frac{\partial \theta}{\partial z}$ doit être supérieure à la température adiabatique $-\Gamma$ ($= -1^\circ/100m$);

2.8.2 APPROCHE THEORIQUE DE PRIESTLEY

2.8.2.1 Equations de la première phase de l'évolution du panache:

Dans l'approche de PRIESTLEY [1], les équations de la première phase de l'évolution du panache sont prises en considérant le point de départ des équations générales élémentaires d'un jet chaud en coordonnées cylindriques sont:

- L'équation de continuité qui s'écrit:

$$\frac{\partial}{\partial r} (rw\rho) + \frac{\partial}{\partial z} (rwp) = 0 \quad (2.11)$$

- L'équation du mouvement vertical:

$$\rho u \frac{\partial w}{\partial r} + \rho w \frac{\partial w}{\partial z} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r\tau) + \rho g z \quad (2.12)$$

$$\text{avec :} \quad \rho g z = \rho g \frac{\theta'}{\theta_a}$$

θ' est l'écart de température potentielle entre le panache et l'atmosphère;

θ_a est la température potentielle dans l'atmosphère;

En multipliant l'éq (3.6) par rw , il advient:

$$rw\rho \frac{\partial w}{\partial r} + w^2 \frac{\partial (rw\rho)}{\partial z} = w \frac{\partial (r\tau)}{\partial r} + rw\rho g z \quad (2.13)$$

On ajoute au premier membre de cette équation le terme suivant, qui est nul, par suite de l'équation de continuité:

$$\frac{1}{2} w^2 \left[\frac{\partial}{\partial r} (r w \rho) + \frac{\partial}{\partial z} (r w \rho) \right] \quad (2.14)$$

et l'on obtient:

$$r w \rho \frac{\partial w}{\partial r} + w^2 \frac{\partial (r w \rho)}{\partial z} + \frac{1}{2} w^2 \frac{\partial}{\partial r} (r w \rho) + \frac{1}{2} w^2 \frac{\partial}{\partial z} (r w \rho) = w \frac{\partial (r \rho)}{\partial r} + r w \rho g z \quad (2.15)$$

On remarque que le premier membre de l'éq (2.9) est le développement de:

$$\frac{\partial}{\partial r} \left[\frac{1}{2} r w^2 \rho \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\frac{1}{2} r w^2 \rho \right] \quad (2.16)$$

L'équation définitive s'écrit sous la forme :

$$\frac{\partial}{\partial r} \left[\frac{1}{2} r w^2 \rho \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\frac{1}{2} r w^2 \rho \right] = w \frac{\partial}{\partial r} (r \rho) + \rho g r w \frac{\partial}{\partial z} \quad (2.17)$$

2-Equation de conservation de la chaleur:

L'équation générale est de la forme :

$$C_p \frac{DT}{Dt} = -k \nabla T = -\text{div } q \quad (2.18)$$

Elle s'écrit dans ce cas là:

$$\rho C_p \left(u \frac{\partial T}{\partial r} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = -\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r q_r) \quad (2.19)$$

soit en tenant compte de l'équation de continuité:

$$\frac{\partial}{\partial r} (r u \rho T) + \frac{\partial}{\partial z} (r w \rho T) = - \frac{1}{C_p} \frac{\partial}{\partial r} (r q_r) \quad (2.20)$$

Cette équation reste valable en remplaçant T par $\theta = \theta_a + \theta'$

En développant le premier membre de cette équation, le terme en $\frac{\partial \theta_a}{\partial r}$ disparaît ainsi que le terme en θ_a (qui est nul par suite de l'équation de continuité) et l'on obtient la forme suivante de l'équation de conservation de chaleur:

$$\frac{\partial}{\partial r} (r u \rho \theta') + \frac{\partial}{\partial z} (r w \rho \theta') = \frac{1}{C_p} \frac{\partial}{\partial r} (r q_r) - r w \rho \frac{\partial \theta_a}{\partial z} \quad (2.21)$$

Dans les équations précédentes, u est la vitesse radiale, τ_r est la tension verticale de frottement, q_r est le flux de chaleur radiale, θ' représente l'écart entre les températures potentielles dans le panache θ et dans l'atmosphère θ_a .

Compte tenu des conditions aux limites $r \rightarrow \infty$, qui imposent que les termes $r q_r$, τ_r , w, θ' , tendent vers 0 et que $(r u \rho)$ garde une valeur finie, on peut intégrer ces équations par rapport à r.

$$\frac{d}{dz} \int_0^\infty r w^2 \rho \, dr = \frac{g}{\theta_a} \int_0^\infty r \theta' \rho \, dr \quad (2.22)$$

$$\frac{d}{dz} \int_0^\infty r w^3 \rho \, dr = \frac{g}{\theta_a} \int_0^\infty r w \theta' \rho \, dr - \int_0^\infty r \tau_r \frac{\partial w}{\partial r} \, dr \quad (2.23)$$

$$\frac{d}{dz} \int_0^\infty (r w \rho \theta') \, dr = - \frac{\partial \theta_a}{\partial z} \int_0^\infty r w \rho \, dr \quad (2.24)$$

Pour pouvoir poursuivre ces intégrations, il est nécessaire d'introduire à ce niveau une première hypothèse : les distributions radiales des grandeurs w, θ' et τ_r seront censées rester semblables à elles-mêmes, c'est à dire que l'on introduit trois fonctions f, h et j ne dépendant pas de z et définies de la manière suivante:

$$w = w_m f\left(\frac{r}{R}\right) \quad ; \quad \theta' = \theta'_m h\left(\frac{r}{R}\right) \quad ; \quad \tau = \frac{1}{2} \rho w_m j\left(\frac{r}{R}\right)$$

Dans ces expressions, w_m et θ'_m sont les valeurs de w et θ' sur l'axe du panache et R une dimension radiale caractéristique qui n'est autre que le rayon du panache.

Les équations deviennent alors:

$$\frac{d}{dz} (R^2 w_m^2) = a R^2 \frac{\theta'_m}{\theta_a} g \quad (2.25)$$

$$\frac{d}{dz} (R^2 w_m^3) = b R^2 w_m \frac{\theta'_m}{\theta_a} g - c R w_m^3 \quad (2.26)$$

$$\frac{d}{dz} (R^2 w_m \theta'_m) = -d R^2 w_m \frac{\partial \theta_a}{\partial z} \quad (2.27)$$

où a, b, c, d sont des expressions numériques où n'interviennent que les fonctions f, h et j :

$$a = \frac{\int_0^\infty x h(x) dx}{\int_0^\infty x f^2(x) dx} \quad , \quad x = \frac{r}{R}$$

En supposant alors que les fonctions f et h représentent des distributions normales identiques,

$$f(x) = h(x) = e^{-x^2/2}$$

On trouve les valeurs suivantes: $a=d=2$, et $b=3$

En éliminant les termes contenant θ'_m/θ_a dans les deux premières équations, il vient :

$$W^3 \frac{dR^2}{dz} = 2cW^3R \quad \text{ou} \quad \frac{dR}{dz} = c$$

soit $R=cz$ en supposant $R=0$ pour $z=0$.

Cette loi de proportionnalité entre la hauteur et le rayon du panache est ici une propriété qui sera d'autant mieux satisfaite que les distributions de w et θ' seront plus proches des distributions normales.[10]

L'intégration du système (3.19)(3.20)(3.21) ne pose alors aucune difficulté : la dernière équation s'écrivant :

$$R^2 w \theta' = A \quad (2.28)$$

avec $A = \frac{Q}{\pi \rho C_p}$

La solution générale donnant les lois d'évolution des paramètres du panache dans sa première phase d'évolution a pour expression :

$$w = \left[\frac{2A_g}{2 \theta_a c^2 z} + \frac{B}{z^3} \right]^{1/3} \quad (2.29)$$

$$\theta' = \frac{A}{c^2 z^2} \left[\frac{3A_g}{2 \theta_a c^2 z} + \frac{B}{z^3} \right]^{-1/3} \quad (2.30)$$

B est une constante d'intégration dont la valeur est fixée par une condition aux limites :

$$B = W_o^3 Z_o^3 - \frac{3A_g}{2 \theta_o c^2} Z_o^2 \quad \text{avec} \quad Z_o = \frac{R_o}{c} \quad (2.31)$$

où R_o est le rayon intérieur de la cheminée.

2.8.2.2 Equations de la seconde phase d'évolution du panache:

L'équation locale du mouvement écrite en coordonnées cylindriques en projection sur l'axe du panache pris comme axe OZ s'écrit:

$$\frac{dw}{dt} = \frac{\theta'}{\theta_a} g - K_1 \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \frac{\partial w}{\partial r}) \quad (2.32)$$

$\frac{\partial K_1}{\partial r}$ étant supposé nul.

On pose ensuite comme précédemment (2.8.2.1), de la première phase:

$$\begin{aligned} W &= W_m f(x) \\ \theta' &= \theta'_m f(x) \\ \text{avec } x &= \frac{r}{R} \end{aligned}$$

et l'on intègre l'équation précédente par rapport à x de zéro à l'infini :

$$\frac{d(W_m)f}{dt} dx = g \frac{\theta'_m}{\theta_a} \int_0^\infty f dx - K_1 \frac{W_m}{R^2} \int_0^\infty \frac{1}{x} \frac{d}{dx} (x \frac{df}{dx}) dx \quad (2.33)$$

$$\text{Or} \quad \frac{d(W_m)}{dt} = f \frac{dW_m}{dt} \quad \text{car} \quad \frac{df}{dt} = 0$$

$$\text{d'où} \quad \frac{dW_m}{dt} \int_0^\infty f(x) dx = g \frac{\theta'_m}{\theta_a} \int_0^\infty f(x) dx - \frac{K_1 W_m}{R^2} \int_0^\infty \frac{1}{x} \frac{d}{dx} (x \frac{df}{dx}) dx \quad (2.34)$$

Soit encore, en posant:

$$C_1 = \frac{\int_0^\infty \frac{1}{x} \frac{d}{dx} (x \frac{df}{dx}) dx}{\int_0^\infty f(x) dx} \quad (2.35)$$

$$\frac{dW_m}{dt} = g \frac{\theta'_m}{\theta_a} - K_1 \frac{C_1}{R^2} W_m$$

On désormais l'indice m et en posant:

$$k = \frac{K_1 C_1}{R^2}$$

La première équation du système décrivant la seconde phase d'évolution du panache du panache est:

$$\frac{dW}{dt} = \frac{g\theta'}{\theta_a} - kW_1 \quad (2.36)$$

Equation de Conservation de la chaleur:

En supposant l'égalité des diffusivités turbulentes K_1 et K_2 , on établit de même que l'équation de conservation de la chaleur s'écrit:

$$\frac{d\theta'}{dt} = -k\theta' \quad (2.37)$$

Le coefficient k qui figure dans les deux équations du système (2.36)(2.37) est appelé "taux de mélange turbulent". Il représente à un coefficient numérique près (C_1), le rapport d'une diffusivité turbulente au carré d'une longueur et Prietsley propose : $k = \frac{8K}{R_1^2}$

où R_1 est le rayon du panache à la fin de la première phase.

En réservant l'indice 1, pour les valeurs relatives à la fin de la première phase, les lois d'évolution du panache de θ' et W en fonction du temps s'écrivent:

$$\theta' = \theta'_1 e^{-k(t-t_1)}$$

$$W' = \left[W_1 + \frac{g\theta'_1}{\theta_a} (t-t_1) \right] e^{-k(t-t_1)}$$

L'intégration de $t=t_1$ à $t=\infty$ de la dernière équation donne la côte maximum du panache d'où la surélévation:

$$Z_{\max} = Z_1 + \frac{W_1}{k} + g \frac{\theta'_1}{k^2 \theta_a} \quad (2.38)$$

Il reste encore à déterminer W_1 et Z_1 .

Pour se faire, on écrit qu'au point où s'effectue la transition entre les deux premières phases, la solution générale trouvée précédemment (celui de la première phase) doit satisfaire également le système d'équations qui décrit la seconde phase. On aura donc, en désignant pour α le rapport:

$$W_1^3 = \frac{\alpha}{Z_1} + W_0^3 \frac{Z_0^3}{Z_1^3} - \alpha \frac{Z_0^2}{Z_1^3} \quad \left(\begin{array}{l} \text{(solution de la première)} \\ \text{phase} \end{array} \right) \quad (2.39)$$

$$\text{et } \frac{dW_1}{dZ_1} = \frac{g\theta'_1}{\theta_a W_1} - k \quad (\text{deuxième phase}) \quad (2.40)$$

L'équation (2.39) permet de remplacer θ'_1 par $\frac{A}{R_1^2 W_1}$ et après dérivation de l'éq (2.40) par rapport à Z . On obtient finalement une équation du 3ème degré en Z_1^2 :

$$Z_1^6 - aZ_1^2 - b = 0 \quad (2.41)$$

avec:

$$a = \frac{\alpha}{k^3} = - \frac{3Ag}{2k^3 \theta_a c^2}$$

$$b = \frac{B}{k^3} = W_0^3 \frac{Z_0}{k^3} - \frac{3Ag}{2 \theta_a c^2} \cdot \frac{Z_0}{k^3}$$

Une résolution approchée de cette équation a été indiquée par (LUCAS, MOORE et SPURR):

pour $a^3 > b^2$, $Z_1 = (1,075 \pm 0,075) a^{1/4}$

pour $a^3 < b^2$, $Z_1 = (1,075 \pm 0,075) b^{1/6}$

pour $a^3 = b^2$, $Z_1 = 1,15 b^{1/6} = 1,15 a^{1/6}$

La détermination de W_1 ne présente pas de difficultés. A partir des relations (16) et (17), on montre que $W_1 = k Z_1$. Ce dernier résultat permet d'expliciter la survélévation $Z_{\max}$ en fonction de Z_1 .

$$Z_{\max} = Z_1 + \frac{W_1}{k} + g \frac{\theta'_1}{k^2 \theta_0} \quad (2.42)$$

On sait que, $\theta'_1 = \frac{A}{R_1^2 W_1}$ (équation de conservation de la chaleur)

et que

$$R_1 = C Z_1$$

il en résulte:

$$Z_{\max} = 2 Z_1 + \frac{2a}{3 Z_1^3}$$

Il suffit alors de remplacer Z_1 par l'une de ses expressions approchées pour obtenir une formule de surhauteur dans laquelle ne figurent que a et b . Dans le cas de cheminées industrielles (centrales thermiques etc...), la condition $a^3 > b^2$ est généralement satisfaisante si bien que b ne figure pas dans l'expression finale.

$$Z_{\max} = (2.68 \pm 0.05) a^{1/4} \quad (2.43)$$

La condition $a^3 > b^2$ est vérifiée lorsque les conditions suivantes le sont:

$$\begin{cases} W_0 U < \frac{3}{2} g \frac{\theta_0 - \theta_{ao}}{\theta_{ao}} x_{kN} \\ Z_0 \ll Z_1^2 \end{cases}$$

Le problème est théoriquement résolu pour le cas neutre; mais la formule ci-dessus n'est pas encore exploitable pratiquement car le terme a contient les grandeurs k et C qui n'ont été explicitées.

Priestley fait alors deux hypothèses supplémentaires:

1°) Dans la 1^{ère} phase, il suppose que C^2 est proportionnel à U, vitesse horizontale du vent

$$C^2 = \frac{U}{U_c}$$

U_c est une vitesse caractéristique à laquelle Priestley assigne la valeur standard $U_{cs} = 4.27 \text{ m/s}$ (14ft/s).

2°) Dans la seconde phase, il suppose que l'évolution du rayon du panache en fonction de la distribution horizontale x est une exponentielle définie par:

$$\frac{1}{R} \frac{dR}{dx} = \frac{1}{2 x_{kN}}$$

x_{kN} est une distance caractéristique à laquelle Priestley assigne une valeur standard

$$x_{kN} = 305\text{m} \text{ (1000 ft)}$$

Dans ces conditions, le "taux de mélange turbulent", k est déterminé par les relations:

$$k = \frac{U}{x_{kN}}$$

La formule donnant la surhauteur est alors:

$$\Delta h = Z_c \# 2.68 \left[\frac{3 g 10^6}{2 \theta_{ao} n \rho_a C_p} \right]^{1/4} U_c^{1/4} x_{kN}^{3/4} Q^{1/4} U^{-1}$$

Pour $\theta_{ao} = 283^\circ K$, cette dernière formule s'écrit:

$$\Delta H = Z_c = 5700 \beta Q^{1/4} U^{-1} \quad (2.44)$$

Le coefficient β vaut 1 si U_c et x_{kN} sont effectivement égaux à leurs valeurs standard U_{cs} et x_{ks} . Dans le cas contraire, il vaut:

$$\beta = \left[\frac{x_{kN}}{x_{ks}} \right]^{3/4} \left[\frac{U_c}{U_{cs}} \right]^{1/4}$$

La définition de x_k est la même que celle de x_{kN} , seulement x_k se rapporte au cas d'instabilité envisagé alors que x_{kN} est définie pour le cas de l'atmosphère neutre.

2.9 CONCLUSION

Les méthodes de calcul utilisées pour l'évaluation des concentrations d'effluents issus des cheminées comprennent deux étapes:

- Dans ce chapitre , on s'est intéressé aux deux premières phases de l'évolution du panache en cherchant plus particulièrement la hauteur atteinte par celui-ci à la fin de la seconde phase, appelée hauteur effective de la cheminée.

La différence entre la hauteur effective et la hauteur réelle de la cheminée est appelée surhauteur ou encore surélévation.

Cette surélévation dépend des états de stabilité de l'atmosphère et des caractéristiques de la centrale. L'étude de la variation de cette surhauteur en fonction de la vitesse du vent et de la puissance calorifique de la centrale sont en accord avec les résultats expérimentaux [1].

La dispersion du panache dans sa troisième phase dépend en partie de cette surhauteur.

Il s'agit de bien estimer correctement cette surhauteur pour pouvoir calculer avec plus d'exactitude la concentration d'effluents au sol.

CHAPITRE 3

DIFFUSION DES EFFLUENTS

GAZEUX EMIS PAR LES CENTRALES

THERMIQUES

3.1 INTRODUCTION

La dispersion d'un panache émis par une source ponctuelle (dans notre cas, on a considéré une cheminée), passe par trois phases:

- 1/ Une première phase où le panache est vertical,
- 2/ Une seconde phase où le panache se courbe ,
- 3/ Une troisième phase où le panache tend à devenir horizontal: cette phase est appelée phase de diffusion du panache qui englobe trois autres phases : Fig (3.1)

PHASE 1 : où la diffusion atmosphérique est à l'échelle locale,

PHASE 2 : la diffusion atmosphérique s'étend de plus en plus à l'échelle régionale,

PHASE 3 : c'est la phase où la diffusion arrive à l'échelle continentale.

La phase qui nous intéresse est la diffusion du panache à l'échelle locale vu que celle-ci est très importante car à ce niveau là, la concentration des effluents est plus intense et la diffusion à l'échelle régionale et continentale dépendent de cette dernière.

3.2 THEORIE DE LA DIFFUSION:

On peut distinguer d'une part la diffusion moléculaire due au mouvement aléatoire et incessant des molécules, d'autre part, la diffusion turbulente due au champ de turbulence de l'atmosphère.

La description mathématique de ces phénomènes est basée :

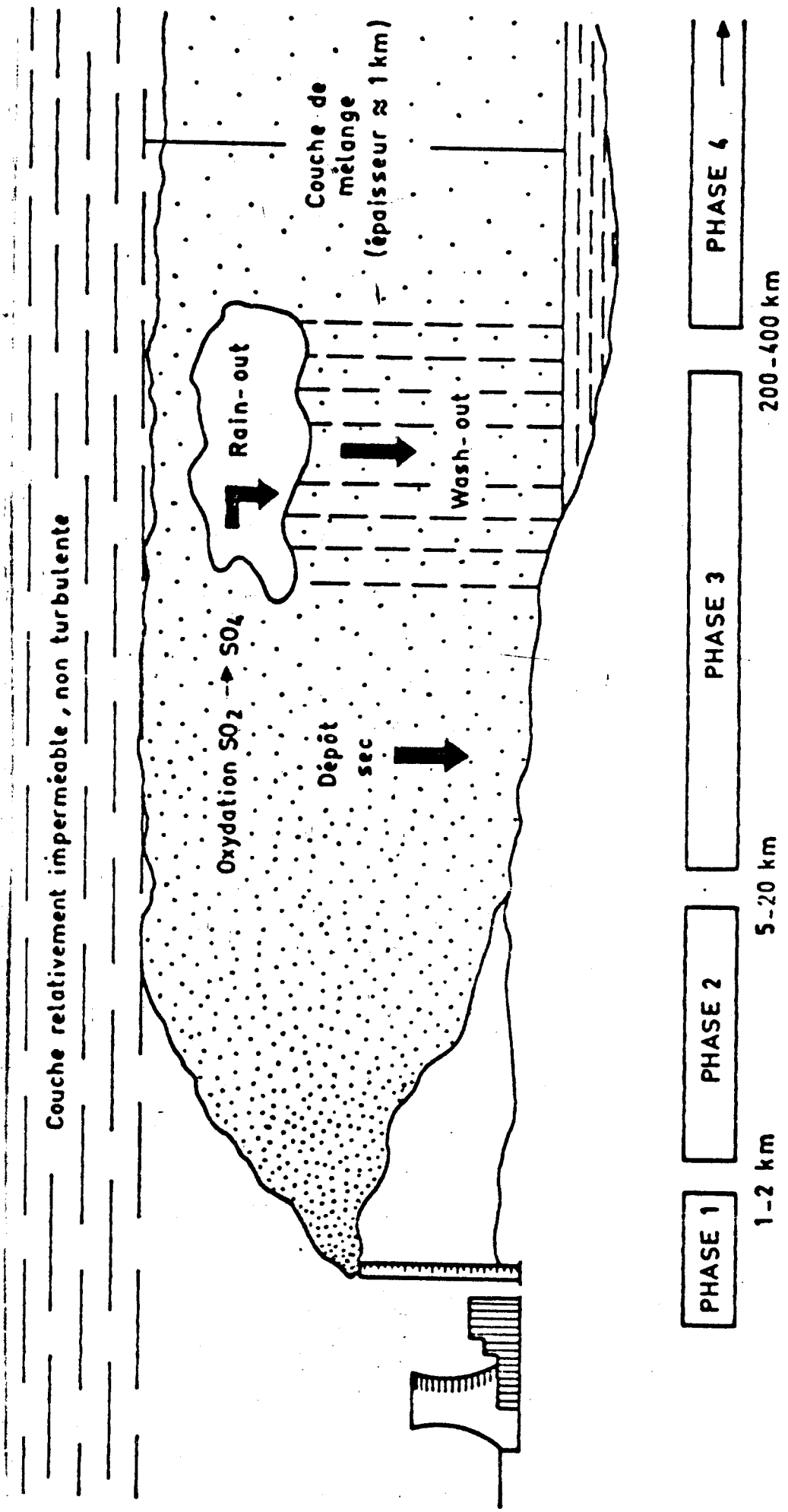


Fig. 3.1 : LES QUATRE PHASES PRINCIPALES DE LA DISPERSION ATMOSPHERIQUE

- PHASE 1 : SURELEVATION DU PANACHE
- PHASE 2 : DIFFUSION ATMOSPHERIQUE A ECHELLE LOCALE
- PHASE 3 : DIFFUSION ATMOSPHERIQUE A ECHELLE REGIONALE
- PHASE 4 : DIFFUSION ATMOSPHERIQUE A ECHELLE CONTINENTALE

- soit sur les théories classiques de la mécanique des fluides.

- soit sur les théories statistiques.

