



**COMPARAISON DES MODELES GAUSSIENS DE
DISPERSION ATMOSPHERIQUE DE DOURY, DE
PASQUILL ET CAIRE AVEC LES RESULTATS
DES MESURES DU KRYPTON 85 REALISEES
AUTOUR DE L'USINE DE RETRAITEMENT DES
COMBUSTIBLES IRRADIES DE LA HAGUE**

Rapport scientifique

IPSN/Département de Protection de l'Environnement

Rapport DPRE/SERNAT/00-21

R
A
P
P
O
R
T




INSTITUT DE PROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE
DÉPARTEMENT DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

BP 6, 92265 FONTENAY-AUX-ROSES CEDEX, France - Télécopie : 01.46.54.72.90 - Téléphone : 01.46.54.76.28

Demandeur	IPSN, MARINE NATIONALE
Référence de la demande	
Numéro de la fiche d'action	4017

**COMPARAISON DES MODELES GAUSSIENS DE DISPERSION
 ATMOSPHERIQUE DE DOURY, DE PASQUILL ET CAIRE AVEC LES RESULTATS
 DES MESURES DU KRYPTON 85 REALISEES AUTOUR DE L'USINE DE
 RETRAITEMENT DES COMBUSTIBLES IRRADIES DE LA HAGUE**

Rapport scientifique

D. MARO* - Y. BARON** - B. CRABOL* - P. GERMAIN* - V. CLOTILDE* - D. HEBERT* - L. SOLIER*

IPSN/DEPARTEMENT DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Rapport DPRE / SERNAT 00-21

* : Institut de Protection et de Sécurité Nucléaire, Département de Protection de l'Environnement, Service d'Etudes et de Recherches radioécologiques dans les milieux NATurels (IPSN/DPRE/SERNAT).

** : Marine Nationale, Groupe d'Etudes Atomiques (GEA).

	Réservé à l'unité		Visas pour diffusion		
	Auteur(s)	Vérificateur *	Chef d'Unité	Chef du DPRE	Directeur de l'IPSN
Noms	D. Maro et al.	B. Crabol	D. Calmet	J.C. BARESCUT	M. LIVOLANT
Dates	01/07/00	11/12/00	14/10/2000	20/12/2000	
Signatures					

* rapport sous assurance de la qualité

Ont contribué à ce rapport :

Coordinateur :
D. MARO

SERNAT/LERFA

Y. BARON
B. CRABOL
P. GERMAIN
V. CLOTILDE
D. HEBERT
L. SOLIER

Marine Nationale, Groupe d'Etudes Atomiques
SERNAT/EC
SERNAT/LERFA
SERNAT/LERFA
SERNAT/LERFA
SERNAT/LMRE

RESUME

Les modèles gaussiens de dispersion atmosphérique, classiquement utilisés sur un plan opérationnel (principalement Doury et Pasquill), ne sont essentiellement utilisables que dans le cas de rejets au sol (ou de rejets assimilables à des rejets au sol), ou encore, si le rejet se fait à grande hauteur, à des distances suffisamment éloignées de la source pour que le panache ait atteint le sol.

Aussi l'IPSN a commencé, en juin 1997, une étude *in situ* de dispersion atmosphérique en champ proche (< 4 km) autour de l'usine de retraitement des combustibles irradiés de La Hague en considérant le krypton 85 (^{85}Kr), gaz rare inerte chimiquement, rejeté dans les effluents gazeux (cheminées de rejet de 100 m de hauteur) comme un traceur du panache. Quatorze campagnes de mesures du ^{85}Kr ont été réalisées pour des distances comprises entre 575 m et 4500 m par rapport aux cheminées de rejet.

Le but de cette note est de comparer les résultats des Coefficients de Transfert Atmosphérique (CTA) obtenus à partir des mesures de ^{85}Kr autour de l'usine COGEMA de La Hague avec les résultats de trois modèles gaussiens de dispersion atmosphérique, Doury, Pasquill et CAIRE. Le modèle de Doury est utilisé principalement en France et le modèle de Pasquill dans le monde anglo-saxon. Le modèle CAIRE, basé sur le modèle de Pasquill, est utilisé par la Marine nationale en France. C'est un modèle de champ proche, uniquement applicable sur les deux premiers kilomètres à partir de la source.

Sur l'ensemble des campagnes de mesures, on constate comme attendu que les modèles ne sont pas applicables dans le champ proche de la source. Toutefois, sauf dans deux cas, les écarts entre les résultats du modèle CAIRE et ceux des mesures sont inférieurs à un facteur 3.

De cette comparaison entre les résultats des différents modèles avec les mesures de ^{85}Kr dans l'environnement pour des situations de turbulence moyenne à forte (diffusion normale pour Doury, classes C et D pour Pasquill), il apparaît clairement que le modèle CAIRE donne les meilleurs résultats à toutes les distances. Néanmoins, la validation globale de CAIRE ne pourra être réalisée qu'avec l'apport de résultats expérimentaux obtenus pour d'autres hauteurs de rejets et d'autres catégories de stabilité atmosphérique, comme la diffusion faible (turbulence faible).

De futures études se dérouleront sous forme de campagnes de mesures du ^{85}Kr , au sol et en altitude, pour plusieurs classes de stabilité de l'atmosphère et en fonction de la distance (de 200 à 4000 m) entre le point de rejet et le point de mesures. L'ensemble de ces mesures servira, dans les situations similaires à celles de La Hague, à décrire les distributions verticales et horizontales du panache puis à établir une modélisation spécifique permettant d'étendre le domaine d'application des modèles gaussiens de dispersion atmosphérique aux courtes distances en cas de rejet en hauteur.

MOTS-CLES

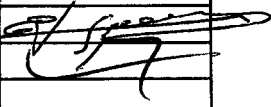
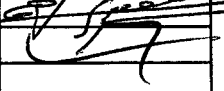
Modèles Gaussiens / Dispersion atmosphérique / Usine de retraitement de La Hague / Krypton 85

RÉFÉRENCES : DPRE / 00-21

HISTORIQUE DES MODIFICATIONS

Version	Date	Auteur	Pages ou paragraphes modifiés	Description ou commentaires
0				

RELECTURES

Nom	Fonction	Date	Visa
P. GERMAIN	Directeur du LERFA	29/11/00	
B. CRABOL	Adjoint au chef du SERNAT	11/12/00	

DIFFUSION

Destinataires		Nombre d'exemplaires	Commentaires
M. LIVOLANT	IPSN/ECC/DIR	1	
C. LECOMTE	IPSN/ECC/Pg	1	
A. SUGIER	IPSN/ECC/DDP	1	
H. METIVIER	IPSN/ECC/Pg	1	
G. MONCHAUX	IPSN/ECC/Pg	1	
A. CERNES	IPSN/ECC/Pg	1	
S. MARANO	IPSN/CDSN	1	
G. FOURGOUS	IPSN/DES/BDSN	1	
J.C. BARESCUT	IPSN/DPRE/DIR	1	
D. ROBEAU	IPSN/ECC/DDP	1	
L. FOULQUIER	IPSN/DPRE/DIR	1	
P. BOUISSET	IPSN/DPRE/SERNAT/LMRE	1	
P. GERMAIN	IPSN/DPRE/SERNAT/LERFA	20	
D. LOUVAT	IPSN/DPRE/SERNAT/LERCM	1	
S. CHARMASSON	IPSN/DPRE/SERNAT/LERCM	1	
J.C. GARIEL	IPSN/DPRE/SERLAB	1	
J. GARNIER-LAPLACE	IPSN/DPRE/SERLAB/LRE	1	
P. SANTUCCI	IPSN/DPRE/SERLAB/LMODE	1	
P. HUBERT	IPSN/DPHD/SEGR/DIR	1	
J.M. PERES	IPSN/DPRE/SERGD/DIR	1	
A. RANNOU	IPSN/DPHD/SDOS/DIR	1	
D. CONTE	IPSN/DPHD/SEGR/DIR	1	
CF. DELABROUSSE MAYOUX	Etat Major/Marine Nationale	1	
Y. BARON	GEA/Marine Nationale	1	
P. CHAZETTE	LSCE/CEA-CNRS	1	
J. SANAK	LSCE/CEA-CNRS	1	

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	6
2. PRESENTATION DES MODELES GAUSSIENS	6
2.1. Généralités	6
2.2. Modèle de Doury	9
2.3. Modèle de Pasquill	10
2.4. Modèle CAIRE	11
3. MESURES DU KRYPTON 85 AUTOUR DE L'USINE DE RETRAITEMENT DES COMBUSTIBLES IRRADIES DE LA HAGUE.....	12
3.1. Mesures dans l'environnement	12
3.2. Détermination des coefficients de transferts atmosphériques (CTA).....	14
3.2.1. Méthode.....	14
3.2.2. Résultats.....	15
4. COMPARAISON ENTRE LES RESULTATS DES MODELES GAUSSIENS ET LES MESURES DU KRYPTON 85 DANS LA HAGUE	15
4.1. Données des calculs	15
4.2. Comparaison des CTA calculés par les modèles avec les CTA déterminés à l'aide des mesures de ⁸⁵ Kr dans l'environnement.....	16
5. CONCLUSION.....	18
6. LISTE DES TABLEAUX	20
7. LISTE DES FIGURES	21
8. LISTE DES RÉFÉRENCES.....	22