3.2.1. THEORIE DE TRANSFERT: TURBULENCE ATMOSPHERIQUE:

La turbulence atmosphérique est régie par deux critères:

-Un critère dynamique basé sur le nombre de REYNOLDS , qui détermine la turbulence de l'atmosphère:

$$Re = \frac{u \cdot L}{\mu}$$

u : est la vitesse moyenne du vent,

L : est une dimension caractéristique des obstacles,

μ : est la viscosité cinématique de l'air.

-Un critère thermique basé sur le nombre de RICHARDSON qui détermine la stabilité de la turbulence atmosphérique:

$$R_i = \frac{g}{T} \frac{(\frac{\partial T}{\partial Z} + \Gamma)}{(\frac{\partial U}{\partial Z})^2}$$

où :

g représente l'accélération de la pesanteur,

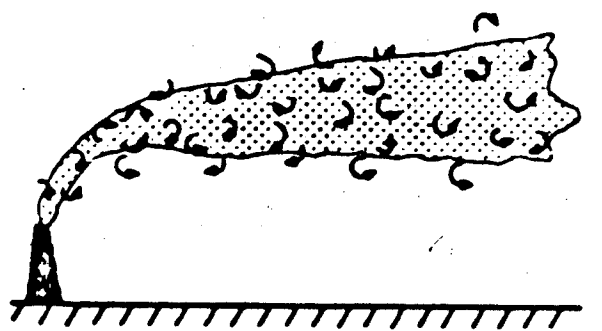
T représente la température,

Γ est le gradient adiabatique,

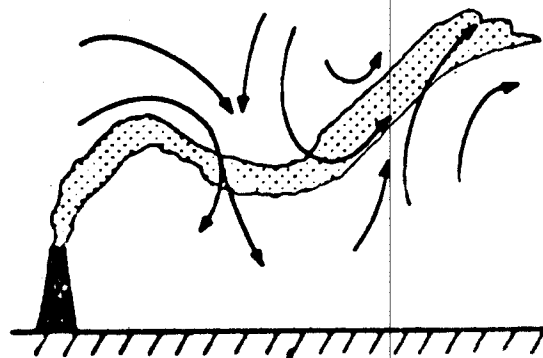
Z est l'altitude.

La figure (3.2) représente l'effet des tourbillons sur la dispersion d'un panache.

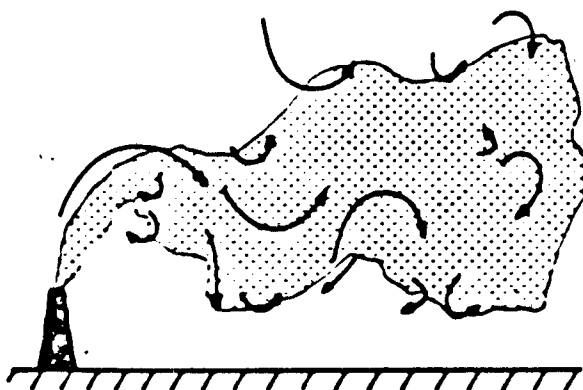




Vent moyen - Petits tourbillons



Vent moyen - Gros tourbillons



Vent moyen - Tourbillons de différentes tailles

Fig.3.2: EFFET DE LA TAILLE DES TOURBILLONS
TURBULENTS SUR LA DISPERSION D'UN PANACHE

3.2.2 DIFFUSION MOLECULAIRE ET DIFFUSION DE MASSE:

EQUATION DE DIFFUSION DE MASSE:

L'introduction d'un contaminant passif de même masse volumique dans un écoulement fluide entraîne une variation plus ou moins rapide de sa concentration dans une particule de fluide marquée dont on suit le déplacement: c'est le phénomène général de diffusion.

Plusieurs mécanismes participent à cette variation :

1/ La diffusion moléculaire: qui est due à l'agitation moléculaire.

2/ La convection par le fluide vecteur dont les particules sont généralement animées de vitesses différentes celles situées à l'instant origine dans un volume V_0 donné , se trouvent à l'instant t dans un volume V_t de forme différente. Ce phénomène est lié au mouvement du fluide.

3/ La diffusion turbulente qui est un effet convectif résultant des fluctuations désordonnées du mouvement des particules (et non pas seulement des molécules).

On peut classer les effets de ces mécanismes selon un ordre croissant : la diffusion moléculaire, la diffusion turbulente et le transport convectif dû au mouvement moyen.

L'équation générale de la diffusion est établie à partir d'une modélisation du flux de contaminant entraîné par l'agitation moléculaire supposant qu'il est proportionnel au gradient de concentration normalement à la surface élémentaire considérée.

Dans le cas d'un écoulement turbulent, on obtient l'équation d'évolution d'un scalaire passif (pour notre cas, c'est la concentration):

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial t} + U_i \frac{\partial \bar{C}}{\partial x_i} = - \frac{\partial}{\partial x_i} (\bar{U}_i' \bar{C}') + D \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial x_i^2} + S \quad (3.1)$$

$\bar{C}$ désigne la concentration,

U_i désigne la composante i de la vitesse,

D est le coefficient de diffusion moléculaire ,

S désigne le terme source,

$\bar{C}, \bar{U}_i$ désignent les grandeurs moyennes par rapport au temps.

C', U_i' représentent les fluctuations turbulentes de C et U_i par rapport au temps.

La convection due au mouvement moyen est caractérisée par U_i ,

$\frac{\partial \bar{C}}{\partial x_i}$, la diffusion turbulente par $\frac{\partial}{\partial x_i} (\bar{U}_i' \bar{C}')$, et la diffusion

moléculaire par $D \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial x_i^2}$.

On voit aussi que le transfert de $\bar{C}$ à travers un élément de surface dû à l'agitation moléculaire et caractérisé par une diffusivité moléculaire D , est augmenté d'un transfert turbulent égal au flux du vecteur $-\bar{U}_i' \bar{C}'$.

Par analogie avec la diffusion moléculaire, les théories conventionnelles surmontent le caractère non-linéaire du phénomène de diffusion en exprimant le terme de transport turbulent $\bar{U}_i' \bar{C}'$ par une relation flux-gradient:

$$\bar{U}_i' \bar{C}' = - K_{ij} \frac{\partial \bar{C}}{\partial x_j} \quad (3.2)$$

K_{ij} représente un tenseur du 2ème ordre : C'est le tenseur de diffusivité turbulente.

La plupart des modèles applicables à l'étude de la dispersion atmosphérique partent de l'équation précédente (3.1) ainsi linéarisée où l'on néglige le terme de diffusion moléculaire et où l'on ne retient que les éléments diagonaux du tenseur de diffusivité:

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial t} + U_i \frac{\partial \bar{C}}{\partial x_i} = - \frac{\partial}{\partial x_i} (K_{ii} \frac{\partial \bar{C}}{\partial x_i}) + S \quad (3.3)$$

Cette équation est une expression plus générale de la loi de Fick dans le cas d'une diffusion tridimensionnelle, non homogène, non isotrope.

La résolution de cette équation nécessite l'introduction de profils de diffusivité K_{ii} qui permettent d'exprimer les caractéristiques turbulentes de l'écoulement. (la diffusivité n'est pas une propriété du fluide, c'est une grandeur locale qui varie par exemple avec Z et qui est fonction de l'échelle d'espace considérée et donc des échelles de turbulences).

Bien que la turbulence atmosphérique est responsable de la dispersion des effluents gazeux dans l'atmosphère, il n'existe pas actuellement de théorie complète permettant de décrire les mécanismes de la diffusion turbulente.

3.3. FORMULES DE DIFFUSION:

Le problème d'estimation de la dispersion à partir des cheminées industrielles sont de nature appliquée.

La préoccupation principale est de ne pas dépasser certains seuils de concentrations de polluants au sol pour les différentes situations météorologiques rencontrées.

Les moyens mis en oeuvre pour l'étude de la dispersion en similitude sont:

- La soufflerie aérodynamique,
- Le canal à eau.

Ces deux techniques sont en fait complémentaires; la soufflerie aérodynamique est utilisée dans le cas d'écoulements modérément stables, neutres, modérément instables et très instables tandis que le modèle hydrodynamique est utilisé dans le cas d'une atmosphère stable. [11]

On peut considérer qu'il existe 4 formules usuelles de diffusion d'un panache pour calculer la concentration massique au sol $C(x,y,0,H)$:

1. Formule de BOSANQUET et PEARSON:

$$C(x,y,0,H) = \frac{q_m}{\sqrt{2\pi} p q x^2 U} \exp \left[- \frac{1}{2} \left(\frac{y}{p x} \right)^2 - \frac{H}{p x} \right] \quad (3.4)$$

2. Formule de SUTTON:

$$C(x,y,0,H) = \frac{2 q_m}{C_y C_z x^{2-n} U \pi} \exp \left[- \frac{1}{x^{2-n}} \left(\frac{y^2}{C_y} + \frac{H^2}{C_z} \right) \right] \quad (3.5)$$

3. Formule de CALDER:

$$C(x,y,0,H) = \frac{q_m U}{2 K^2 a U_*^2 x^2} \exp \left[- \frac{U}{K U_* x} \left(\frac{y}{a} + H \right) \right] \quad (3.6)$$

4. Formule de PASQUILL:

$$C(x,y,0,H) = \frac{q_m}{\pi \sigma_y \sigma_z U} \exp \left[- \frac{1}{2} \left(\frac{y}{\sigma_y} \right)^2 - \frac{1}{2} \left(\frac{H}{\sigma_z} \right)^2 \right] \quad (3.7)$$

où x , y , et H représentent les coordonnées à la source, q est le débit masse émis, H est la hauteur de la cheminée, σ_y et σ_z représentent les écarts types des distributions latérale et verticale des concentrations, U est la vitesse du vent, U_* est la vitesse de frottements au sol.

La formule de BOSANQUET et PEARSON, et CALDER ne s'appliquent que dans le cas d'une atmosphère neutre.

Les formules de SUTTON et PASQUILL peuvent être utilisées dans tous les cas de stabilité. Pour cela, PASQUILL propose des abaques qui donnent les lois de variations de σ_y et σ_z pour les six cas de stabilité.

3.3.1 LES ETATS DE STABILITE DE L'ATMOSPHERE:

On peut considérer que l'atmosphère est divisé en plusieurs états de stabilité variant en fonction de plusieurs paramètres météorologiques.

La structure turbulente de l'atmosphère et la vitesse du vent sont prises en compte par les classes de stabilité, qui sont elles-mêmes déterminées à partir de la vitesse du vent à la hauteur de 10m et de l'intensité du rayonnement solaire. Pendant la nuit (c'est à dire 1heure avant le coucher du soleil et 1heure après son lever), les classes de stabilité sont déterminées à partir de la vitesse du vent et de la nébulosité.

La signification des lettres A, B, C, D, E, F, est la suivante:

- classe A : très instable
- classe B : instable
- classe C : légèrement instable
- classe D : neutre
- classe E : stable
- classe F : très stable

VITESSE DU VENT (à 10m)	JOUR			NUIT	
	Rayonnement Solaire Incident			nébulosité comprise entre 4/8 et 7/8	nébulosité ≤ 3/8
	Fort	Modéré	Faible		
< 2	A	A-B	B	F	F
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

PAR TEMPS CLAIR: (i.e nébulosité 3/8)

Le rayonnement solaire incident est fort lorsque la hauteur du soleil est $\geq 60^\circ$; il est modéré lorsque cette hauteur est comprise entre 60° et 35° , il est faible lorsque cette hauteur est comprise entre 35° et 15° .

PAR TEMPS MOYENNEMENT COUVERT: (i.e nébulosité comprise entre 4/8 et 7/8)

On passe avec les mêmes hauteurs de soleil du rayonnement fort au rayonnement modéré etc .

PAR TEMPS ENTIEREMENT COUVERT:

On considère que la classe D est obtenue de nuit comme de jour, et quelle que soit la vitesse du vent.

Dans le cas où dispose de mesures du rayonnement solaire incident, il est utile de pouvoir transcrire en chiffres les appellations de fort, modéré, faible.

Pour cela, HINO propose :

Rayonnement fort signifie

$$RS \geq 600 \text{ W/m}^2$$

Rayonnement modéré

$$300 \text{ W/m}^2 < RS < 600 \text{ W/m}^2$$

Rayonnement faible

$$RS \leq 300 \text{ W/m}^2$$

3.3.2 Formule de SUTTON:

$$C(x,y,0,H) = \frac{2 q_m}{C_y C_z x^{2-n} U \Pi} \exp \left[- \frac{1}{x^{2-n}} \left(\frac{y^2}{C_y} + \frac{H^2}{C_z} \right) \right]$$

SUTTON suppose que $C_y = C_z$ pour $Z \geq 25$

Le tableau suivant donne les variations de C_y et C_z , et n en fonction de Z et de l'état de stabilité de l'atmosphère. [22]

ETAT DE STABILITE	n	Z au dessus du sol (m)			
		25	50	75	100
INSTABLE	0.20	0.21	0.17	0.16	0.12
NEUTRE	0.25	0.12	0.10	0.09	0.07
MODEREMENT STABLE	0.33	0.08	0.06	0.05	0.04
STABLE	0.50	0.06	0.05	0.04	0.03

Nous avons étudié la variation de la concentration du panache en fonction de la hauteur de la cheminée et des états de stabilité de l'atmosphère du tableau précédent.

1. ETAT INSTABLE: Voir Fig (3.3.1 ... 3.3.5)

L'état de stabilité de l'atmosphère est instable donc on est dans la classe B ; D'après les figures représentatives de la concentration en fonction de la hauteur de la cheminée, on constate que la courbure de la concentration se rétrécit pour les hauteurs ne dépassant pas les 100m, et a tendance à s'élargir au fur et à mesure que la hauteur augmente, pour devenir approximativement constantes en dépassant les 250m. Ces courbes passent par un maximum qui^{4e} est située à une distance d'environ 1400m pour une hauteur de cheminée de 75m et à une distance de 4000m pour une hauteur de 200m.

D'autre part, le point donnant le maximum de la concentration est de l'ordre de $4 \cdot 10^{-5}$ g/s pour $H=75$ m, et de $0,5 \cdot 10^{-5}$ g/s pour $H=200$ m. La comparaison de ces courbes pour différentes valeurs de Z ($Z=25, 50, 75, 100$ m), permet de déclarer qu'il y'a un léger déplacement du maximum pour cette classe là.

La figure (3.3.5) traduit l'influence de la hauteur de la cheminée et de la distance au-dessus du sol Z sur la concentration de l'effluent.

2. ETAT NEUTRE: Voir Fig (3.4.1 ... 3.4.4)

Cet état de l'atmosphère est représenté par la classe D. On a étudié la même variation de la concentration que précédemment et on a remarqué que pour une hauteur de 75m, la courbure de la concentration s'élargissait par rapport à la classe B et le maximum pour les différentes hauteurs se déplaçait en fonction de la distance à la source.



Pour $Z=25m$ et $h=75m$, le maximum se situe à $x=1800m$, pour $Z=50m$ et $h=75m$, il se situe à $x=2000m$, à $Z=100m$, il dépasse les $2500m$. La Fig (3.4.5) met en évidence cette variation.

3. ETAT MODEREMENT STABLE: Voir Fig (3.5.1 ... 3.5.5)

Cet état se situe entre les classes D et E.(M)

On remarque d'après les figures ci-dessus que le maximum continue à se déplacer sur l'axe des x (en fonction de la distance à la source) et que ces courbes ont tendance à devenir horizontaux à partir de $x=24000m$ alors que pour la classe B c'était pour $x=400m$. Remarquons aussi que l'ordonnée de la concentration est pratiquement la même pour une hauteur de cheminée constante.

4. ETAT STABLE: Voir Fig (3.6.1 ... 3.6.5)

Cet état est représenté par la classe E.

Dans cette classe, la courbe représentative de la concentration pour $H=200m$ devient presque horizontale et ne présente plus de maximum. Pour $H=75m$, la courbe présente un maximum à environ $x=10000m$ ce qui nettement plus loin que pour la classe B ($x=1400m$).

Toutes ces figures ont été représentés pour des valeurs constantes de la vitesse du vent ($U=5m/s$) et du débit-masse ($Q=10 Kg/s$).

3.3.3 EXPOSE DE LA METHODE DE PASQUILL-TURNER:

La plupart des formules de diffusion sont basées sur l'idée que la distribution des concentrations dans un panache ou un nuage est gaussienne. Une des formules les plus utilisées est celle de PASQUILL qui s'écrit sous sa forme la plus générale:

$$C(x,y,z) = \frac{Q}{2\pi \sigma_y \sigma_z U} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y}{\sigma_y} \right)^2 \right] \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{Z-H}{\sigma_z} \right)^2 \right] \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{Z+H}{\sigma_z} \right)^2 \right] \quad (3.8)$$

Pour des concentrations au niveau du sol dans l'axe du panache(y=0), l'éq (3.9) devient:

$$C(x,0,0) = \frac{Q}{\pi \sigma_y \sigma_z U} \left[-\frac{1}{2} - \frac{H}{\sigma_z} \right] \tag{3.10}$$

La méthode de PASQUILL-TURNER ne peut être appliquée qu'en zone rurale ou terrain découvert. Pour les zones urbaines, la rugosité au sol et les effets d'ilot chaud font que lorsqu'on observe une atmosphère stable à l'extérieur de la ville, on observe en fait, en ville, une première couche neutre ou légèrement instable (dont l'épaisseur est plusieurs fois la hauteur moyenne des bâtiments) surmontée d'une couche stable.

Actuellement, c'est la formule de PASQUILL complétée par les travaux de TURNER qui est la plus utilisée, parce qu'elle permet de déduire les caractéristiques de dispersion de l'atmosphère, d'où la raison de notre choix.

Classe	x < 1 Km			x > 1Km		
	a	b	c	a	b	c
A	0.215 0.467	0.858 1.89	0 0.01	mêmes coefficients que pour x < 1Km		
B	0.155 0.103	0.889 1.11	0 0			
C	0.105 0.066	0.903 0.915	0 0			
D	0.068 0.0315	0.908 0.822	0 0			
E	0.050 0.0232	0.914 0.745	0 0	0.050 0.148	0.914 0.15	0 -0.126
F	0.034 0.0144	0.908 0.727	0 0	0.034 0.0312	0.908 0.306	0 -0.017

Les écarts-type σ_y et σ_z sont données par les figures (3.7) et (3.8).

Les paramètres σ_y et σ_z dépendent de la distance à la source et de l'état de stabilité de l'atmosphère. En fait, ils dépendent aussi de la rugosité de surface, de la durée d'échantillonnage et de la hauteur de la source. Les valeurs des paramètres σ_y et σ_z proposées par PASQUILL, correspondent à un état de surface moyennement rugueux, des durées d'échantillonnage de 10 minutes, et une hauteur qui n'excède pas la première centaine de mètres.

Les courbes représentatives de la variation de la concentration en fonction de la distance à la source (voir Fig (3.9...3.14)) nous permet de voir la dépendance de la concentration en fonction de la hauteur de la cheminée et des classes de stabilités de l'atmosphère. Par exemple, pour $H=100m$, classe B, le maximum se situe à environ à $2,3 \cdot 10^{-5} g/s$ et pour la même hauteur, elle est de l'ordre de $1,8 \cdot 10^{-5} g/s$ dans la classe E. Pour la classe F, le maximum n'est pas visible à la distance $x=100Km$.

Nous avons utilisé ces deux formules dans le but d'observer la variation de la concentration du polluant en fonction de la distance à la source, de la hauteur de la cheminée, et des conditions météorologiques dans lesquelles les états de stabilité de l'atmosphère jouent un rôle déterminant., afin de déterminer la concentration maximum et la localiser dans les différents cas.

3.2. CONCENTRATION MAXIMALE ABSOLUE:

Le maximum est situé sous l'axe du panache. Son abscisse x_m annule en effet la dérivée $dC(x,0,0,H)$. On peut faire évoluer les conditions d'émission afin de déterminer une concentration maximale absolue C_m . C_m s'exprimant généralement en fonction de la vitesse du vent U , de la hauteur effective $H=h_0 + \Delta h$ et du débit masse q_m . Pour un débit masse donné, C_m s'obtient par rapport à U seul. La valeur critique U_{cr} du vent. Son expression peut être calculée en introduisant dans C_m la formule générale de surhauteur:

$$\Delta H = \alpha . Q^a . U^b$$

L'existence de cette vitesse critique peut être suggérée intuitivement en remarquant que si U était rigoureusement nulle, ΔH serait infini et les concentrations au sol nulles. Inversement, si U est infinie, ΔH serait nulle et les concentrations au sol encore nulles car le débit de polluant reste fini. Entre ces cas extrêmes, il existe donc une vitesse de vent pour laquelle la concentration au sol passe par un maximum.

Nous avons étudié également la variation de la concentration en fonction des classes de stabilité (Fig (3.15)), et on remarqué que la concentration suit un chemin hyperbolique pour les classes A,B,C,D pour devenir constante pour les classes E et F.

La variation de la concentration en fonction de la distance à la source d'après la formule de PASQUILL a été également représentée dans l'espace pour les différents états de stabilité de l'atmosphère.

3.5 CONCLUSION:

En examinant ce chapitre , on peut conclure que la diffusion dans l'atmosphère des effluents dépend de plusieurs paramètres météorologiques et physiques affectant leur dispersion.

1/ la hauteur effective de la cheminée dont dépend directement la concentration de l'effluent.

2/ l'état de stabilité de l'atmosphère.

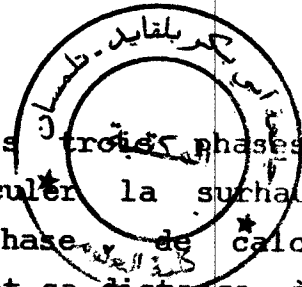
On peut dire que les formules de diffusion d'un panache du type de celle de SUTTON et de PASQUILL donnent une première approximation assez bonne du champ des concentrations dans le cas le plus simple à savoir lorsque les trois conditions sont remplies:

1/ La source de polluants (cheminée) est isolée.

2/ L'émission des polluants est connue et continue, tous les facteurs atmosphériques dont dépend l'état de stabilité étant constants au cours du temps.

3/ Le site considéré est très peu accidenté et ne présente pas d'importantes rugosités.

Nous pouvons affirmer que l'étude des trois phases de l'évolution du panache nous a mené à calculer la surhauteur atteinte par celui-ci à la fin de la seconde phase, de calculer la concentration et enfin repérer le maximum et sa distance à la source pour prendre les dispositions nécessaires afin de l'éviter.



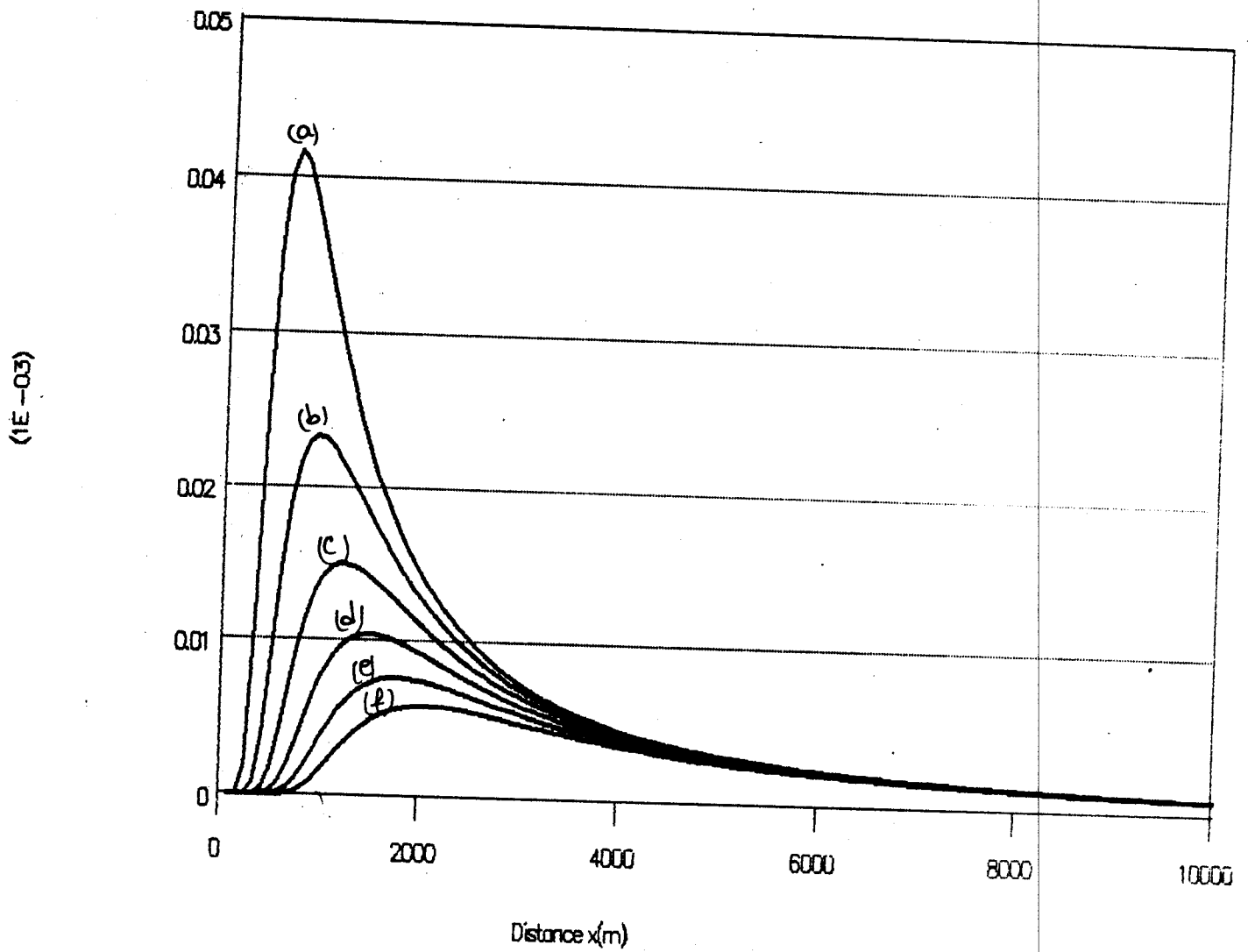


fig331: Variation de la concentration normalisée (CU/Q) en fonction de la distance à la source (x), pour différentes hauteurs de cheminée à $Z=25m$.SUTTON , STABILITE (B).

(a) $h=75m$	(b) $h=100m$	(c) $h=125m$
(d) $h=150m$	(e) $h=175m$	(f) $h=200m$

$U=5m/s$

$Q=10000 \text{ Kg/s}$

(1E-03)

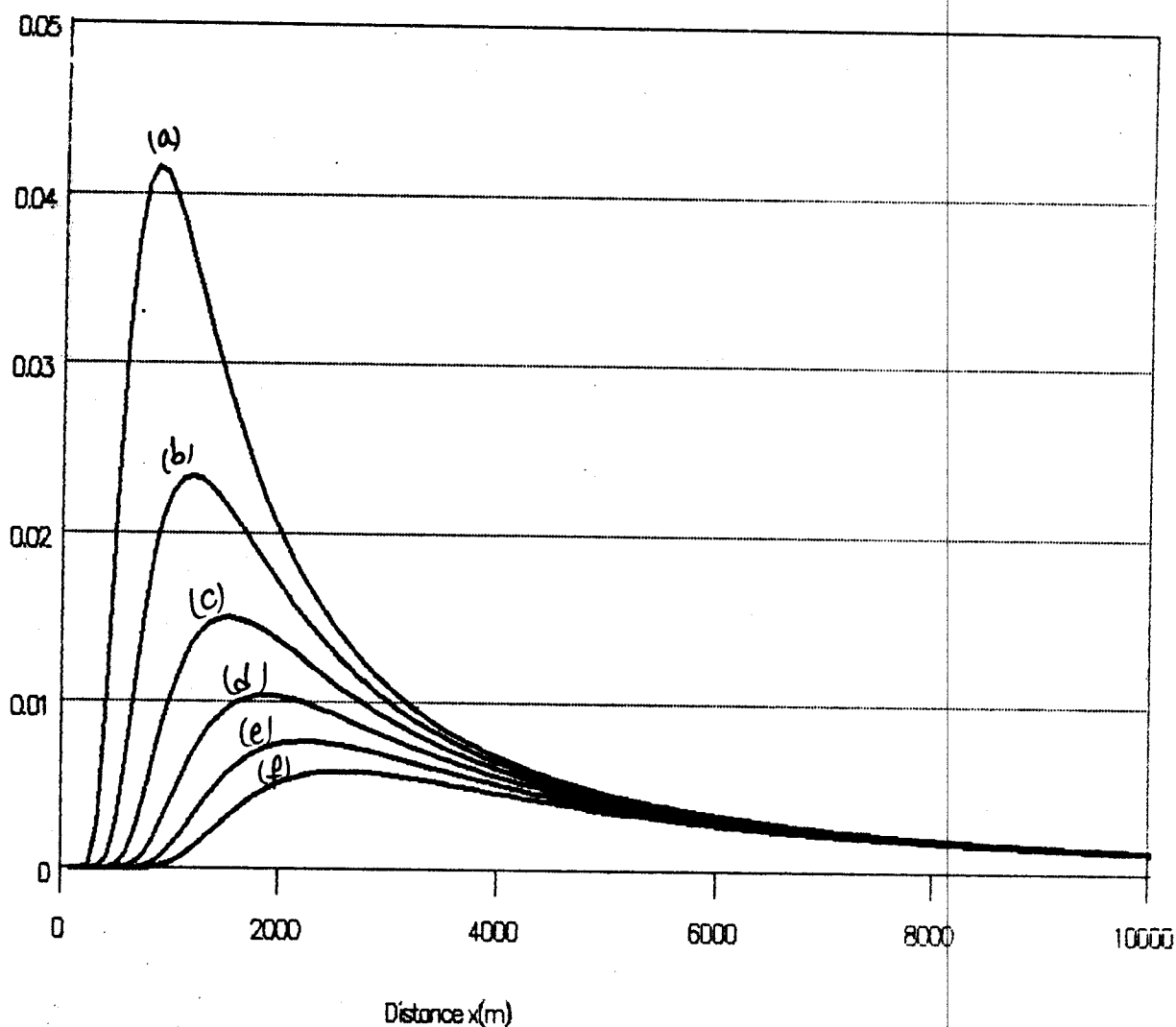


fig33.2: Variation de la concentration normalisée (CU/Q) en fonction de la distance à la source (x), pour différentes hauteurs de cheminée à $Z=50m$. SUTTON, STABILITE (B).

(a) $h=75m$ (b) $h=100m$ (c) $h=125m$
(d) $h=150m$ (e) $h=175m$ (f) $h=200m$

$U=5m/s$

$Q=10000 \text{ Kg/s}$

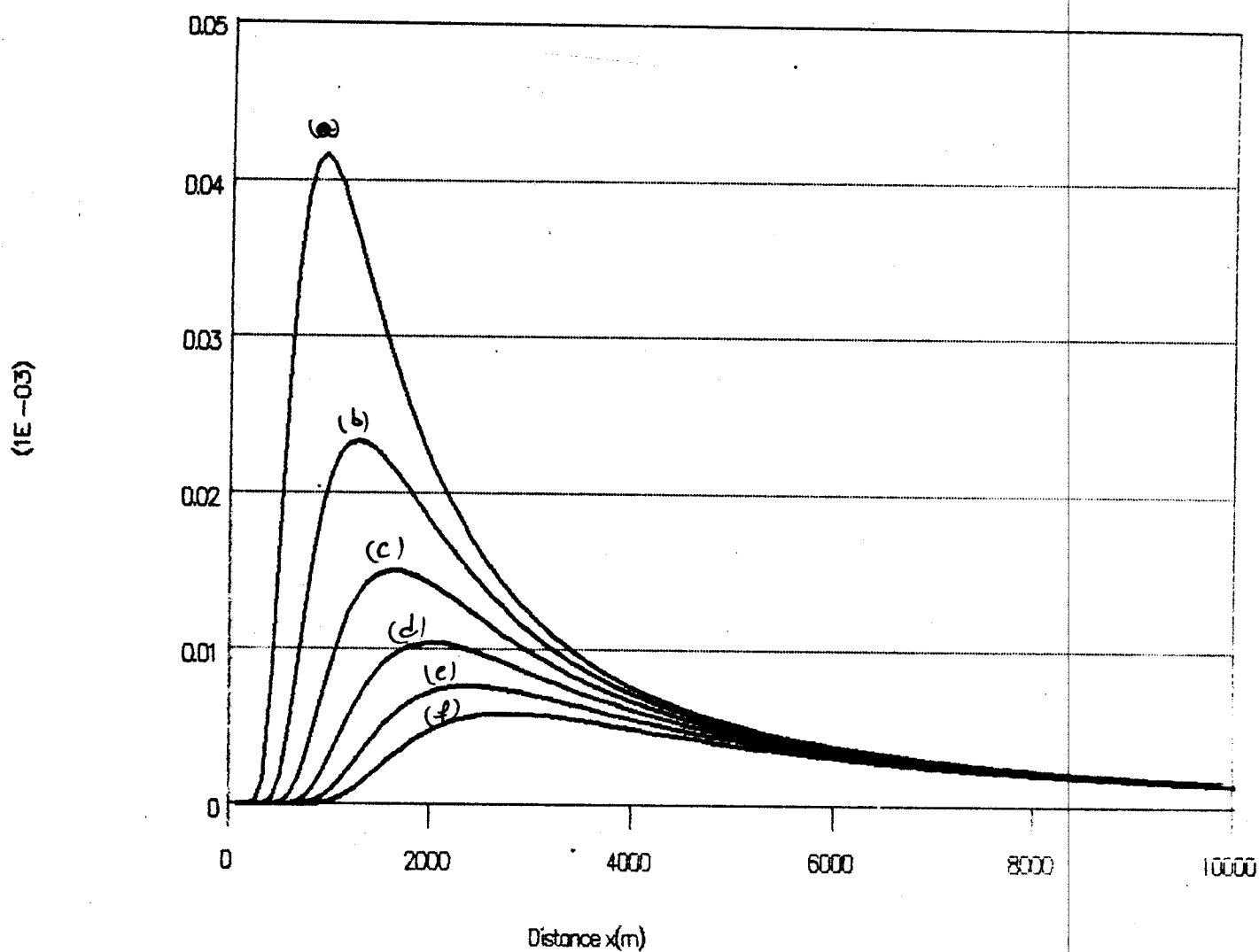


fig33.3: Variation de la concentration normalisée (CU/Q) en fonction de la distance à la source (x), pour différentes hauteurs de cheminée à $Z=75m$. SUTTON, STABILITE (B).

(a) $h=75m$	(b) $h=100m$	(c) $h=125m$
(d) $h=150m$	(e) $h=175m$	(f) $h=200m$

$U=5m/s$

$Q=10000 \text{ Kg/s}$

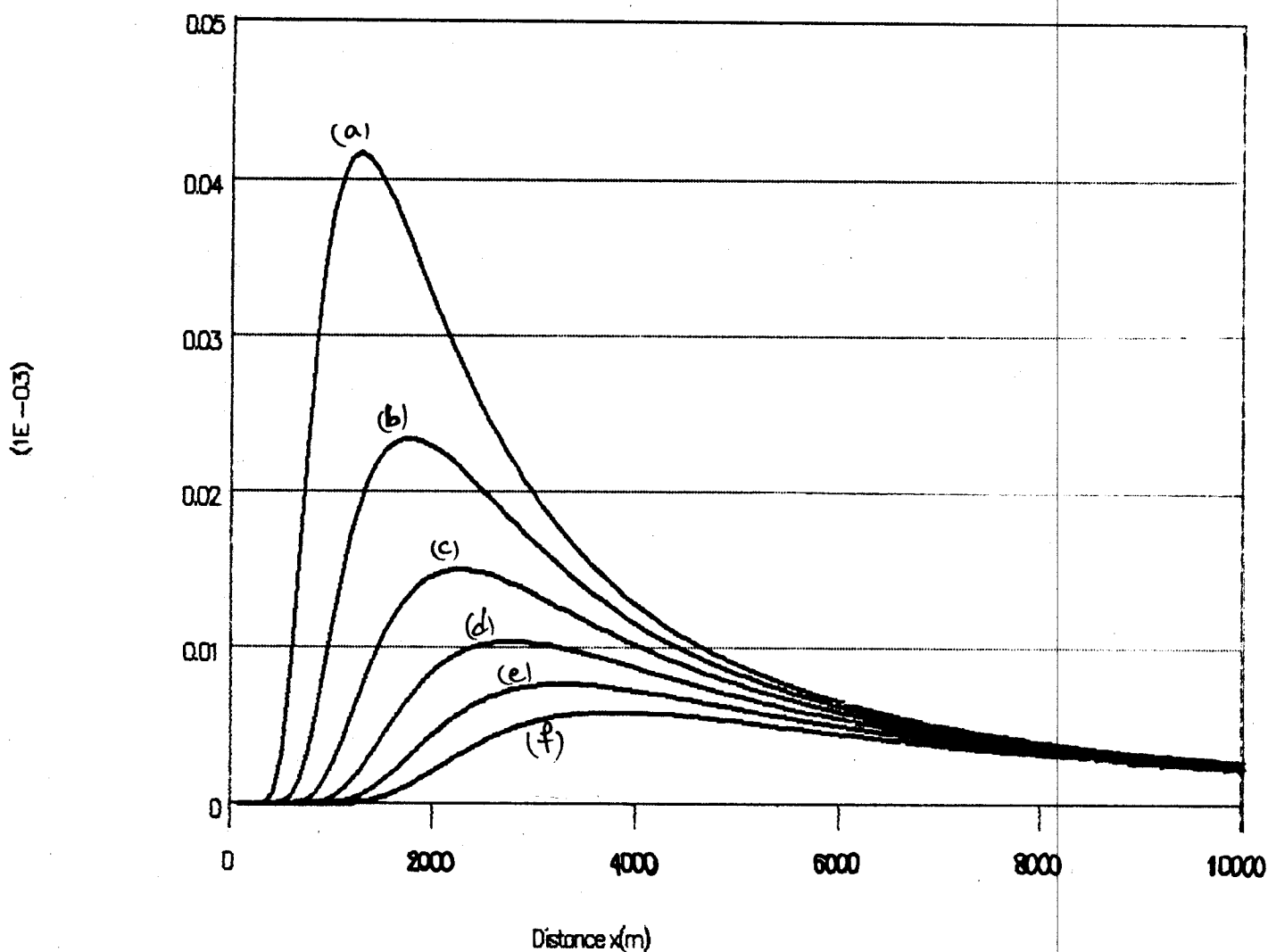


fig 334: Variation de la concentration normalisée (CU/Q) en fonction de la distance à la source (x), pour différentes hauteurs de cheminée à $Z=100m$. SUTTON, STABILITE (B).

(a) $h=75m$	(b) $h=100m$	(c) $h=125m$
(d) $h=150m$	(e) $h=175m$	(f) $h=200m$

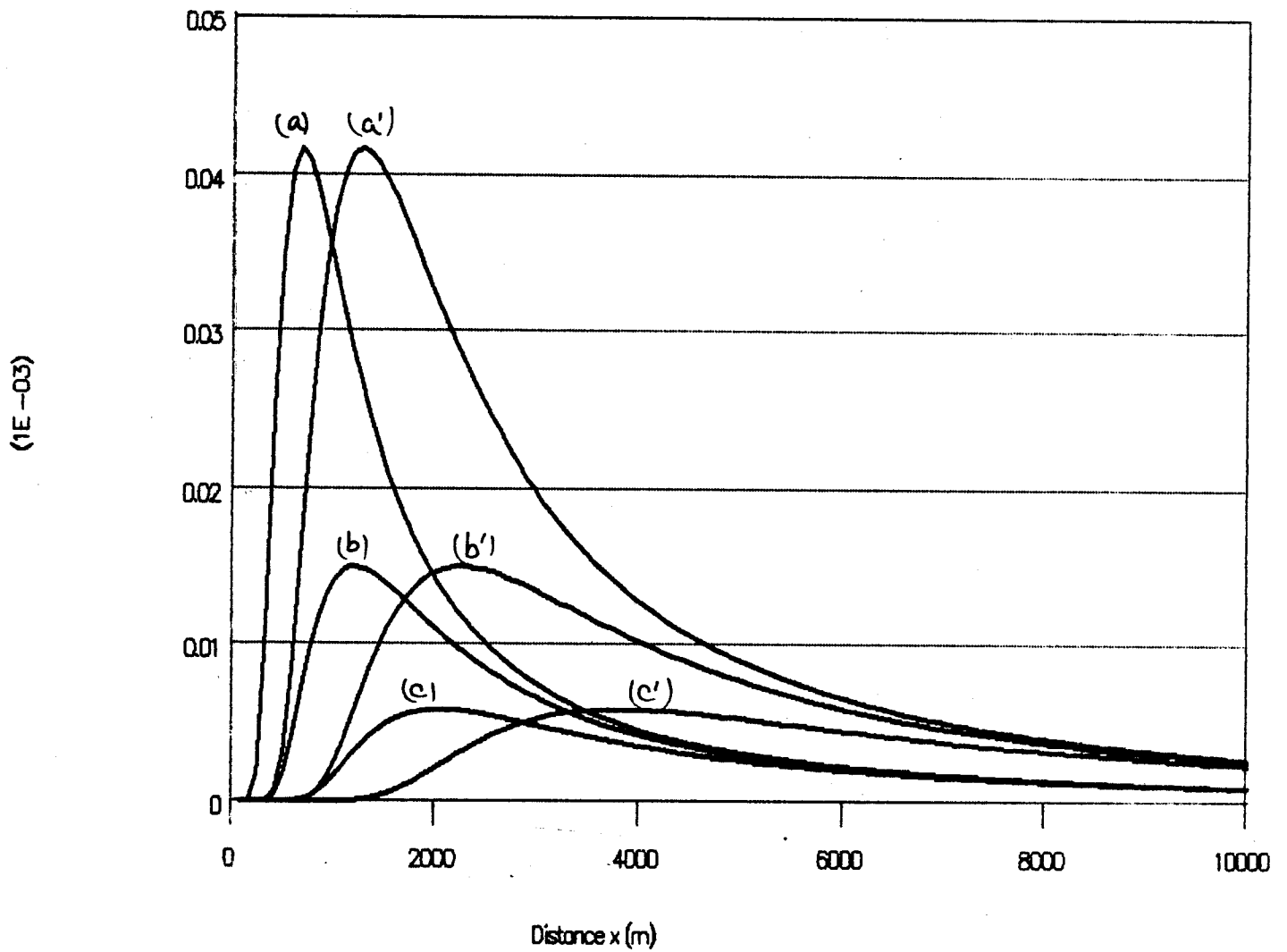


fig 3.3.5: Variation de la concentration normalisée (CU/Q) en fonction de la distance à la source pour différentes hauteurs et valeurs de Z . SUTTON , STABILITE (B).

(a)	$h=75m$	$Z=25m$	(a')	$h=75m$	$Z=100m$
(b)	$h=125m$	$Z=25m$	(b')	$h=125m$	$Z=100m$
(c)	$h=200m$	$Z=25m$	(c')	$h=200m$	$Z=100m$

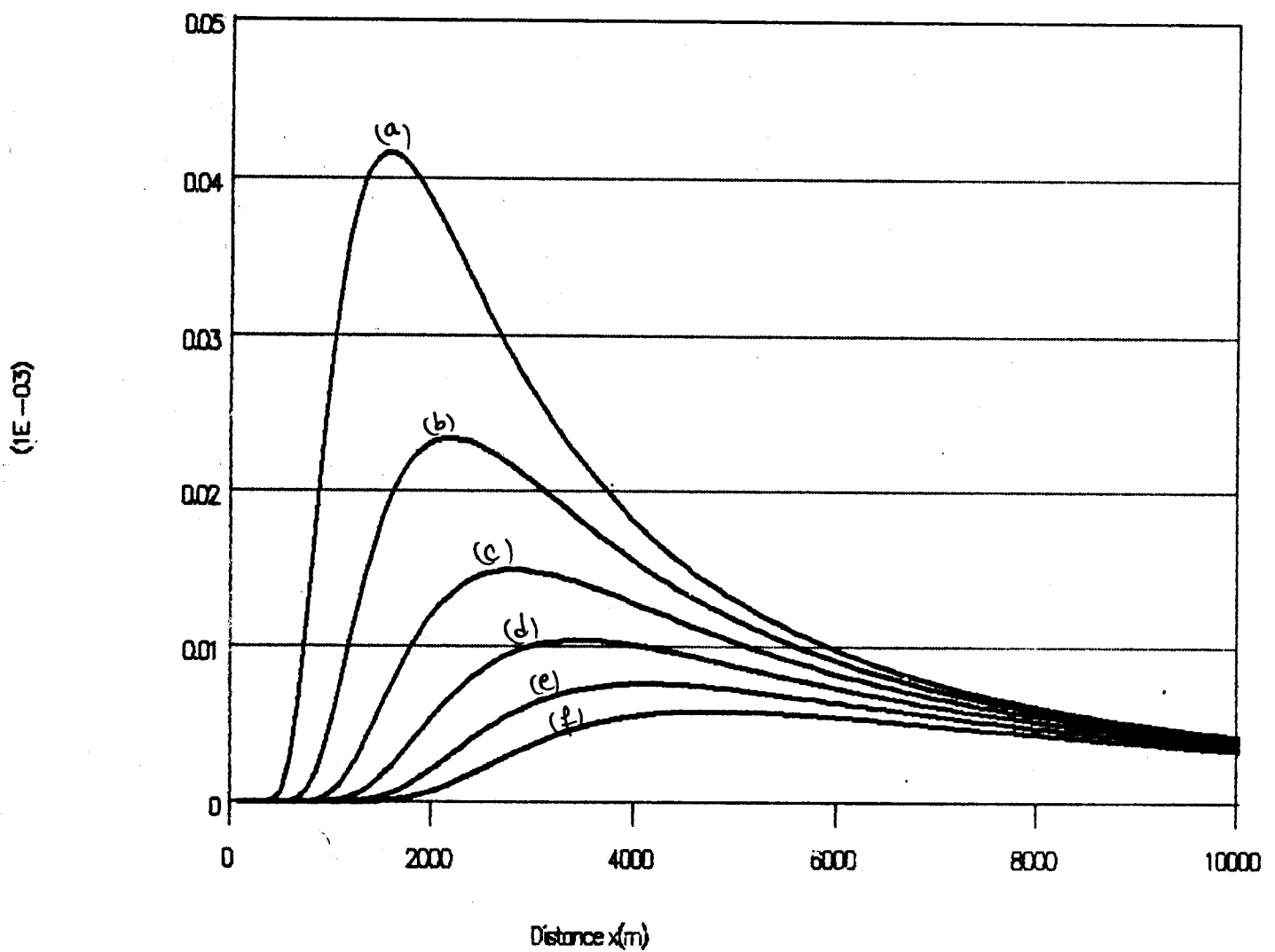


fig 3.4.1: Variation de la concentration normalisée (CU/Q) en fonction de la distance à la source (x), pour différentes hauteurs de cheminée à $Z=25m$.SUTTON , STABILITE (D).