1. INTRODUCTION

Les modèles gaussiens de dispersion atmosphérique, classiquement utilisés sur un plan opérationnel (principalement Doury et Pasquill), ne sont essentiellement utilisables que dans le cas de rejets au sol (ou de rejets assimilables à des rejets au sol), ou encore, si le rejet se fait à grande hauteur, à des distances suffisamment éloignées de la source pour que le panache ait atteint le sol (Doury, 1976, 1983) (Pasquill, 1974).

En effet d'une façon générale, les modèles gaussiens ne doivent pas être appliqués loin de l'axe du vent à des distances perpendiculaires à l'axe de plus de 2 ou 3 fois la valeur de l'écart-type de diffusion, que ce soit dans le plan horizontal ou dans le plan vertical. Par exemple, le rejet étant effectué à 100 mètres de haut, ils ne sont pas applicables pour évaluer le Coefficient de Transfert Atmosphérique (CTA) au niveau du sol dans les zones où l'écart-type de diffusion verticale σ_z est inférieur à 50 mètres. La raison de cette restriction est la suivante : l'équation gaussienne n'est solution de l'équation de transport diffusion des polluants que lorsque le milieu est homogène (au sens de la mécanique des fluides). Or, l'atmosphère n'est pas un milieu homogène, surtout sur la direction verticale à proximité du sol.

Aussi l'IPSN a commencé, en juin 1997 (Maro *et al.*, 1999a), une étude *in situ* de dispersion atmosphérique en champ proche (< 4 km) autour de l'usine de retraitement des combustibles irradiés de La Hague en considérant le krypton 85 (^{85}Kr), gaz rare inerte chimiquement, rejeté dans les effluents gazeux (cheminée de rejet de 100 m de hauteur) comme un traceur du panache.

Le ^{85}Kr , isotope radioactif émetteur β^- et γ de période radioactive de 10,71 ans, est produit naturellement et dans les réacteurs nucléaires (Lagoutine *et al.*, 1984) (Pannetier, 1968, 1985). De plus, il a été émis dans l'atmosphère à la suite des explosions des bombes atomiques, mais à présent il est relâché principalement par les usines de retraitement des combustibles nucléaires irradiés, comme à La Hague.

La mesure en continu de l'activité en ^{85}Kr dans l'air pour différentes distances du point de rejet de l'usine de La Hague et pour des conditions météorologiques variées offre un outil pertinent pour valider les modèles de dispersion atmosphérique (Doury, 1976) (Pasquill, 1974) pour des rejets réalisés à grande hauteur, comme c'est le cas à La Hague. Elle permet de suivre le passage de chaque rejet de ^{85}Kr (montée et descente en concentration), d'enregistrer les variations du signal et de calculer des CTA.

Le but de cette note est de comparer les résultats des CTA obtenus à partir des mesures de ^{85}Kr autour de l'usine COGEMA de La Hague avec les résultats de trois modèles gaussiens de dispersion atmosphérique, Doury (Doury, 1976, 1983), Pasquill (Pasquill, 1974) et CAIRE (CAIRE, 1996a). Le modèle de Doury est utilisé principalement en France et le modèle de Pasquill dans le monde anglo-saxon. Le modèle CAIRE, basé sur le modèle de Pasquill, est utilisé par la Marine nationale en France.

2. PRESENTATION DES MODELES GAUSSIENS

2.1. Généralités

Les éléments radioactifs rejetés dans l'atmosphère sont entraînés dans la direction du vent et dispersés dans la masse d'air sous l'action des phénomènes naturels de brassage atmosphérique : le transport et la diffusion. Le transport se rapporte au déplacement du centre de masse du nuage entre deux instants, tandis que la diffusion correspond au déplacement relatif des volumes élémentaires constituant le nuage par rapport à leur centre de gravité (Crabot, 1996, 1999) (Doury, 1976, 1983) (Pasquill, 1974).

Plusieurs types de modèles de dispersion atmosphérique ont été développés parmi lesquels les modèles gaussiens.

Les modèles gaussiens de dispersion sont basés sur la résolution de l'équation générale du transport diffusion d'un gaz passif en milieu turbulent. Un gaz passif est un gaz qui subit, sans les influencer, les mouvements de l'air environnant. C'est le cas par exemple du ^{85}Kr rejeté par l'usine de retraitement des combustibles irradiés de La Hague.