(a) $h=75m$	(b) $h=100m$	(c) $h=125m$
(d) $h=150m$	(e) $h=175m$	(f) $h=200m$

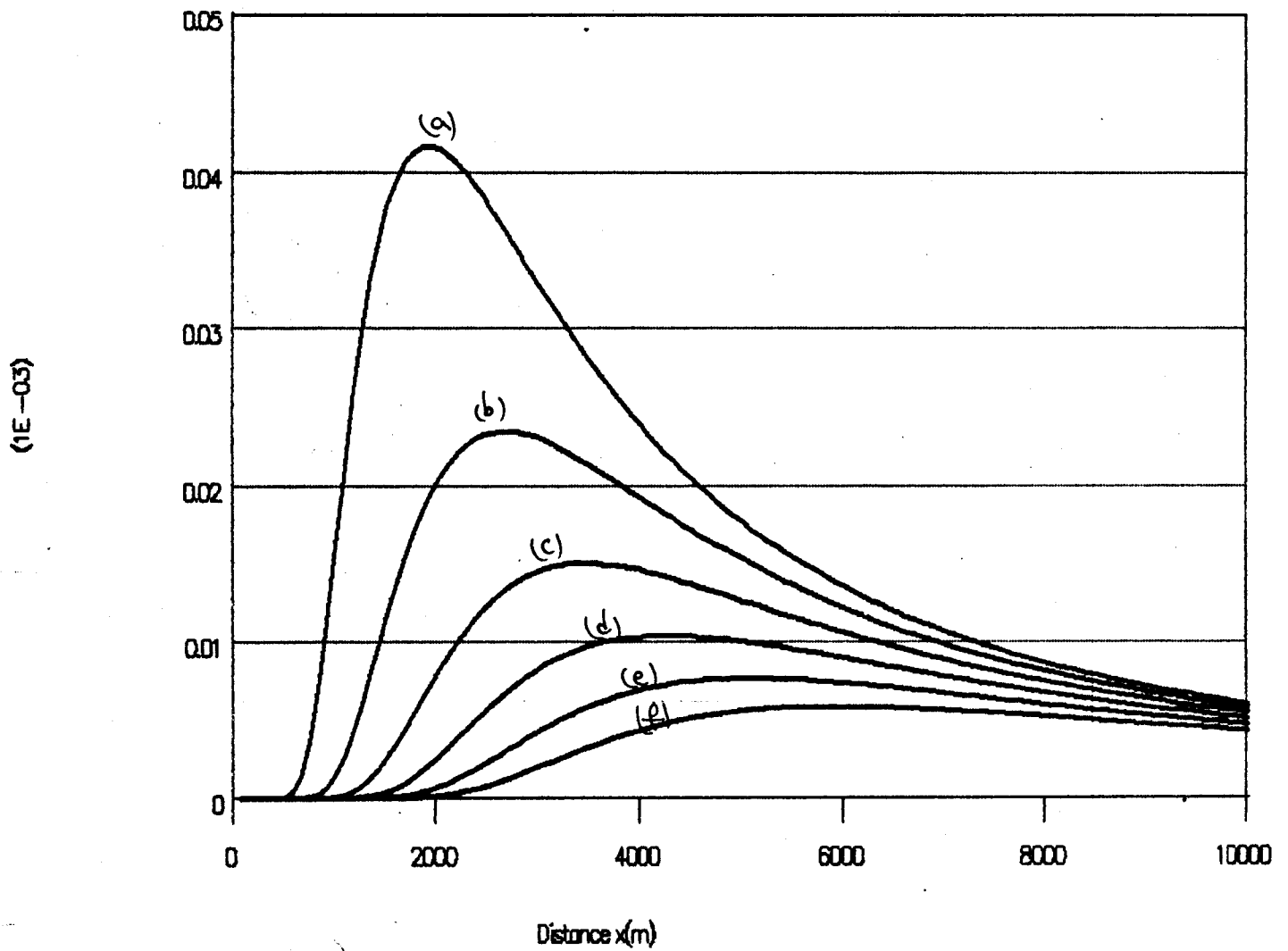


fig 3.4.2: Variation de la concentration normalisée (CU/Q) en fonction de la distance à la source (x), pour différentes hauteurs de cheminée à $Z=50m$.SUTTON , STABILITE (D).

- | | | |
|--------------|--------------|--------------|
| (a) $h=75m$ | (b) $h=100m$ | (c) $h=125m$ |
| (d) $h=150m$ | (e) $h=175m$ | (f) $h=200m$ |

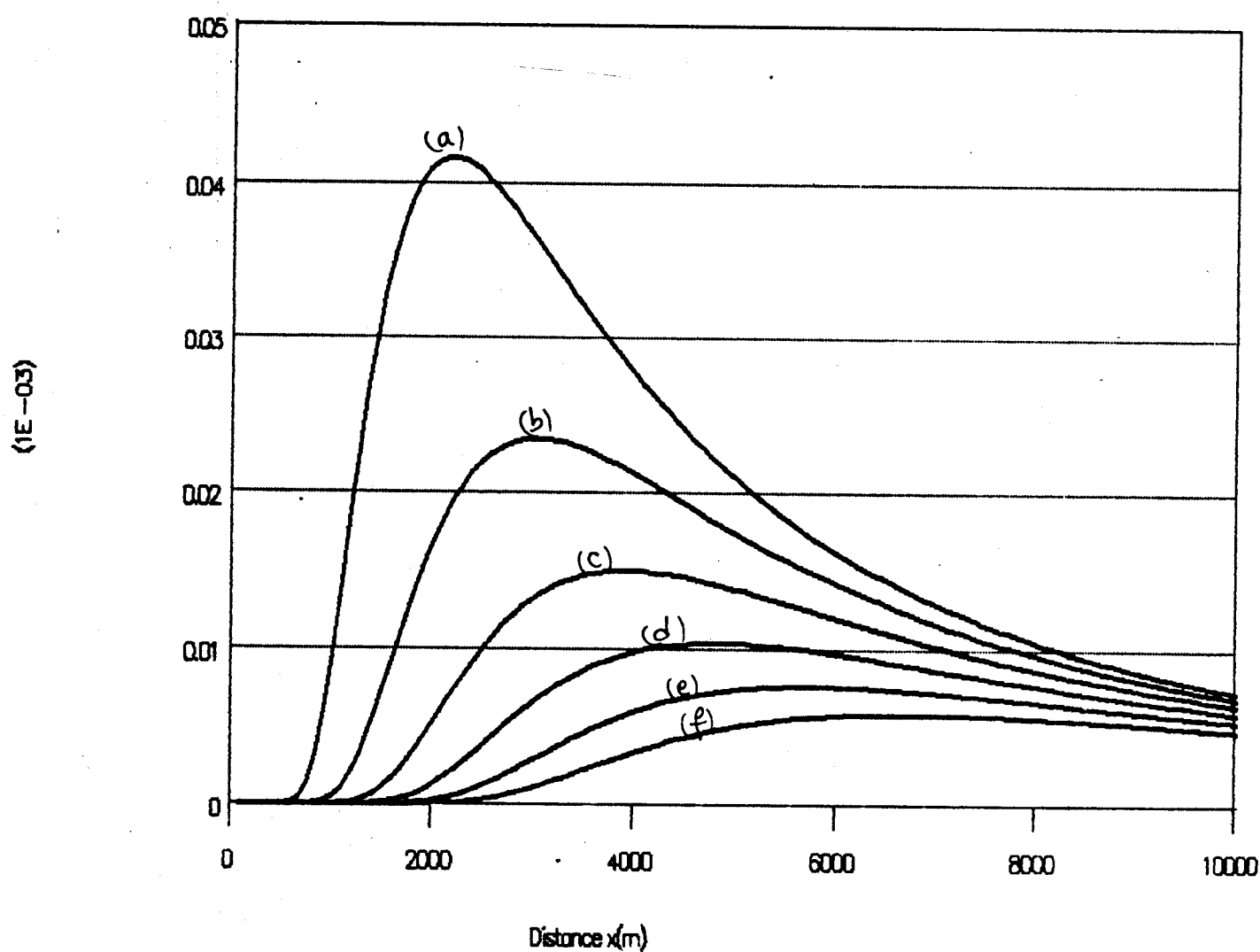


fig 34.3 : Variation de la concentration normalisée (CU/Q) en fonction de la distance à la source (x), pour différentes hauteurs de cheminée à $Z=75m$.SUTTON , STABILITE (D).

(a) $h=75m$	(b) $h=100m$	(c) $h=125m$
(d) $h=150m$	(e) $h=175m$	(f) $h=200m$

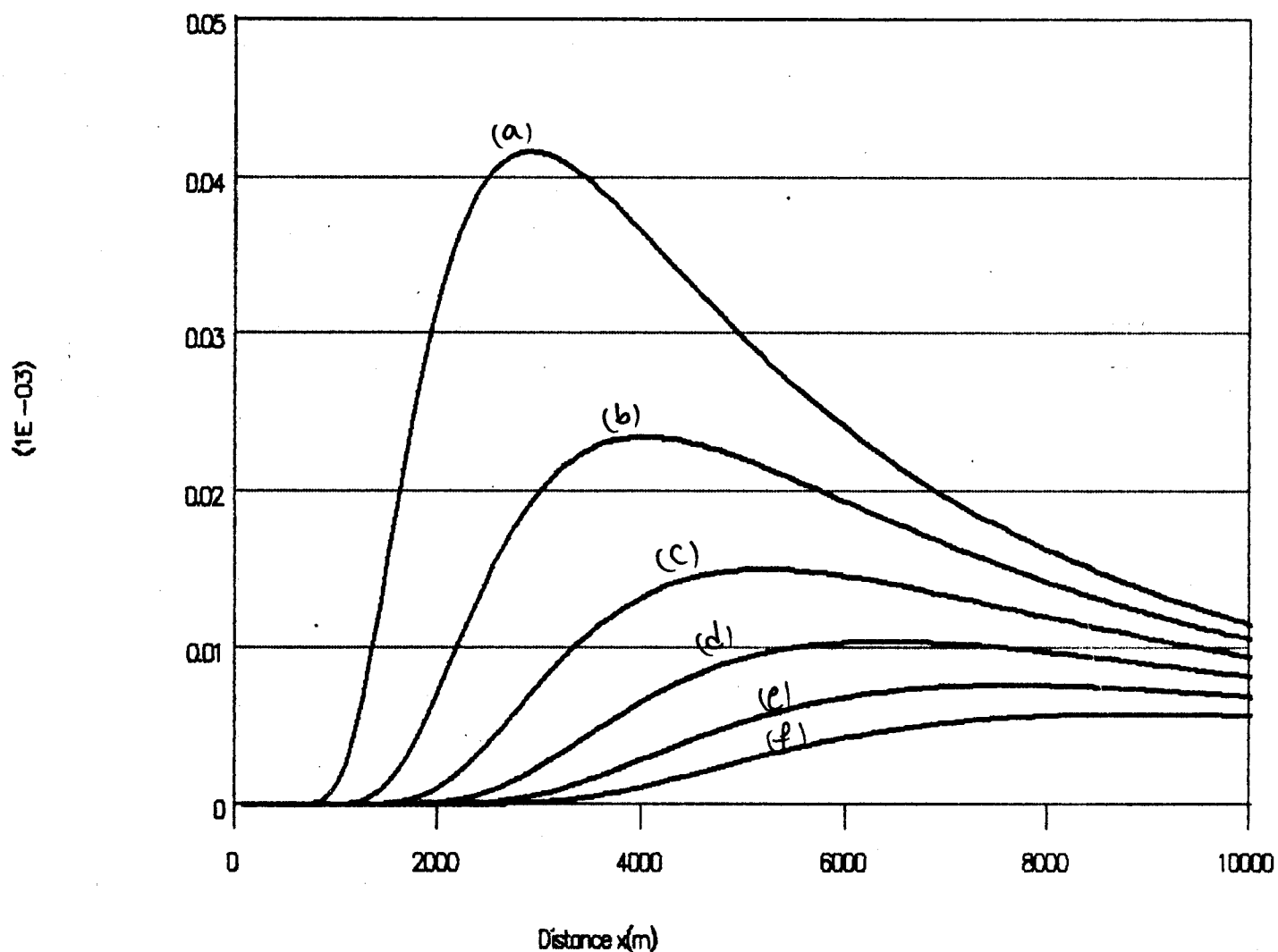


fig 3.4.4: Variation de la concentration normalisée (CU/Q) en fonction de la distance à la source (x), pour différentes hauteurs de cheminée à $Z=100m$.SUTTON , STABILITE (D).

(a) $h=75m$	(b) $h=100m$	(c) $h=125m$
(d) $h=150m$	(e) $h=175m$	(f) $h=200m$

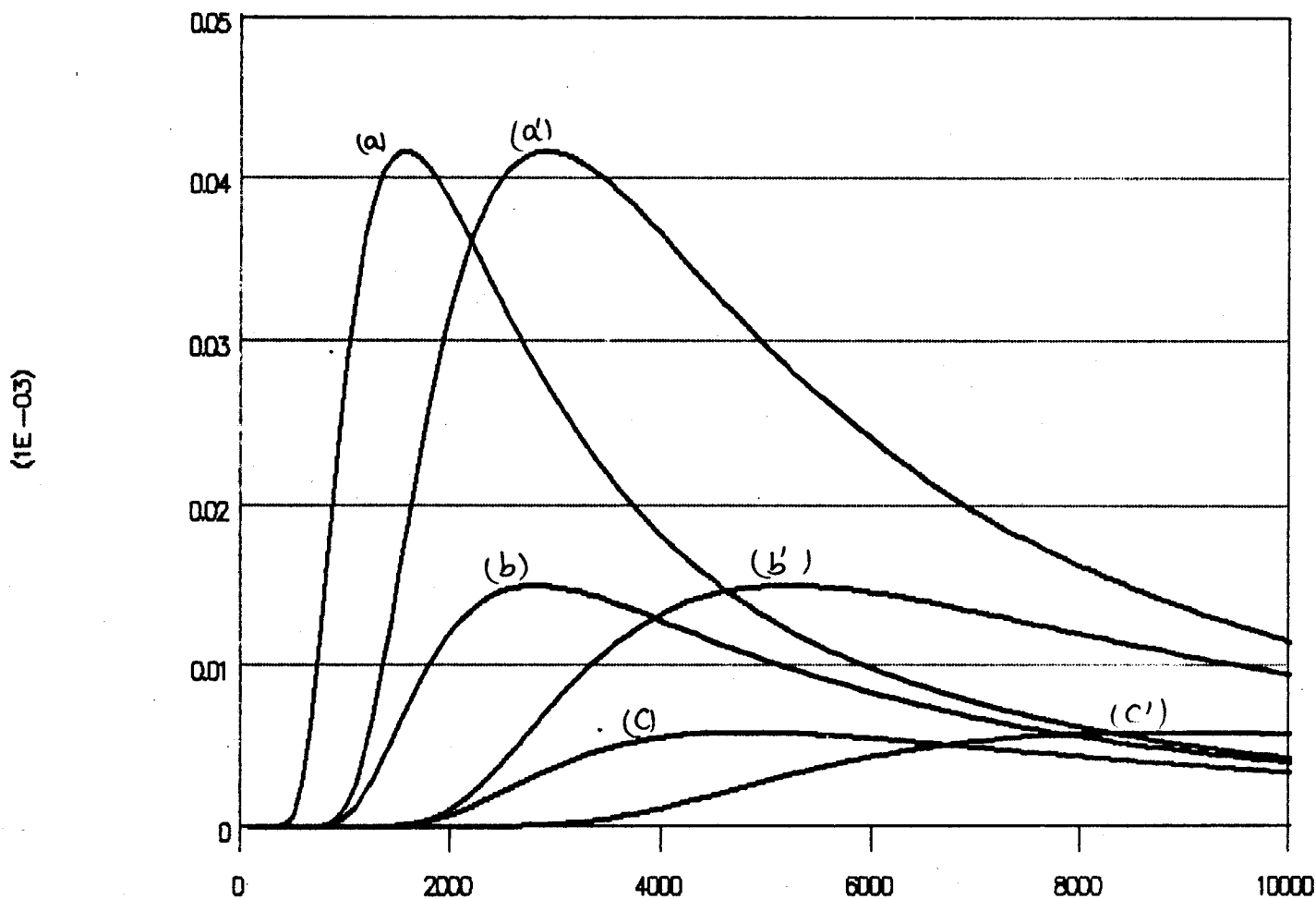


fig 3.4.5: Variation de la concentration normalisée (CU/Q) en fonction de la distance à la source pour différentes hauteurs et valeurs de Z . SUTTON, STABILITE (D).

(a)	$h=75m$	$Z=25m$	(a')	$h=75m$	$Z=100m$
(b)	$h=125m$	$Z=25m$	(b')	$h=125m$	$Z=100m$
(c)	$h=200m$	$Z=25m$	(c')	$h=200m$	$Z=100m$

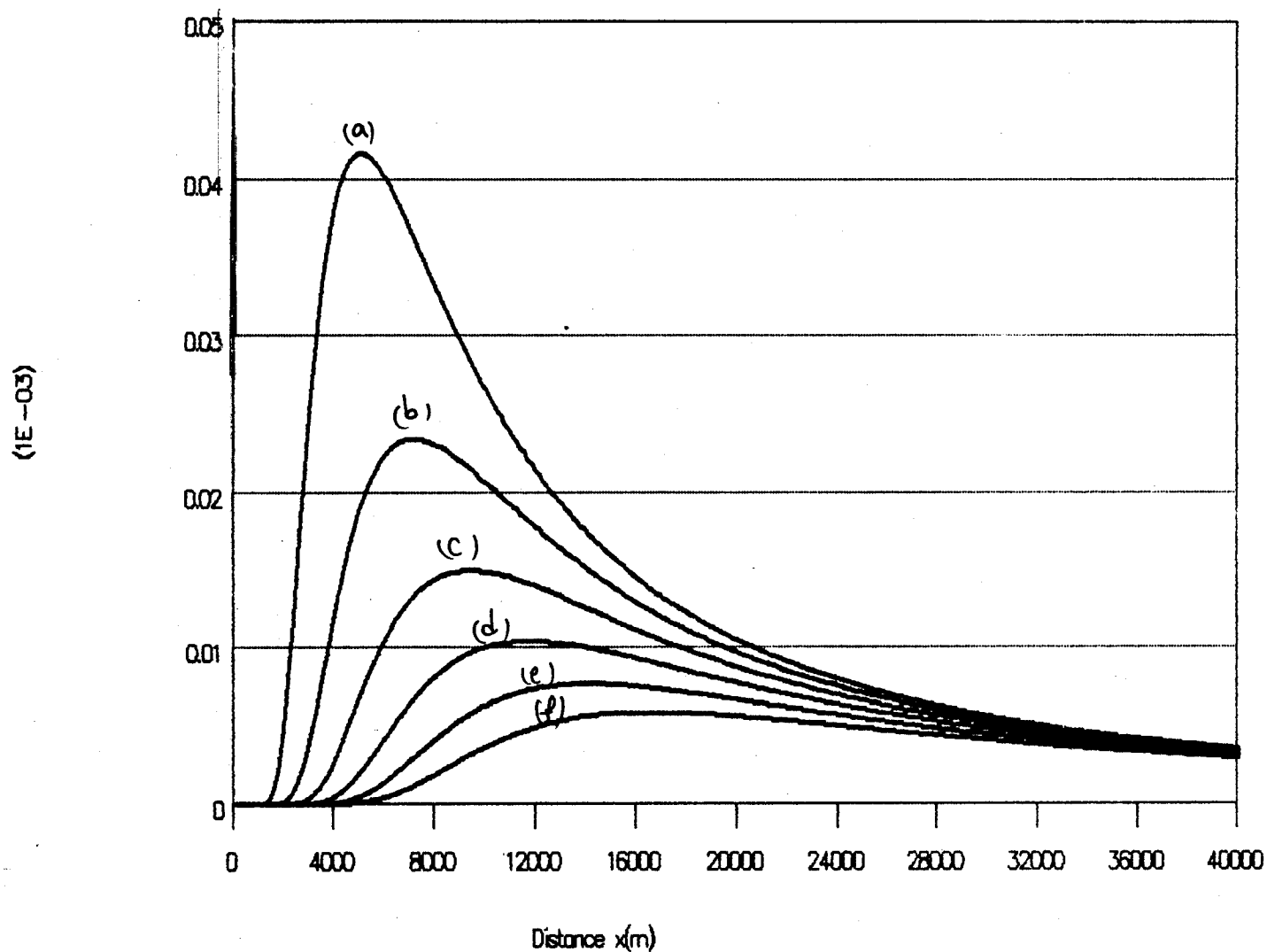


fig 3.5.2: Variation de la concentration normalisée (CU/Q) en fonction de la distance à la source (x), pour différentes hauteurs de cheminée à $Z=50m$.SUTTON , STABILITE (M).

(a) $h=75m$	(b) $h=100m$	(c) $h=125m$
(d) $h=150m$	(e) $h=200m$	(f) $h=200m$

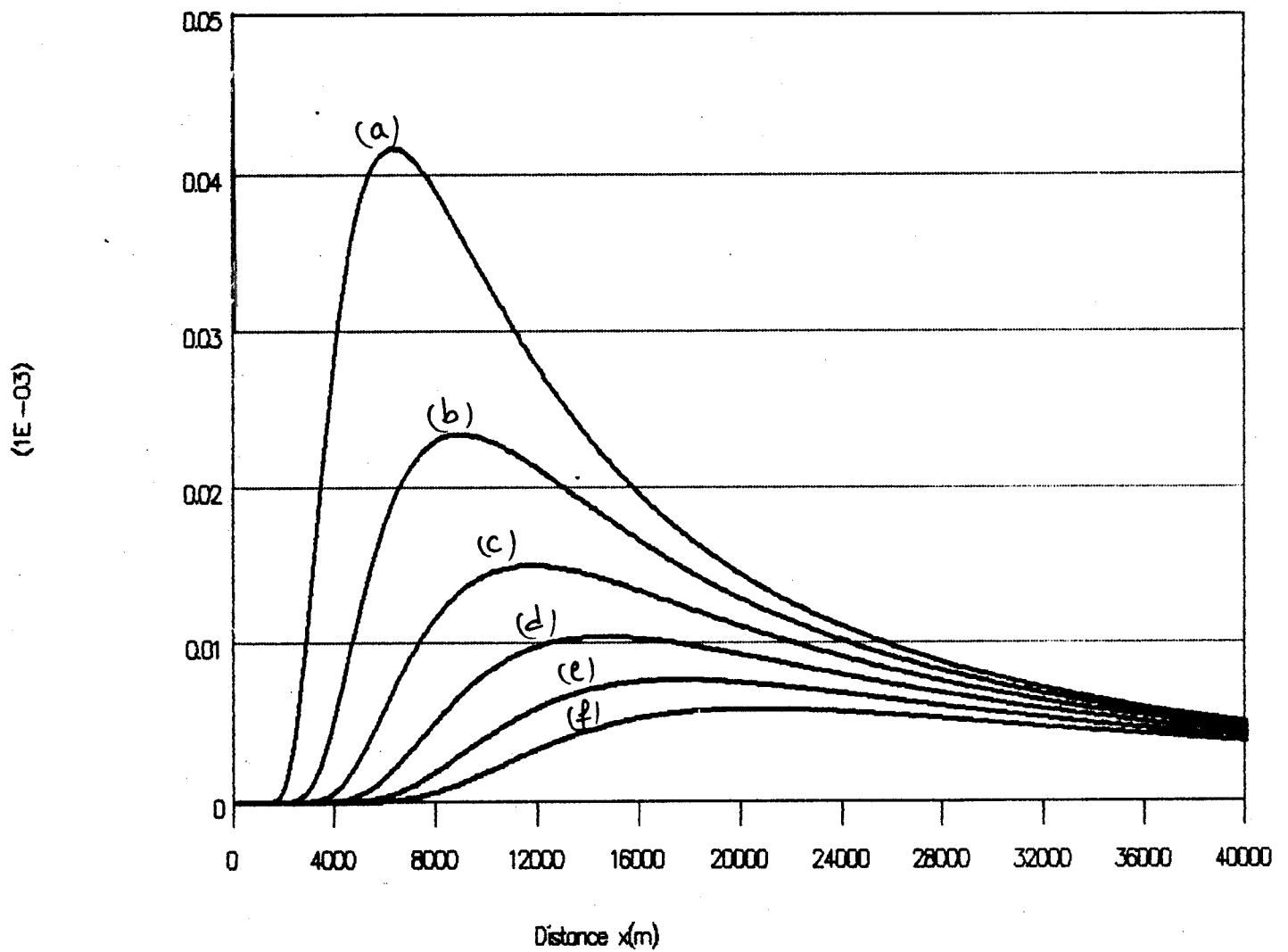


fig 3.53: Variation de la concentration normalisée (CU/Q) en fonction de la distance à la source (x), pour différentes hauteurs de cheminée à $Z=75m$. SUTTON, STABILITE (M).

(a) $h=75m$	(b) $h=100m$	(c) $h=125m$
(d) $h=150m$	(e) $h=200m$	(f) $h=200m$

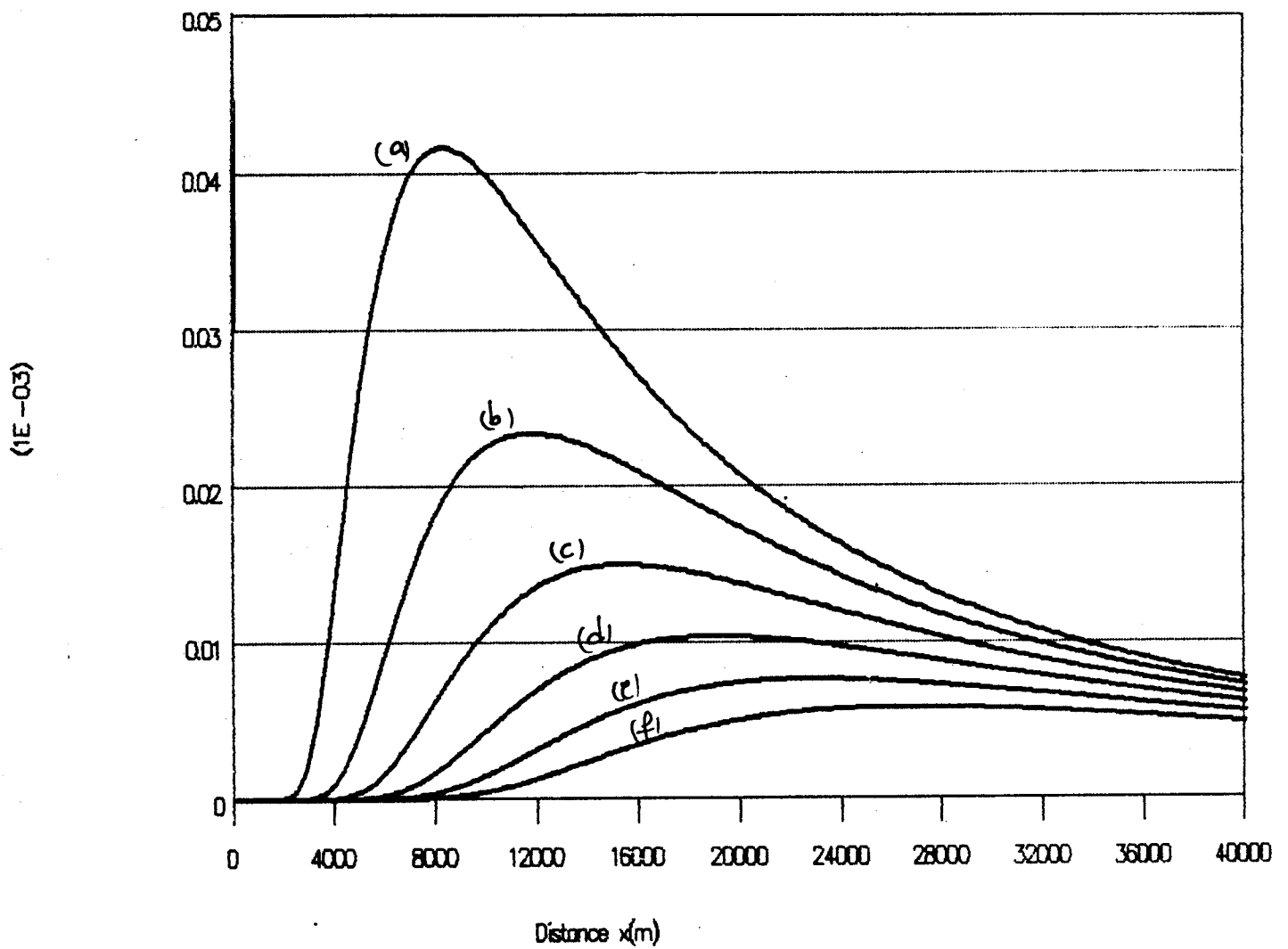


fig 3.5.4: Variation de la concentration normalisée (CU/Q) en fonction de la distance à la source (x), pour différentes hauteurs de cheminée à $Z=100m$.SUTTON , STABILITE (M).

(a) $h=75m$	(b) $h=100m$	(c) $h=125m$
(d) $h=150m$	(e) $h=175m$	(f) $h=200m$

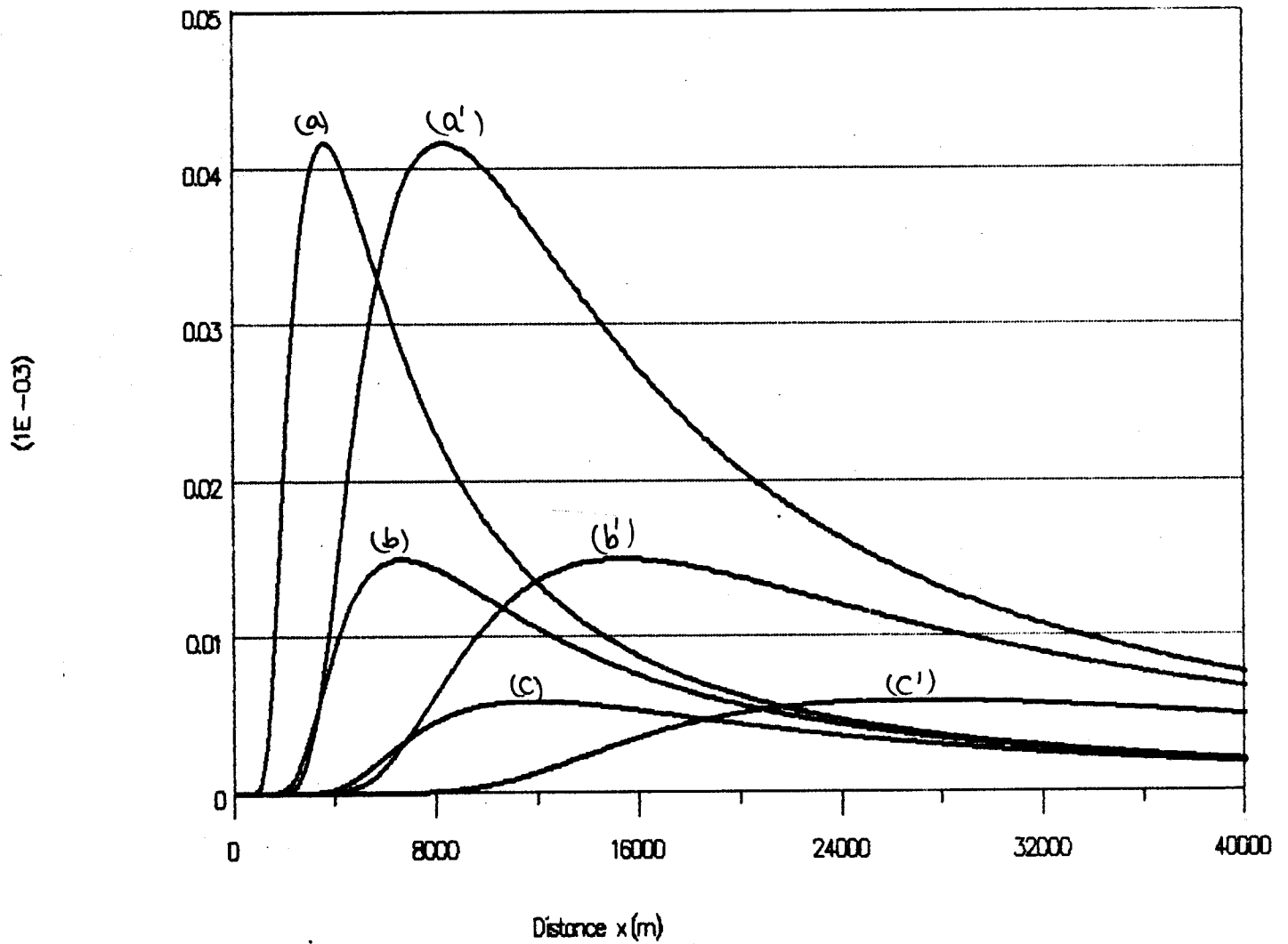


fig 3.5.5: Variation de la concentration normalisée (CU/Q) en fonction de la distance à la source pour différentes hauteurs et valeurs de Z . SUTTON, STABILITE (M).

(a)	$h=75m$	$Z=25m$	(a')	$h=75m$	$Z=100m$
(b)	$h=125m$	$Z=25m$	(b')	$h=125m$	$Z=100m$
(c)	$h=200m$	$Z=25m$	(c')	$h=200m$	$Z=100m$

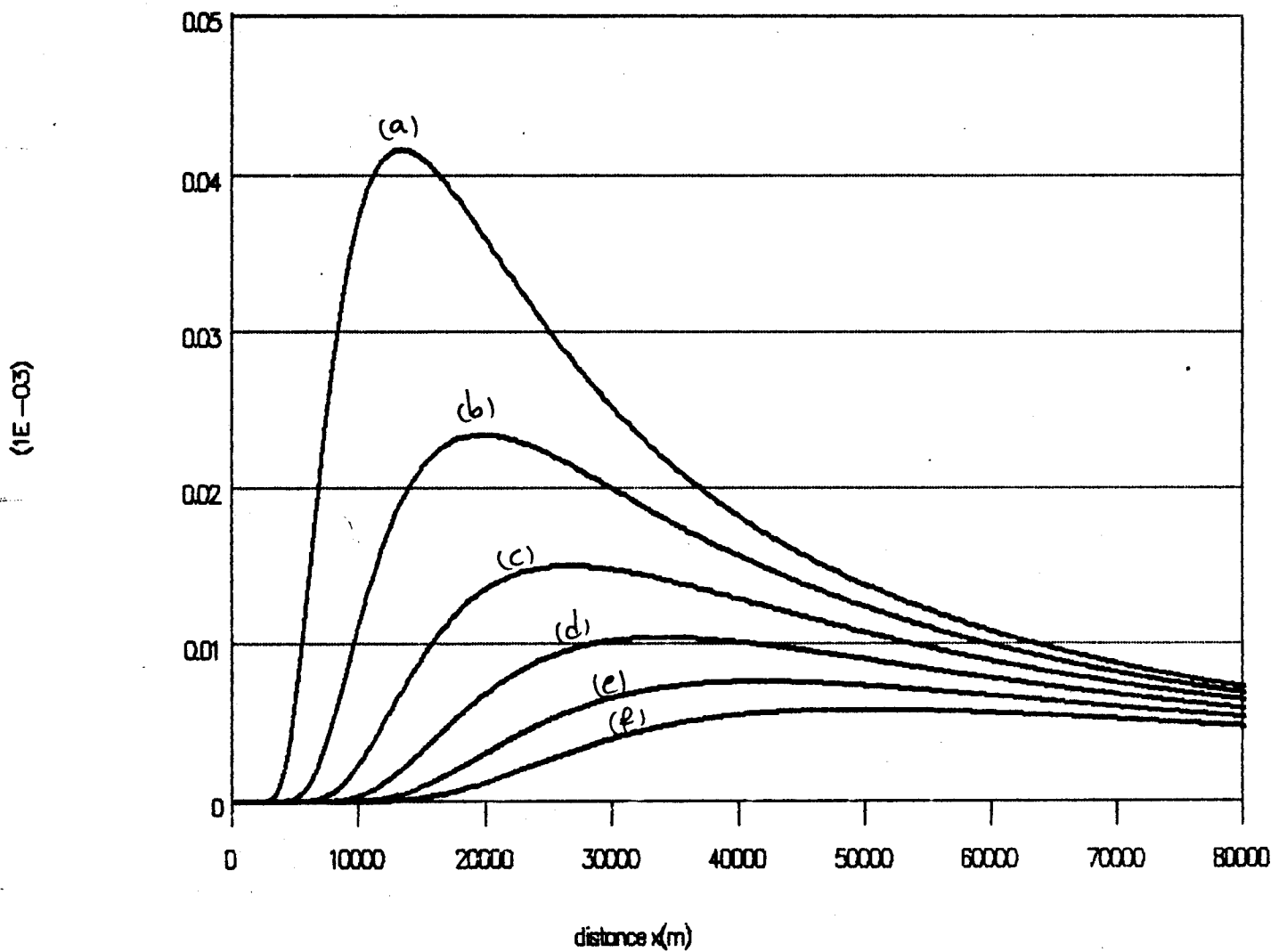


fig 3.6.1: Variation de la concentration normalisée (CU/Q) en fonction de la distance à la source (x), pour différentes hauteurs de cheminée à $Z=25m$. SUTTON , STABILITE (E).

(a): $h=75m$	(b) $h=100m$	(c) $h=125m$
(d) $h=150m$	(e) $h=175m$	(f) $h=200m$

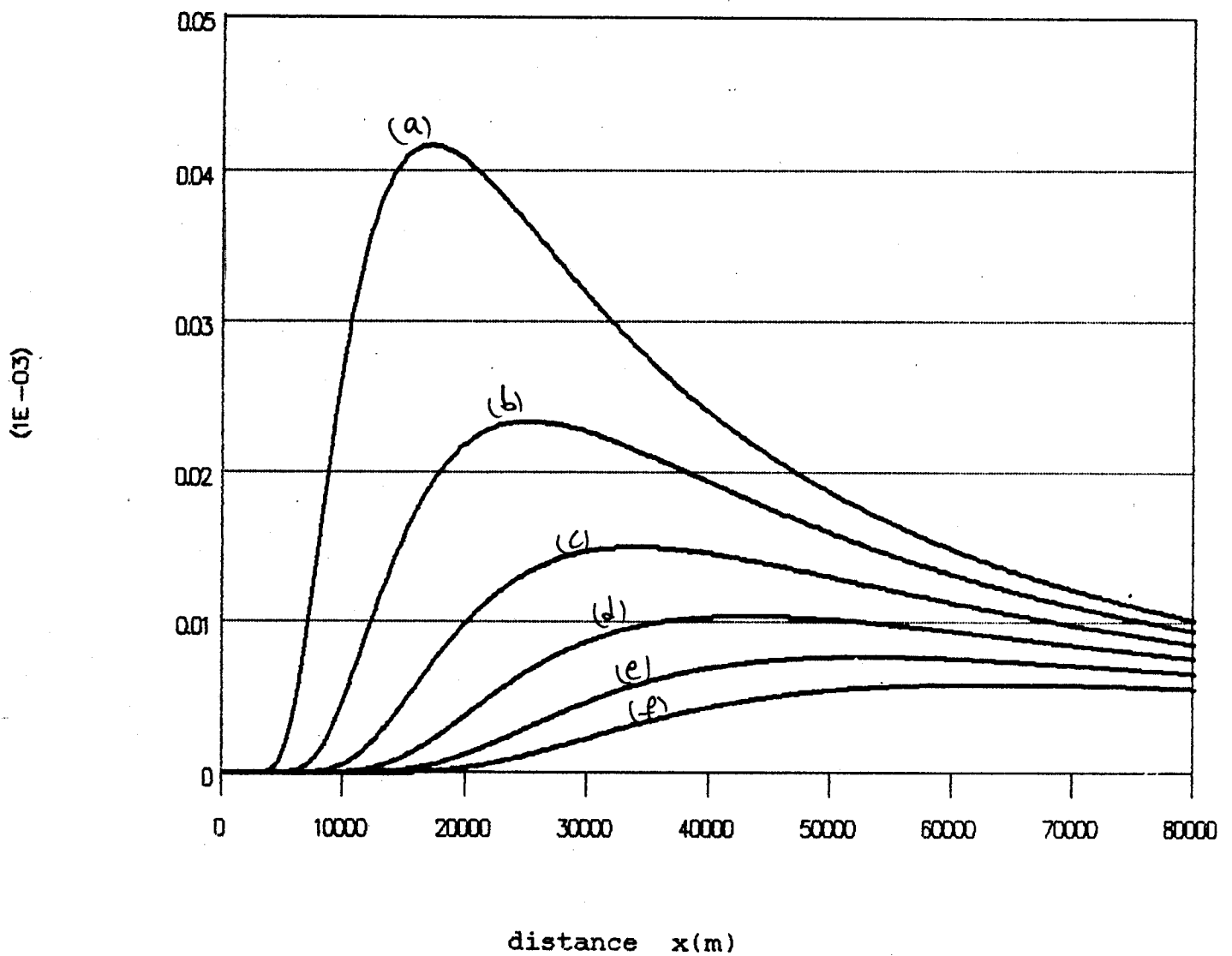


fig 3.6.2: Variation de la concentration normalisée (CU/Q) en fonction de la distance à la source (x), pour différentes hauteurs de cheminée à $Z=50m$. SUTTON, STABILITE (E).

(a): $h=75m$	(b) $h=100m$	(c) $h=125m$
(d) $h=150m$	(e) $h=175m$	(f) $h=200m$

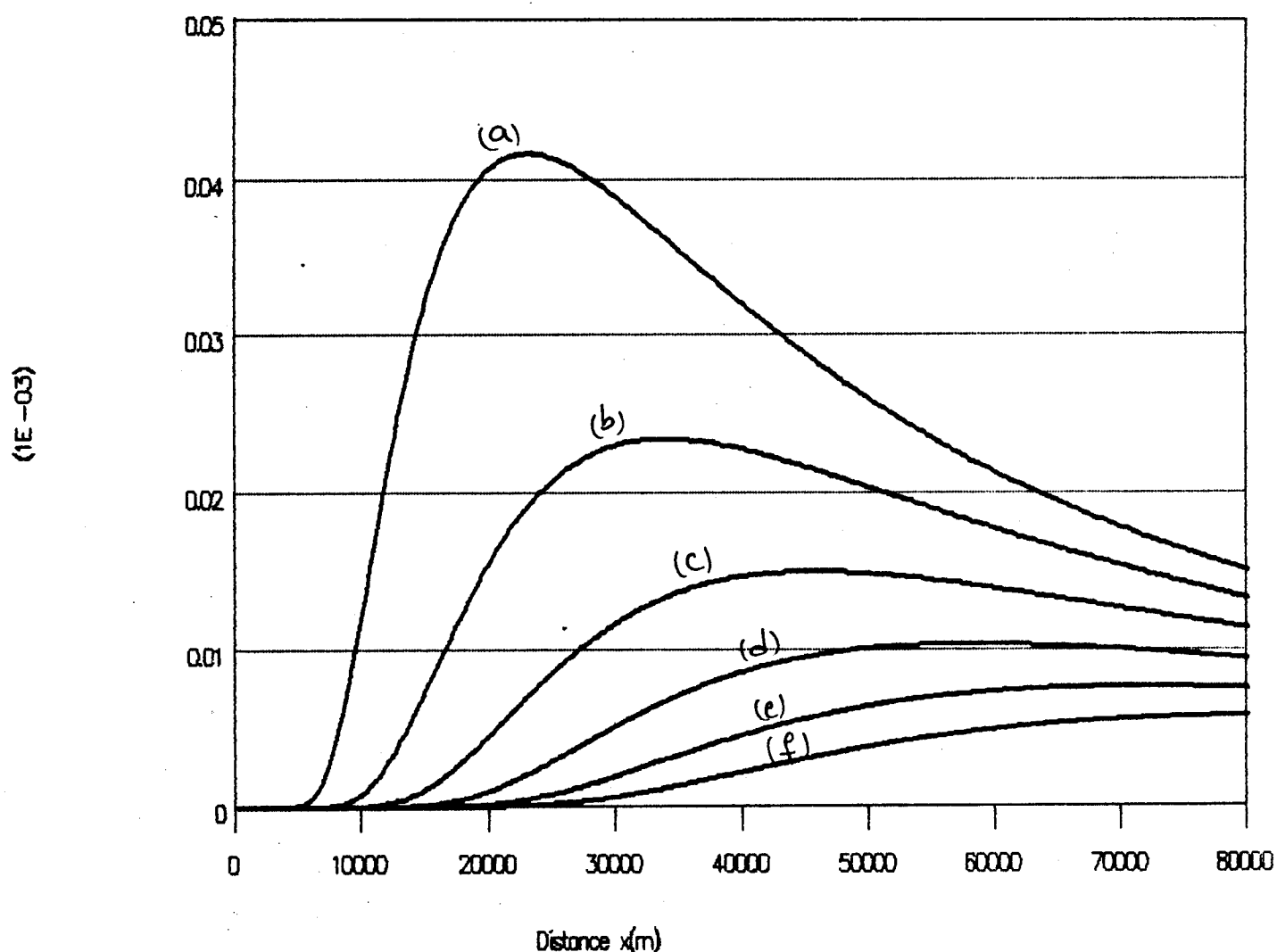


fig 3.6.3: Variation de la concentration normalisée (CU/Q) en fonction de la distance à la source (x), pour différentes hauteurs de cheminée à $Z=75m$. SUTTON , STABILITE (E).

(a): $h=75m$	(b) $h=100m$	(c) $h=125m$
(d) $h=150m$	(e) $h=175m$	(f) $h=200m$

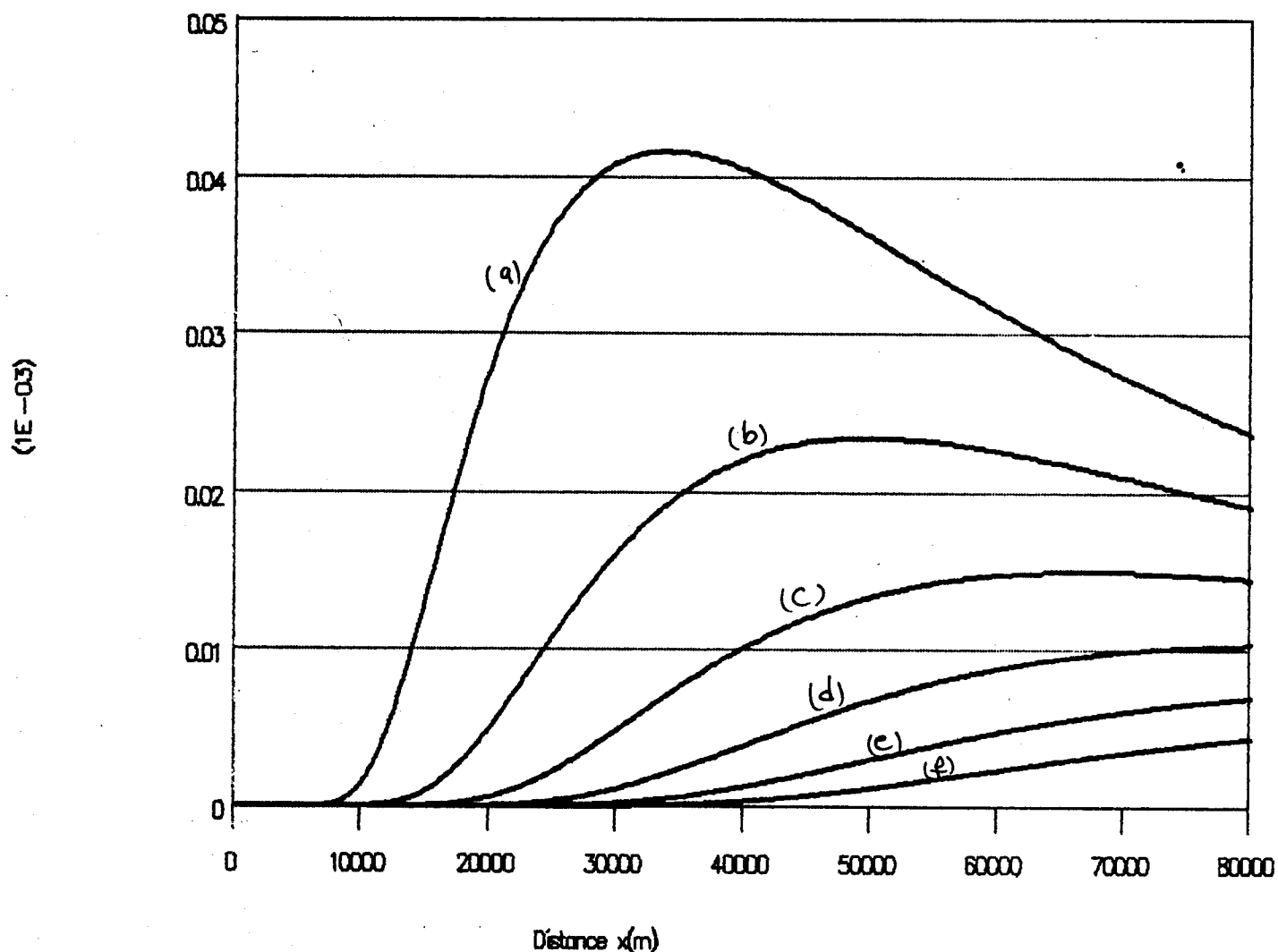


fig 3.6.4: Variation de la concentration normalisée (CU/Q) en fonction de la distance à la source (x) , pour différentes hauteurs de cheminée à $Z=100m$. SUTTON , STABILITE (E).

(a): $h=75m$	(b) $h=100m$	(c) $h=125m$
(d) $h=150m$	(e) $h=175m$	(f) $h=200m$

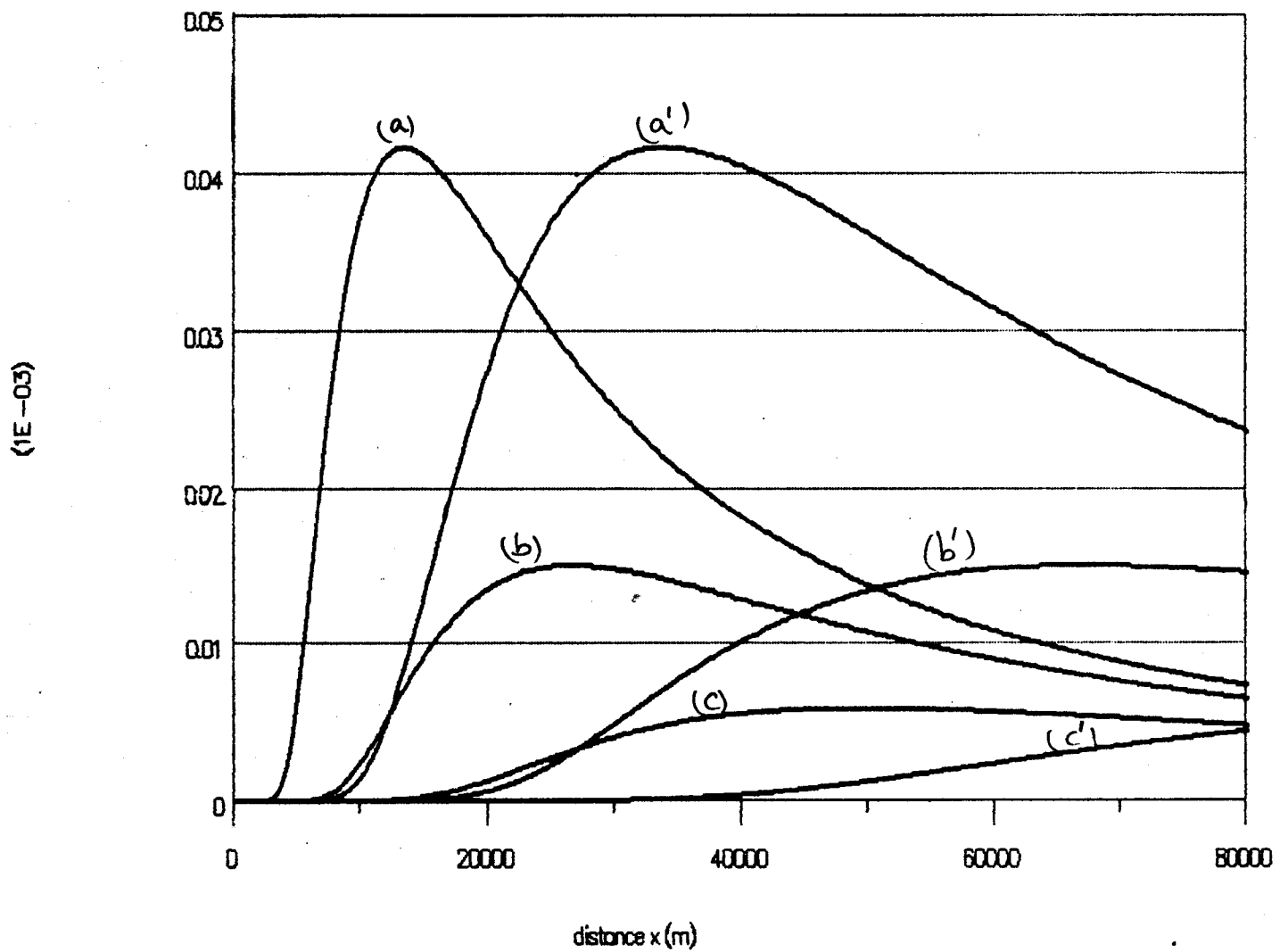


fig 3.6.5: Variation de la concentration normalisée (CU/Q) en fonction de la distance à la source pour différentes hauteurs et valeurs de Z . SUTTON, STABILITE (S).

(a)	$h=75m$	$Z=25m$	(a')	$h=75m$	$Z=100m$
(b)	$h=125m$	$Z=25m$	(b')	$h=125m$	$Z=100m$
(c)	$h=200m$	$Z=25m$	(c')	$h=200m$	$Z=100m$

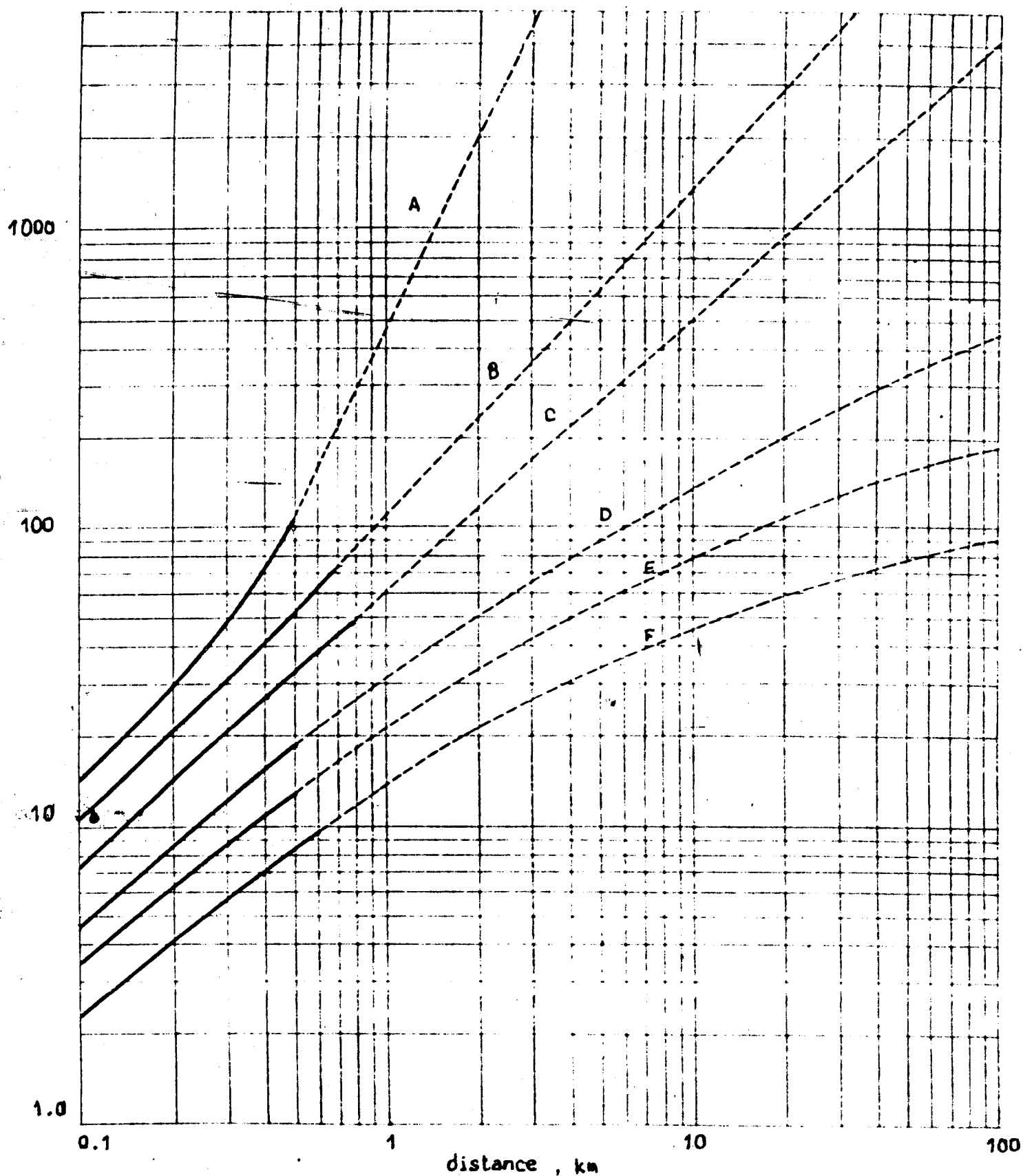


Figure 3.7 Ecart-type de dispersion verticale σ_z en fonction de la distance à la source d'émission.

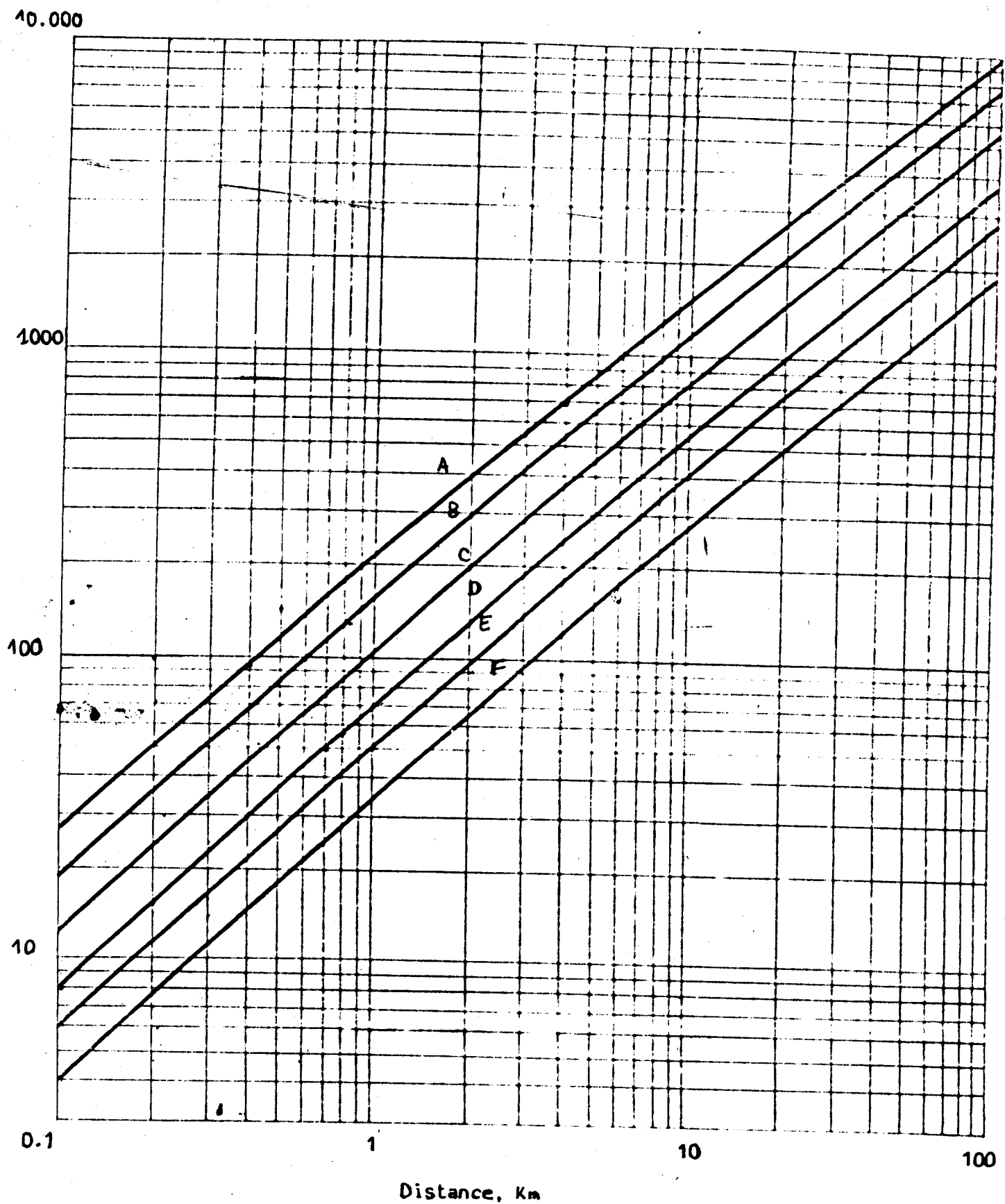


Figure 3.8 Ecart-type de dispersion transversale σ_y en fonction de la distance à la source d'émission.

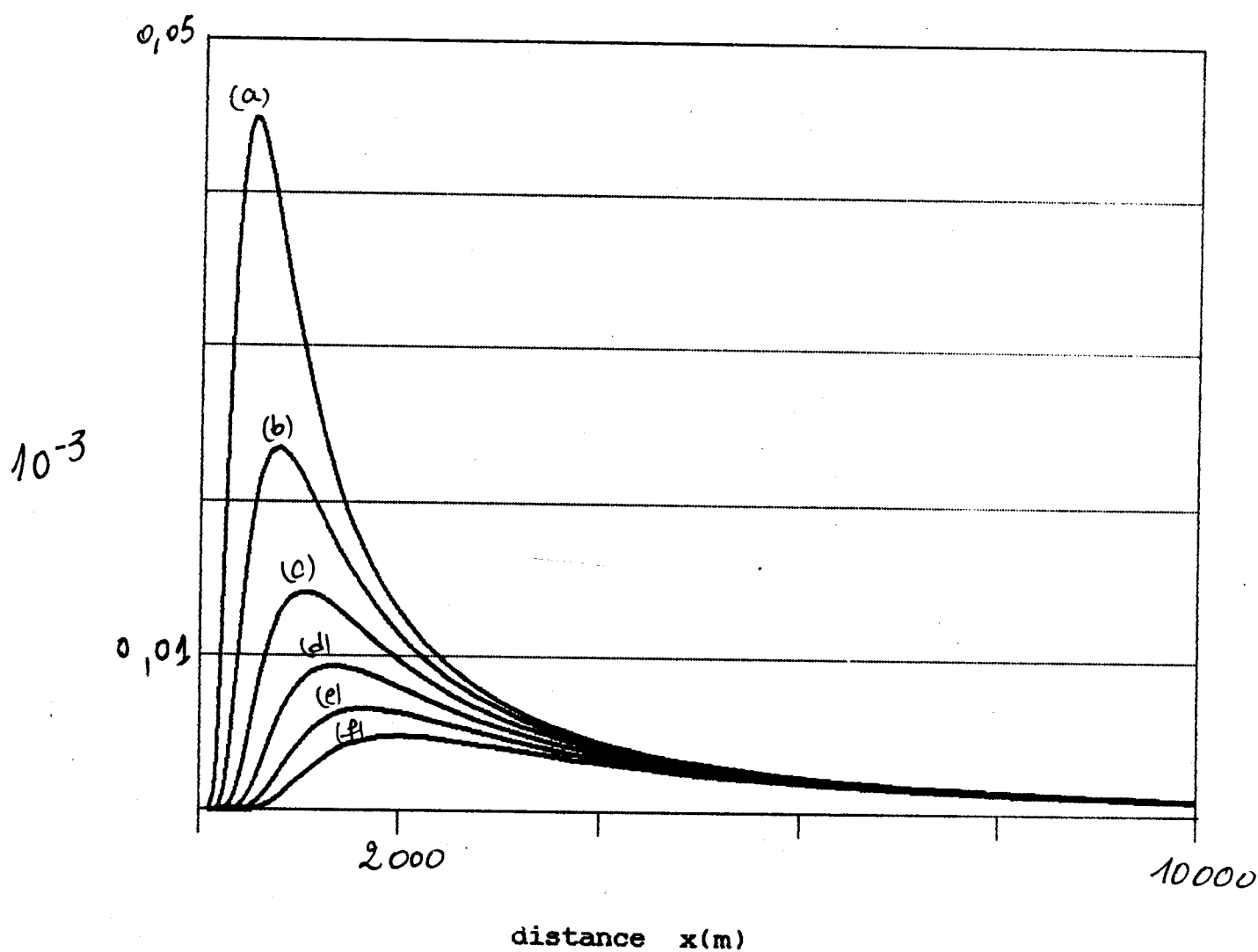


fig3.9: Variation de la concentration normalisée (CU/Q) en fonction de la distance à la source (x), pour différentes hauteurs de cheminée. PASQUILL, STABILITE (B).

(a) $h=75m$	(b) $h=100m$	(c) $h=125m$
(d) $h=150m$	(e) $h=175m$	(f) $h=200m$

avec $U=5m/s$ et $Q=10000 \text{ Kg/s}$

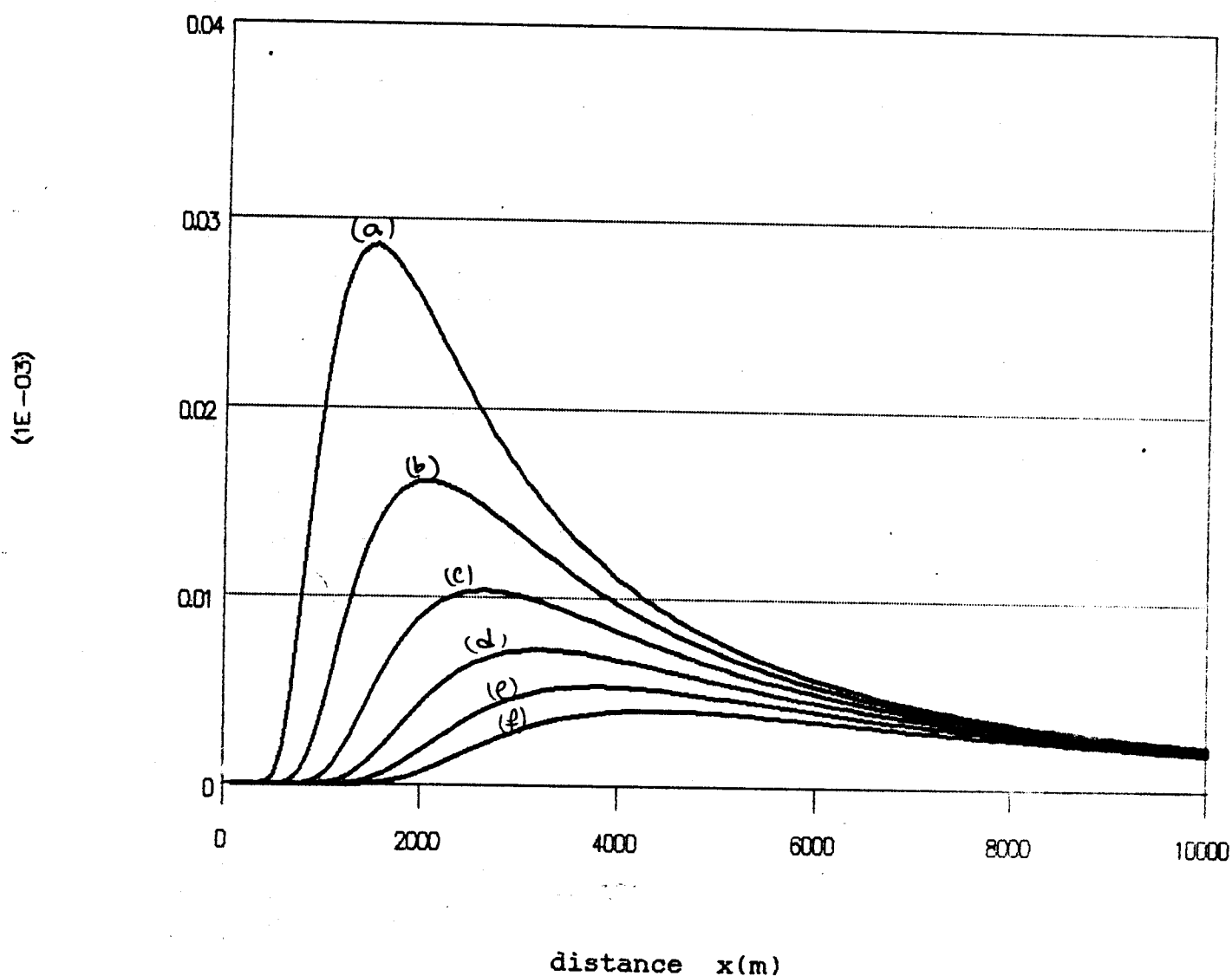


fig 3.10: Variation de la concentration normalisée (CU/Q) en fonction de la distance à la source (x), pour différentes hauteurs de cheminée. PASQUILL, STABILITE (C).

(a) $h=75m$	(b) $h=100m$	(c) $h=125m$
(d) $h=150m$	(e) $h=175m$	(f) $h=200m$

$U=5m/s$

$Q=10000 \text{ Kg/s}$

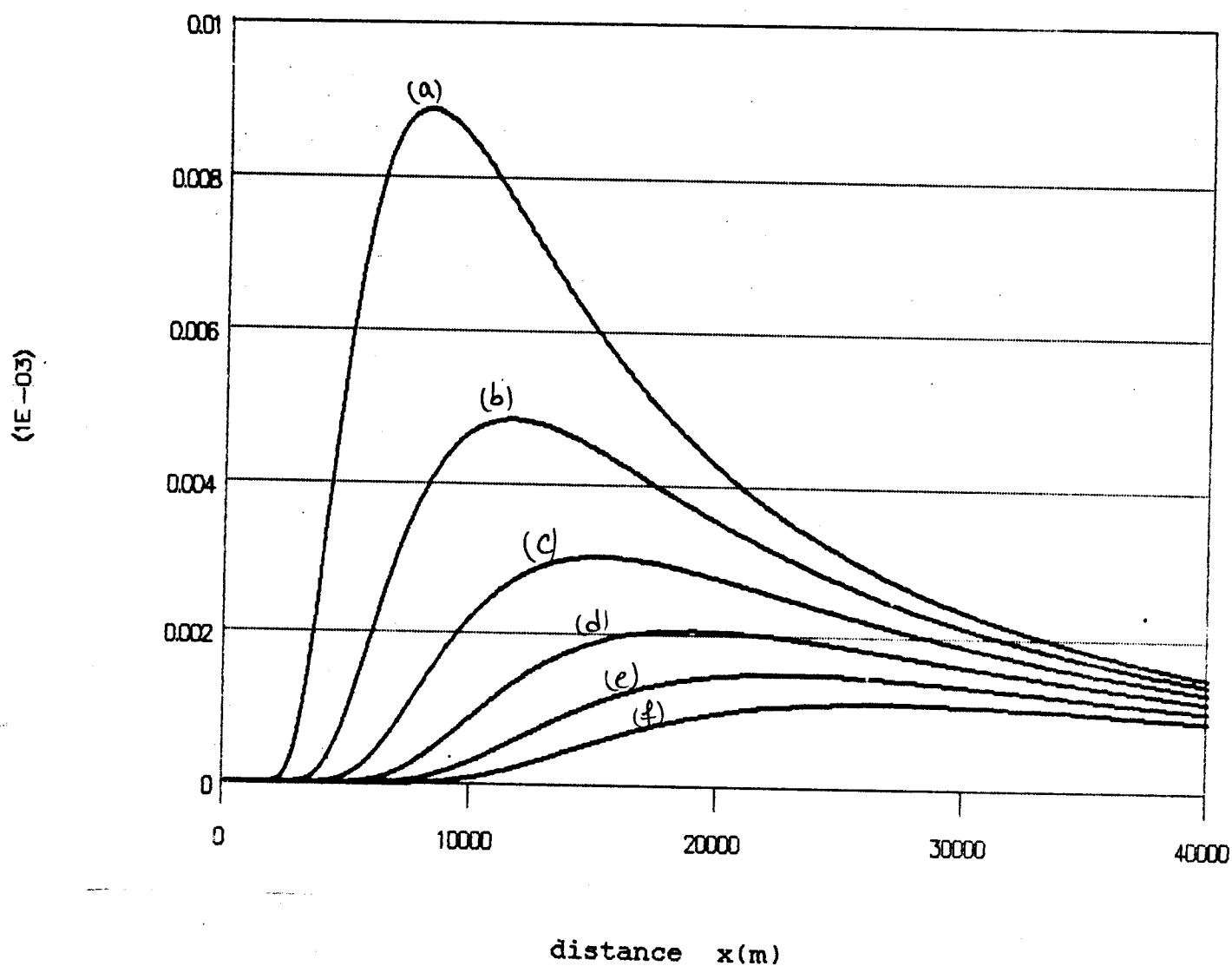


fig 3.11: Variation de la concentration normalisée (CU/Q) en fonction de la distance à la source (x), pour différentes hauteurs de cheminée. PASQUILL, STABILITE (D)

(a) $h=75m$	(b) $h=100m$	(c) $h=125m$
(d) $h=150m$	(e) $h=175m$	(f) $h=200m$

$U=5m/s$

$Q=10000 \text{ Kg/s}$

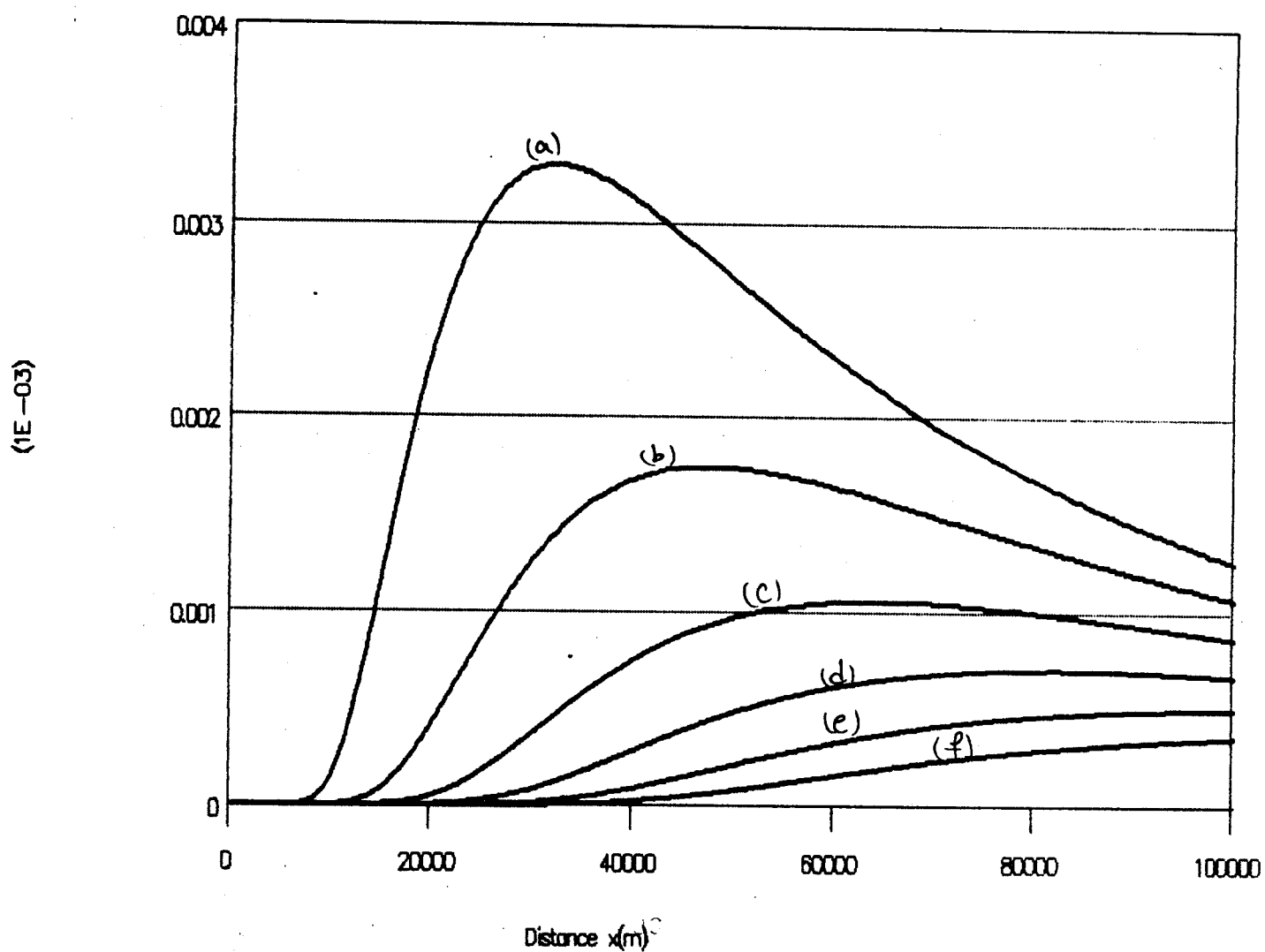


fig3.12: Variation de la concentration normalisée (CU/Q) en fonction de la distance à la source (x), pour différentes hauteurs de cheminée. PASQUILL, STABILITE (E).

(a) $h=75m$	(b) $h=100m$	(c) $h=125m$
(d) $h=150m$	(e) $h=175m$	(f) $h=200m$

$U=5m/s$

$Q=10000 \text{ Kg/s}$

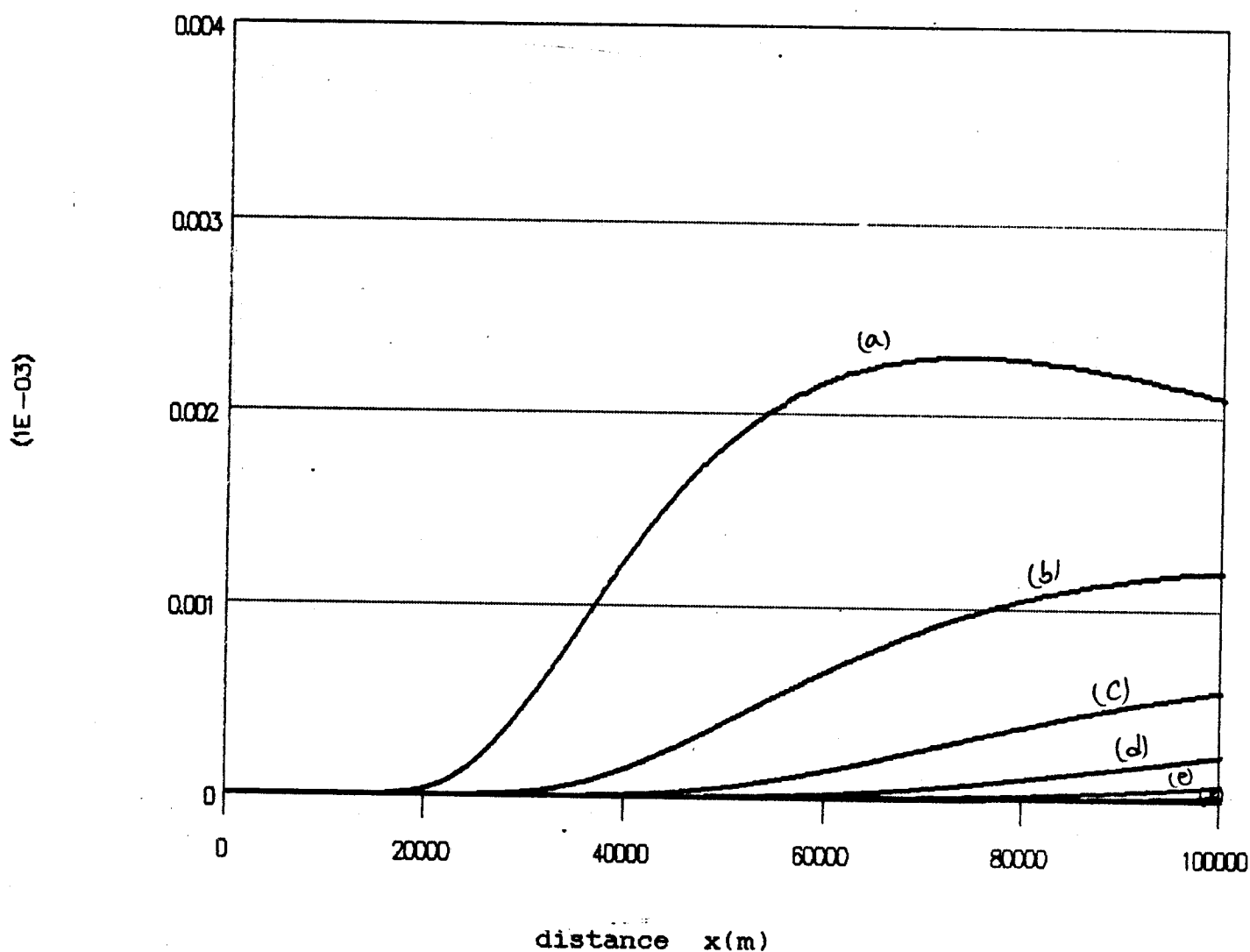


fig 3.13: Variation de la concentration normalisée (CU/Q) en fonction de la distance à la source (x), pour différentes hauteurs de cheminée. PASQUILL, STABILITE (F)

(a) $h=75m$	(b) $h=100m$	(c) $h=125m$
(d) $h=150m$	(e) $h=175m$	(f) $h=200m$

$U=5m/s$

$Q=10000 \text{ Kg/s}$

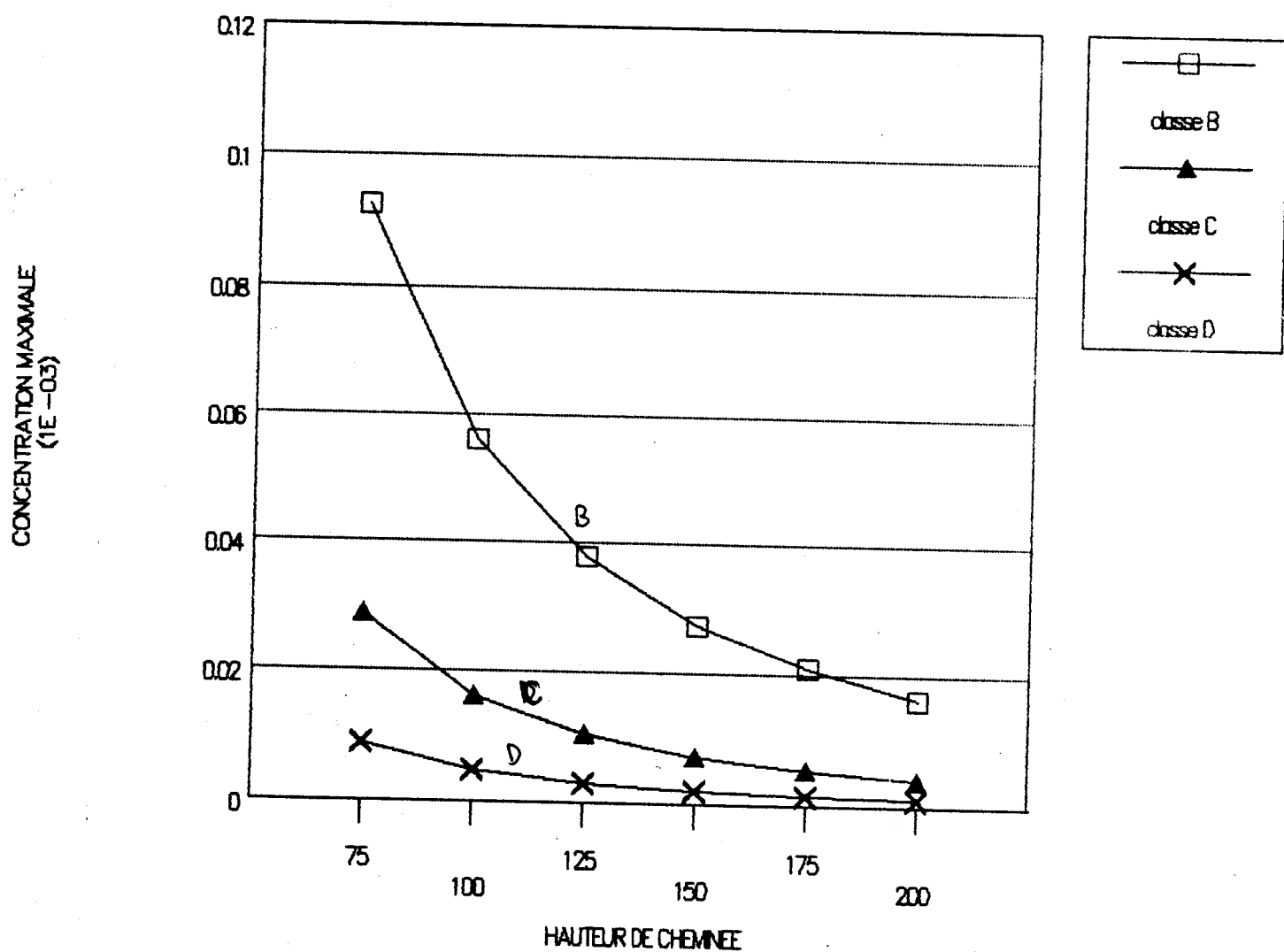
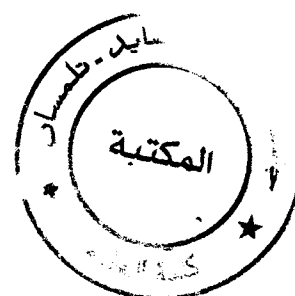


Fig3.14: La variation de la concentration maximale en fonction de la hauteur de la cheminée.



ANNEXE

```

C ***** Calcul de la Concentration normalisée *****
C
    Dimension H(6),X(300),Y(300),Sut(6,300),DHLuc(3),Alpha(3),
    1Pas(6,300),SigY(300),SigZ(300),ho(3),Z1(300),PasXZ(300)
C ***** Formule de SUTTON *****
C
    write(*,11)
11  format(4x,'H1',4x,'H2',4x,'H3',4x,'H4',4x,'H5',4x,'H6',/,
    14x,'Npts',4x,'pasx',4x,/,4x,'Vitesse U',4x,'Débit Qm',
    1//,4x,'Formule de Sutton',//,4x,'n',4x,'Z',4x,'Cy',4x,'Cz',//)
C
    Do 40 K=1,6
40  read(*,*) H(K)
    Read(*,*) Npts,apasx,U,Qm,an,z,Cy,Cz
C ***** Formule de Pasquill *****
C
    write(*,111)
111 format(//,4x,'Formule de Pasquill',/,4x,'Calcul de  $\sigma_y$  et  $\sigma_z$ ',/,
    14x,'a1',4x,'b1',4x,'c1',4x,/,4x,'a2',4x,'b2',4x,'c2',4x)
C
    Read(*,*) a1,b1,c1,a2,b2,c2
C ***** Formule de SUTTON *****
C
    Do 30 J=1,6
    Do 30 i=1,Npts
        X(i)=X(i-1)+apasx
        Sut(J,i)=((Y(i)/Cy)**2)+((H(J)/Cz)**2)
        Sut(J,i)=-Sut(J,i)/(X(i)**(2-an))
        Sut(J,i)=Exp(Sut(J,i))
        Sut(J,i)=Sut(J,i)*2*Qm/(Cy*Cz*3.14*U)
        Sut(J,i)=Sut(J,i)/(X(i)**(2-an))
        Sut(J,i)=Sut(J,i)*U/Qm
C ***** Formule de Pasquill *****
C
    SigY(i)=(a1*(X(i)**b1))+c1
    SigZ(i)=(a2*X(i)**b2)+c2
    Pas(J,i)=-.5*(((Y(i)/SigY(i))**2)+((H(J)/SigZ(i))**2))
    Pas(J,i)=Exp(Pas(J,i))
    Pas(J,i)=Pas(J,i)*Qm/(SigY(i)*SigZ(i)*3.14*U)
    Pas(J,i)=Pas(J,i)*U/Qm
30  Continue
C ***** Formule de Pasquill (dans l'espace(X,Z) ) *****
C
    write(*,*) ' H1',' pasz'
    Read(*,*) H1,apasz
    Do 300 I=1,Npts
        X(I)=X(I-1)+apasx
        SigY(I)=(a1*(X(I)**b1))+c1
        SigZ(I)=(a2*X(I)**b2)+c2
        Z1(I)=Z1(I-1)+apasz
        PasXZ(I)=-.5*((Y(I)/SigY(I))**2)
        PasXZ(I)=Exp(PasXZ(I))
        PasXZ(I)=PasXZ(I)*Qm/(SigY(I)*SigZ(I)*2*3.14*U)
        PasXZ(I)=PasXZ(I)*U/Qm

```

```

      PasXZ(I)=PasXZ(I)*
1      (Exp(-0.5*((Z1(I)-H1)/SigZ(I))*((Z1(I)-H1)/SigZ(I))))+
1      (Exp(-0.5*((Z1(I)+H1)/SigZ(I))*((Z1(I)+H1)/SigZ(I))))
300    continue
C
C***** Résultats Pasquill (dans l'espace) *****
C
      Do 444 I=1,Npts
444    write(122,221) X(I),Z1(I),PasXZ(I)
221    format(4x,E10.3,4x,E10.3,4x,E10.3)
C
      write(122,*)
      write(122,*)
C
      Do 110 I=1,Npts
110    write(122,202) SigY(I),SigZ(I)
202    format(4x,E10.3,4x,E10.3)
C
C***** Résultats SUTTON *****
C
      Do 20 i=1,Npts
20    write(11,4) X(i),Sut(1,i),Sut(2,i),Sut(3,i),Sut(4,i),
1Sut(5,i),Sut(6,i)
4      format(4x,E10.3,4x,E10.3,4x,E10.3,4x,E10.3,4x,E10.3,4x,E10.3,
14x,E10.3)
      write(11,3) H(1),H(2),H(3),H(4),H(5),H(6)
3      Format(//,4x,E10.3,4x,E10.3,4x,E10.3,4x,E10.3,4x,E10.3,4x,E10.3)
      write(11,*) Npts,apas,U,Qm,an,z,Cy,Cz
C
C***** Résultats Pasquill *****
C
      Do 220 i=1,Npts
220    write(12,22) X(i),Pas(1,i),Pas(2,i),Pas(3,i),Pas(4,i),
1Pas(5,i),Pas(6,i)
22      format(4x,E10.3,4x,E10.3,4x,E10.3,4x,E10.3,4x,E10.3,4x,E10.3,
14x,E10.3)
C
      write(12,*)
      write(12,*)
C
      Do 100 i=1,Npts
100    write(12,200) SigY(i),SigZ(i)
200    format(4x,E10.3,4x,E10.3)
C
C***** Calcul de la Surhauteur *****
C
C***** Les Approches Phénoménologiques *****
C
C***** 1°) Formule de BRUMMAGE *****
C
      write(*,101)
101    format(//,' Formule de Brummage',4x,'Vitesse U',4x,'Débit Qm')
C

```

```

      READ(*,*) Ubr,Qm
      DHBrum=86*Sqrt(Qm)/(Ubr**(0.75))
C
C***** 2°) Formule de LUCAS*****
C
      write(*,102)
102  format(//,' Formule de LUCAS',4x,'Vitesse U',4x,'Débit Qm',4x,
1'ho1=50m',4x,'ho2=100m',4x,'ho3=150m')
C
      READ(*,*) Uluc,Qm
C
      Do 33 I=1,3
      ho(1)=50
      ho(2)=100
      ho(3)=150
      Alpha(I)=2*(ho(I)-100)/3+475
33  DHLuc(I)=Alpha(I)*Qm**(1./4)/Uluc
C
C***** 3°) Formule de BRINGFELT *****
C
      write(*,103)
103  format(//,' Formule de BRINGFELT',4x,'Vitesse U',4x,'Débit Qm',4x,
1'x1=250m',4x,'x2=500m',4x,'x3=1000m')
C
      READ(*,*) Ubrg,Qm
C
      x1=250
      x2=500
      x3=1000
      DHBrg1=103*Qm**(0.39)/Ubrg
      DHBrg2=167*Qm**(0.36)/Ubrg
      DHBrg3=224*Qm**(0.34)/Ubrg
C
C***** 4°) Formule de MOSES et CANSON *****
C
      write(*,104)
104  format(//,' Formule de MOSES et CANSON',/,4x,'Vitesse U',4x,
1'Débit Qm',4x,'Vitesse d ejection Ws',4x,'Diametre d',/,4x,
1'Atmosphere neutre A1=1.08',/,4x,'Atmosphere instable A2=2.65'
1,/,4x,'Atmosphere stable A3=0.68')
C
      READ(*,*) UMC,Qm,Ws,d
C
      A1=1.08
      A2=2.65
      A3=0.68
      DHMC1=A1*(5.35*Sqrt(Qm)-0.029*Ws*d)/UMC
      DHMC2=A2*(5.35*Sqrt(Qm)-0.029*Ws*d)/UMC
      DHMC3=A3*(5.35*Sqrt(Qm)-0.029*Ws*d)/UMC
C
C***** 5°) Formule de WHALEY *****
C
      write(*,105)
105  format(//,' Formule de WHALEY',4x,'Vitesse U',4x,'Débit Qm')

```

```

C
  READ(*,*) Uwh,Qm
  DHWha=262*Qm**(0.25)/Uwh
C
C***** Impression des résultats *****
C
C***** 1°) Formule de BRUMMAGE *****
C
C
  write(13,*) ' Formule de Brummage '
  write(13,*)
  write(13,*) ' Surhauteur δH= ',DHBrum
C
C***** 2°) Formule de LUCAS*****
C
C
  write(14,*) ' Formule de Lucas '
  write(14,*)
  write(14,*) ' Surhauteur δH1= ',DHLuc(1)
  write(14,*) ' Surhauteur δH2= ',DHLuc(2)
  write(14,*) ' Surhauteur δH3= ',DHLuc(3)
C
C***** 3°) Formule de BRINGFELT *****
C
C
  write(15,*) ' Formule de BRINGFELT '
  write(15,*)
  write(15,*) ' Surhauteur δH1= ',DHBrig1
  write(15,*) ' Surhauteur δH2= ',DHBrig2
  write(15,*) ' Surhauteur δH3= ',DHBrig3
C
C***** 4°) Formule de MOSES et CARSON *****
C
C
  write(16,*) ' Formule de MOSES-CARSON'
  write(16,*)
  write(16,*) ' Surhauteur δH1= ',DHMC1
  write(16,*) ' Surhauteur δH2= ',DHMC2
  write(16,*) ' Surhauteur δH3= ',DHMC3
C
C***** 5°) Formule de WHALEY *****
C
  write(17,*) ' Formule de WHALEY ', 'Surhauteur δH= ',DHWha
C
  End

```

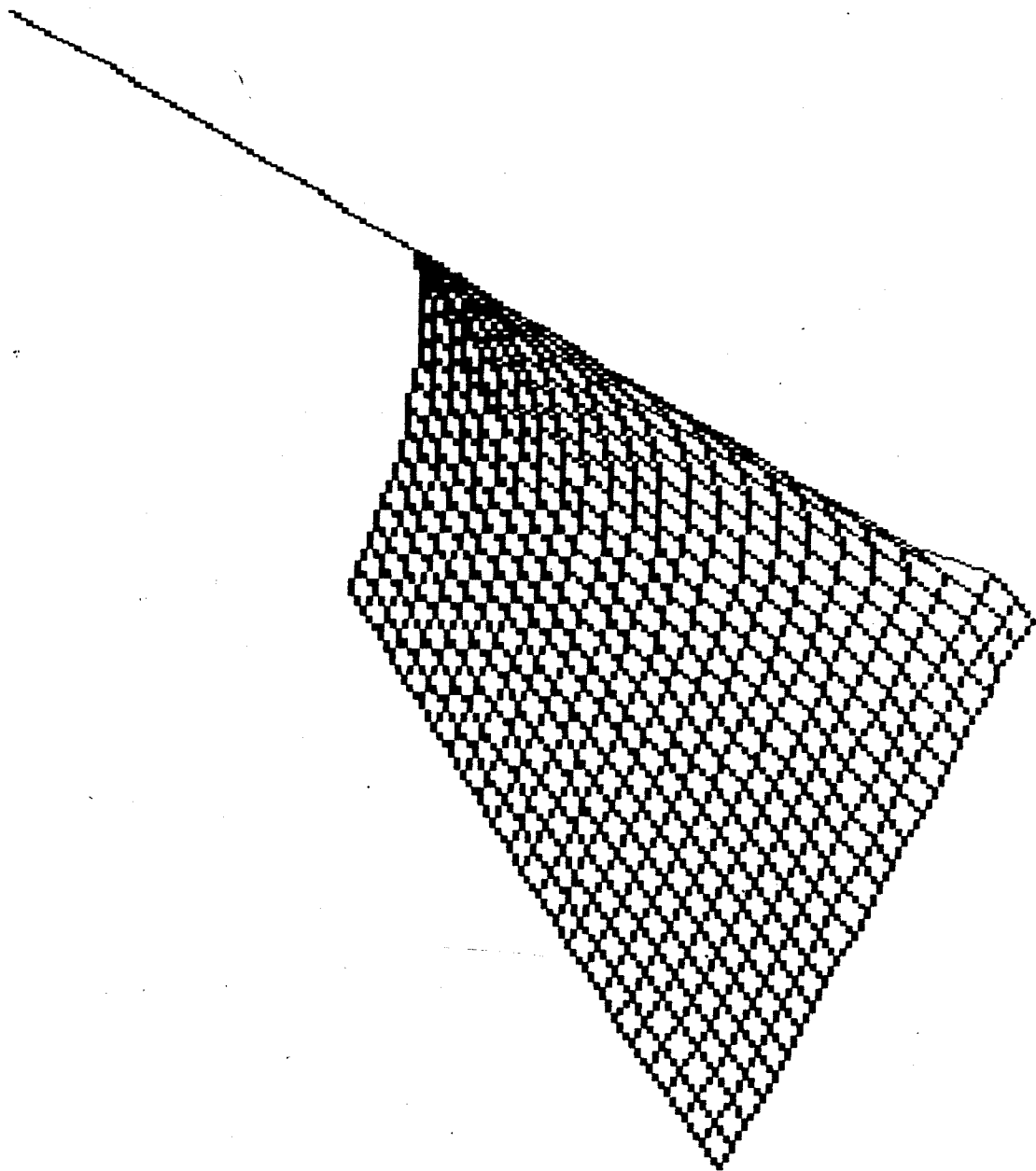


Fig 3, a: Représentation de la concentration massique pour $H=100m$
STABILITE A.

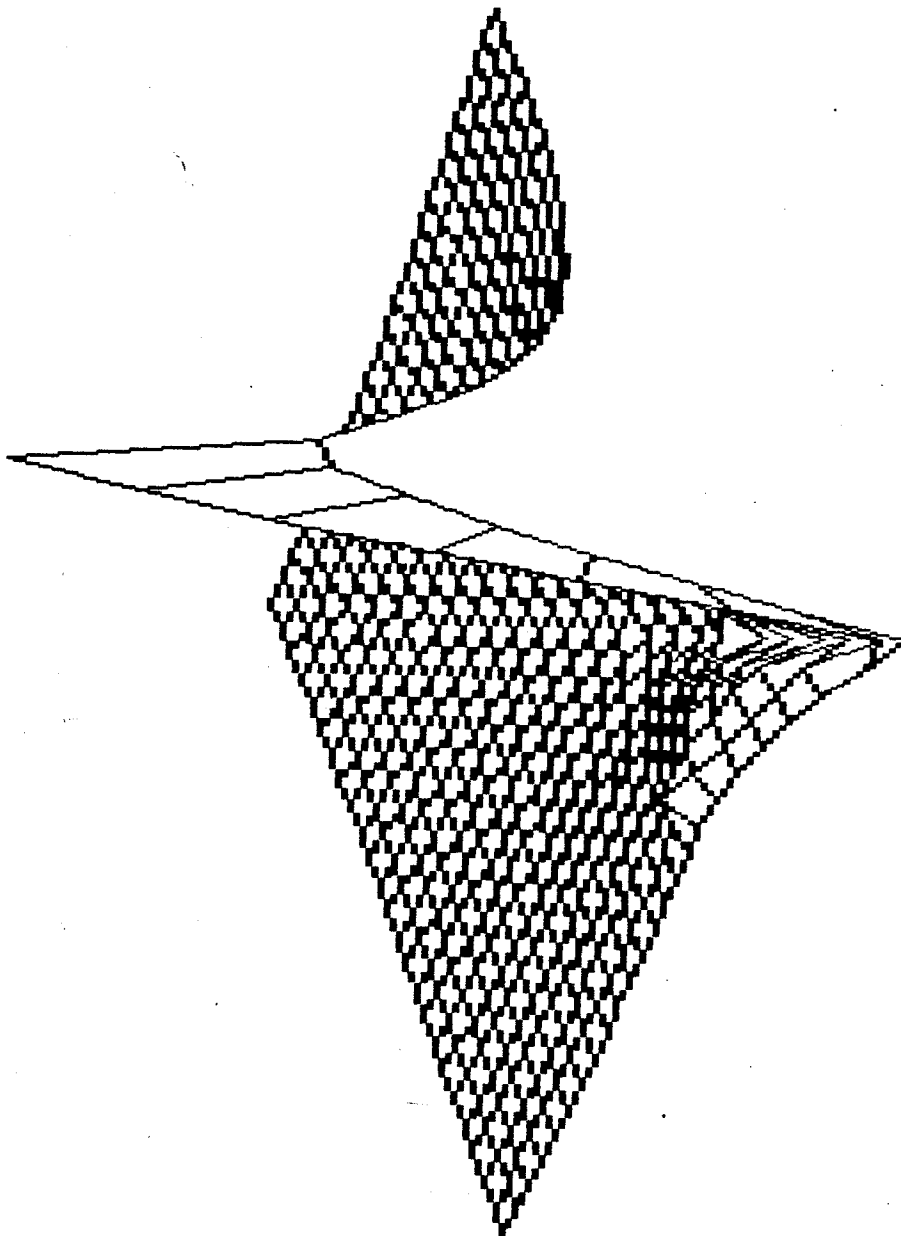


Fig 3.b: Représentation de la concentration massique pour $H=100m$
STABILITE B.

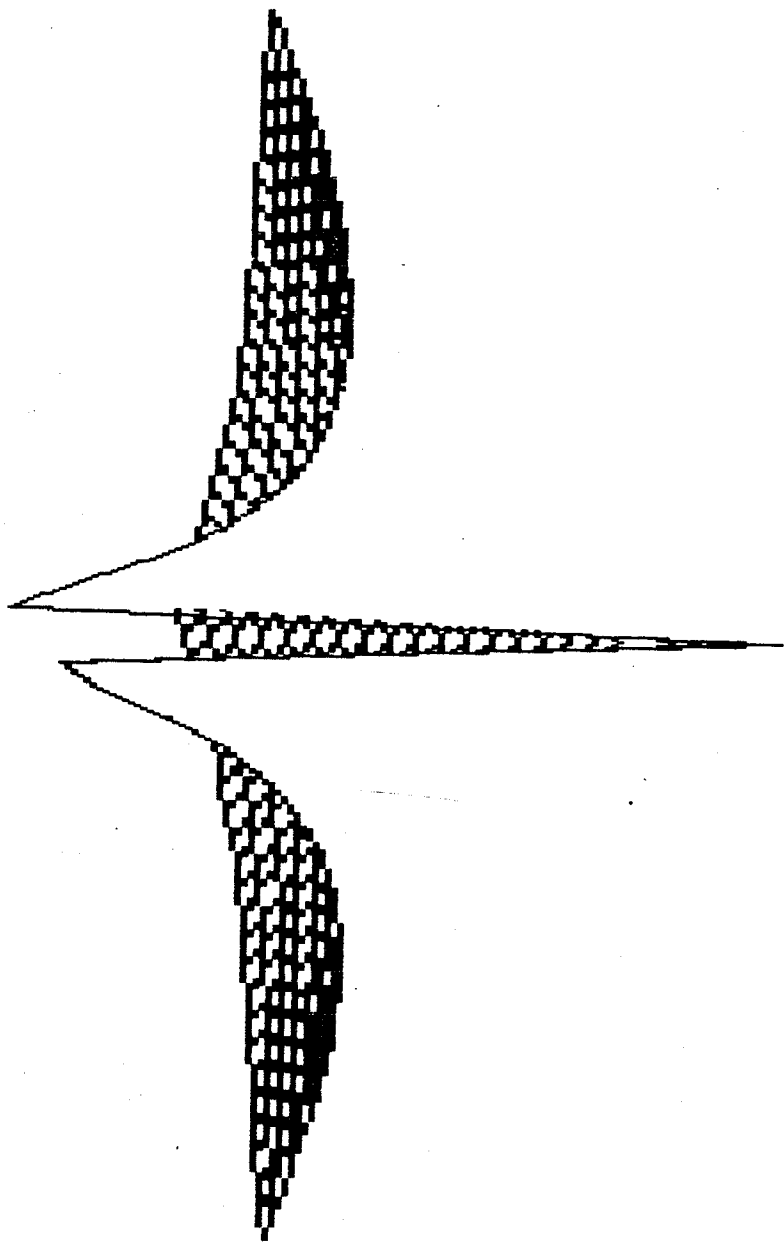


Fig 3. C: Représentation de la concentration massique pour $H=100m$
STABILITE C

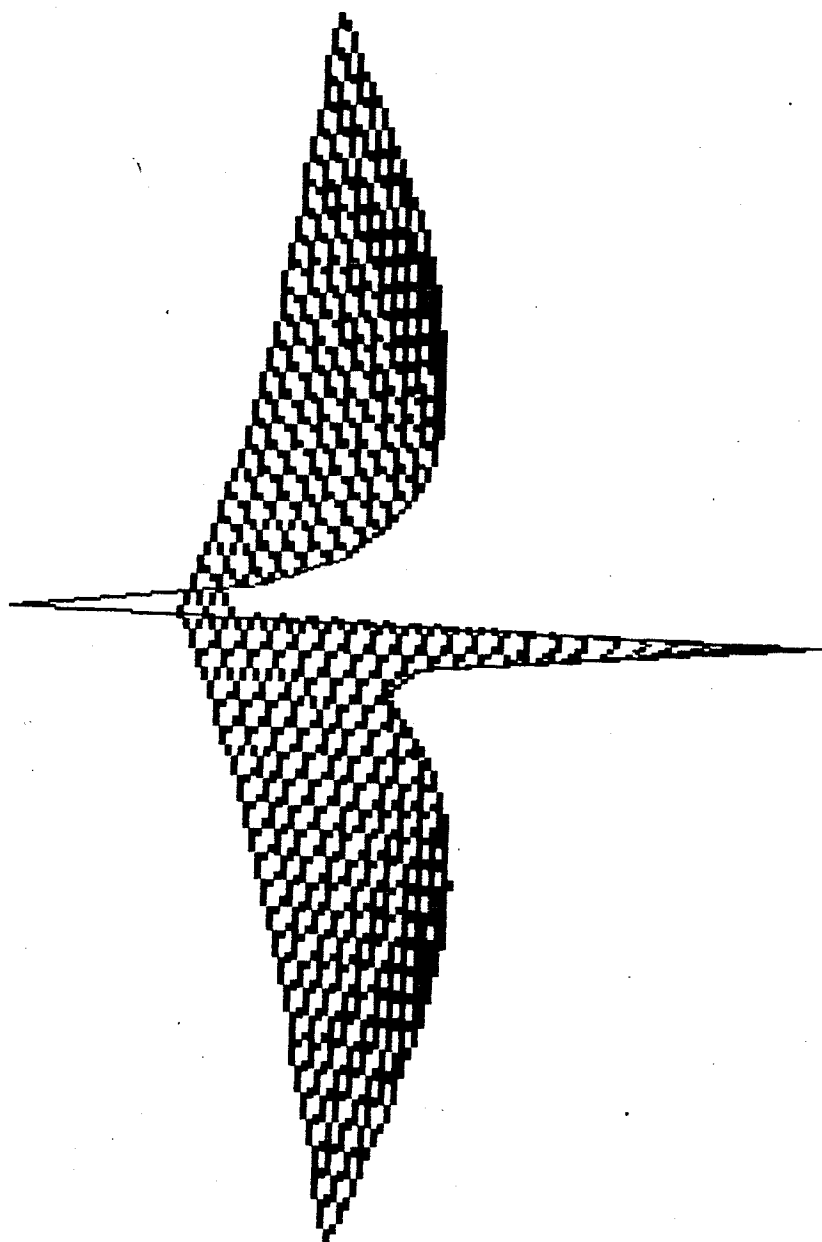


Fig3.d: Représentation de la concentration massique pour $H=100m$
STABILITE D.

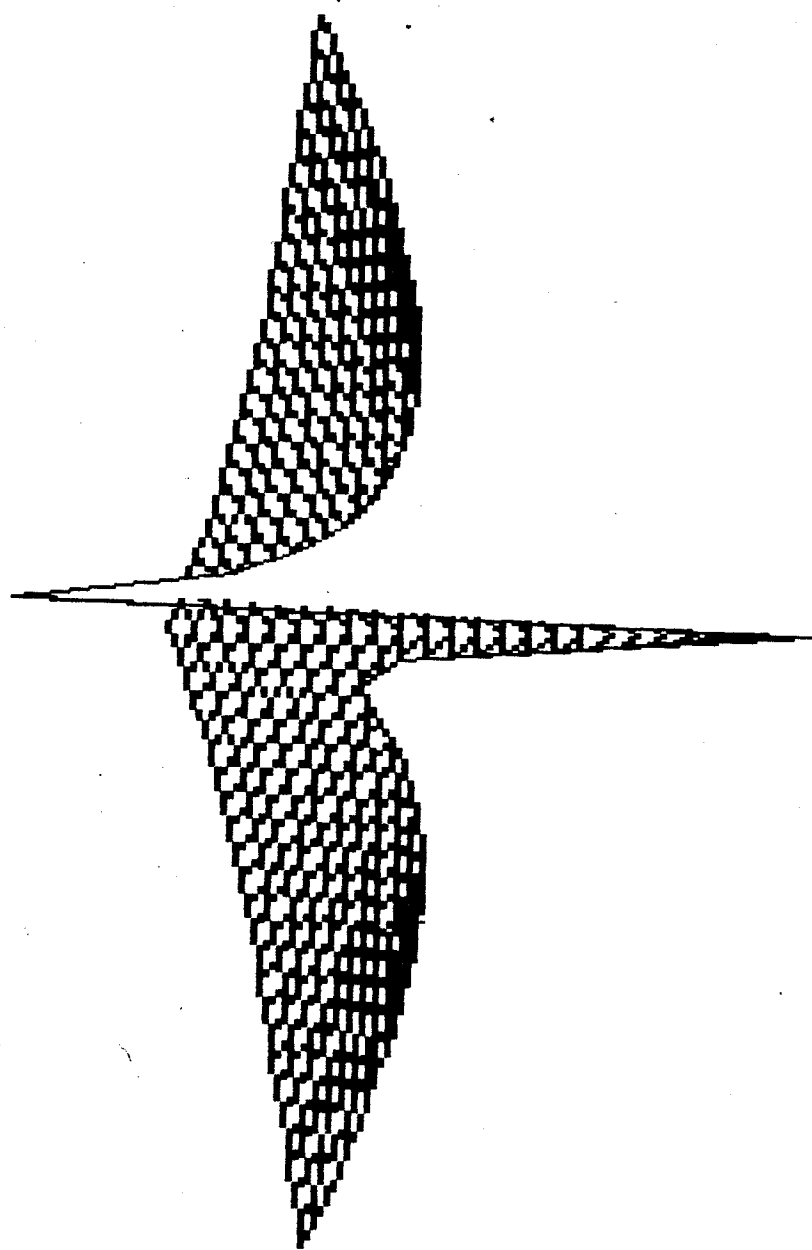


Fig 3c: Représentation de la concentration massique pour $H=100m$
STABILITE E.

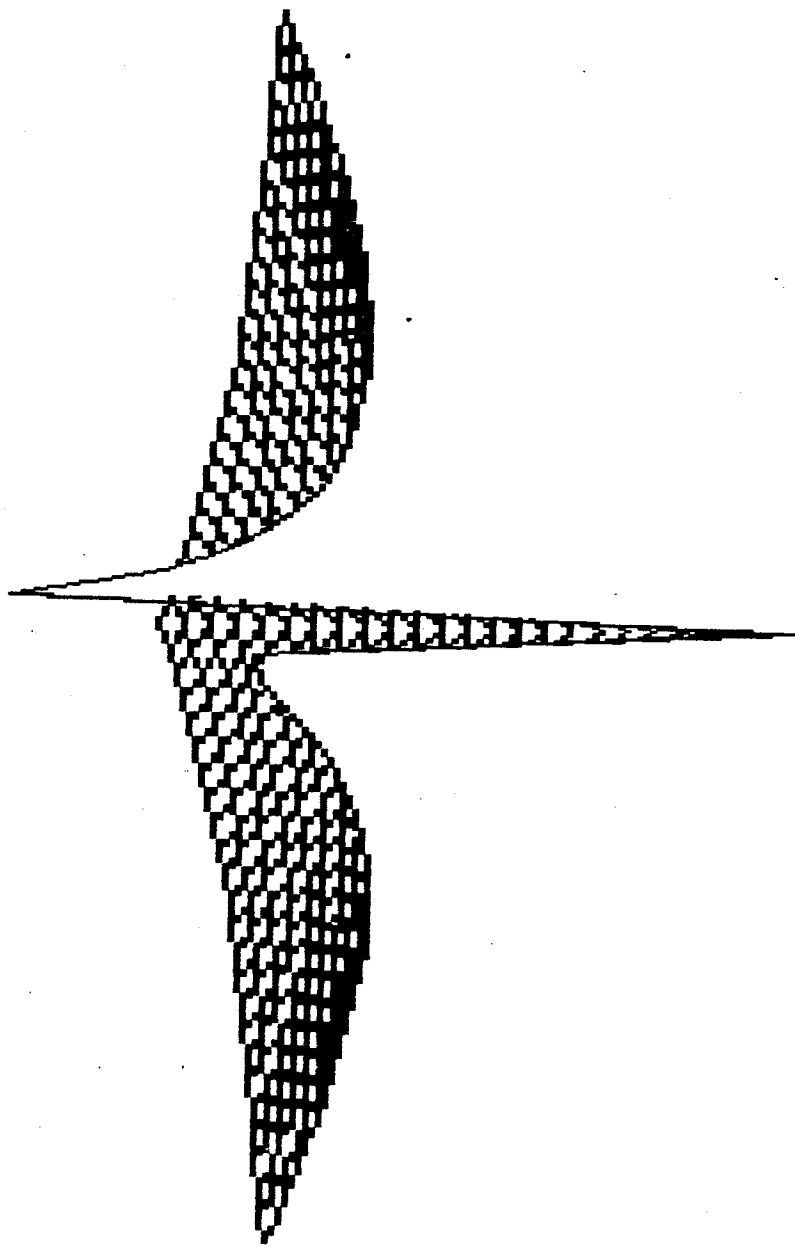


Fig 3.1: Représentation de la concentration massique pour $H=100m$
STABILITE F

CONCLUSION . . . GENERALE

L'exploitation d'installations industrielles pose un problème quant à la prévention de la pollution atmosphérique. Il s'agit de mettre au point un programme qui permet d'optimiser les conditions de rejets d'effluents dans l'atmosphère d'une part, de prévoir les risques de pollution grave dans l'environnement d'une usine en exploitation d'autre part.

En conclusion de ce travail, nous pouvons affirmer que le calcul de la concentration des polluants s'effectue en deux phases.

- Dans une première étape, il s'agit d'estimer la surhauteur du panache dégagé par la cheminée d'une centrale thermique en fonction des conditions d'émission, des caractéristiques de la centrale, des paramètres météorologiques de l'atmosphère environnante ainsi que la puissance de la centrale.

- Dans la seconde étape, l'étude de la dispersion du panache et son parcours à différentes distances a été considérée suivant les différents cas de stabilité de l'atmosphère. L'étude de l'influence de la cheminée de la centrale sur la dispersion et le transport des effluents a été aussi discutée.

Cependant, la réalisation de ce travail nous permet de voir que le problème de la diffusion des panaches à travers l'atmosphère est très complexe. Nous avons considéré les facteurs influant sur la surhauteur d'un panache d'effluents tel que la hauteur de la cheminée, la vitesse du vent, sa vitesse d'éjection et sur sa diffusion telles que les conditions météorologiques.

Le problème de l'estimation de la pollution est loin d'être résolu théoriquement, ce qui représente un danger non négligeable pour l'humanité. Notre but est de mettre à la portée des intéressés cette étude permettant d'analyser un projet industriel avant sa réalisation et au cours de son exploitation afin de préserver son environnement.

Il serait intéressant à l'avenir, de se préoccuper des problèmes de l'environnement des sites industrielles.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] P.MERY et R.DENIAU
Les moyens d'estimation de la dispersion des polluants à l'aval des cheminées industrielles.
EDF série A N°3, 1972.
- [2] JOSEPH JACQUET
Mécanique des fluides et environnement.
- [3] R.GINOCCHIO
Energie électrique et environnement.
EYROLLES ,1980.
- [4] J.P.GRANIER , A.SAAD
Computational methods of plume rise and dispersion of gaseous effluents in the atmosphere. Adaptation of methods to the various problems to be studied.
EDF série A N°3/4 ,1982.
- [5] ERIC JOOS
Modelling of power plant plume contribution to wet and dry acid deposition.
EDF série A ; N°1 ,1990.
- [6] Y.LERIQUEUR , G.MAFFIOLO
Problems induced by on-line analysis of pollutants emitted by large combustion plants.
EDF série A ; N°1 ,1990.
- [39] Industrial air pollution .
IFE, 48-5L, 1980
- [40] emissions assessment of conventional stationary combustions systems.