L'équation générale de transport diffusion d'un gaz passif en milieu turbulent est la suivante :

$$\frac{\partial \bar{\chi}}{\partial t} = -\frac{\partial \bar{\chi} \bar{U}_i}{\partial x_i} + \frac{\partial (-\overline{\chi' U_i'})}{\partial x_i} + S$$

avec :

- $\bar{\chi}$ = concentration volumique moyenne à l'instant t et au point de coordonnées xi (i = x, y, z),
- \bar{U}_i = vitesse moyenne dans la direction i,
- χ' = fluctuation de la concentration,
- U_i' = fluctuation de la vitesse,
- S = terme source ou puits présent dans le volume élémentaire de dimension ∂x_i .

Cette équation exprime le fait que la variation de concentration $\partial \bar{\chi}$ pendant un intervalle de temps ∂t est égale à la différence entre les flux moyens et les flux turbulents (entrant et sortant dans un volume élémentaire) et à l'apport ou au retrait éventuel par des sources ou des puits dans le même volume.

Cette équation admet une solution analytique dans les conditions suivantes :

- les vitesses \bar{U}_i sont uniformes (en pratique l'axe des x est pris parallèle au vecteur vent moyen et la seule composante \bar{U}_{ix} n'est pas nulle),
- la diffusion dans la direction i est proportionnelle au gradient de concentration dans la même direction, soit $-\overline{\chi' U_i'} = K_i \frac{\partial \bar{\chi}}{\partial x_i}$ avec K_i , appelé coefficient de diffusion turbulente, indépendant du point considéré dans l'espace (turbulence homogène).

Dans ces conditions et dans le cas d'une émission instantanée d'une quantité Q, la solution de l'équation est de type gaussien :

$$\chi(x, y, z, t) = \frac{QE}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{(x - x_0 - \bar{U}t)^2}{2\sigma_x^2} - \frac{(y - y_0)^2}{2\sigma_y^2} - \frac{(z - z_0)^2}{2\sigma_z^2}\right]$$

avec :

- Q : quantité totale de polluant libéré,
- x, y, z : coordonnées du point d'observation (x pris dans le sens du vent moyen), y transversalement et z verticalement,
- x_0, y_0, z_0 : coordonnées du point de rejets,
- \bar{U} : vitesse moyenne du vent,
- t : temps écoulé depuis l'émission.
- $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$: écarts types de la distribution gaussienne de la quantité Q par rapport à sa localisation moyenne à l'instant t. Ces écarts types sont liés aux coefficients de diffusion K, par la relation d'Einstein $\sigma_i^2 = 2\hat{K}_i t$ avec $\hat{K}_i = \frac{1}{t} \int_0^t K_i dt$
- E : terme d'appauvrissement de la concentration dans l'air du fait des dépôts.

Les écarts types de la diffusion ont la dimension d'une longueur. Selon la loi de Gauss, ils donnent l'écart en distance par rapport au centre de masse du point où la concentration est environ 0,6 fois la valeur maximale du centre de masse. Les principaux écarts types de la diffusion atmosphérique utilisés sont ceux de Doury en France et de Pasquill dans le monde anglo-saxon.

Dans le cas d'une émission prolongée, qui est assimilée à une séquence d'émissions ponctuelles instantanées et en admettant que $\sigma_x = \sigma_y = \sigma_h$, on obtient la solution dite « à bouffées gaussiennes » :

$$\chi(x, y, z, t) = \sum_i \frac{Q_i E}{(2\pi)^{3/2} \sigma_h^2 \sigma_z} \exp\left[-\frac{(x - x_0 - \bar{U}\theta_i)^2}{2\sigma_h^2} - \frac{(y - y_0)^2}{2\sigma_h^2} - \frac{(z - z_0)^2}{2\sigma_z^2}\right]$$

avec :

- Q_i : quantité de polluant contenue dans la bouffée de rang i,
- θ_i : temps de transit de la bouffée i (date de l'observation – date de la naissance).

Si la concentration ne dépend pas du temps ($\frac{\partial \chi}{\partial t} = 0$) et si le flux de polluant transporté par le vent est grand devant le flux turbulent dans la même direction ($\bar{\chi U} \gg \overline{\chi' U'_x}$), en pratique, vitesse supérieure à 2 m.s⁻¹, on obtient dans ce cas la solution dite de « panache gaussien » :

$$\chi(x, y, z) = \frac{q}{(2\pi)\bar{U}\sigma_h\sigma_z} \exp\left[-\frac{(y - y_0)^2}{2\sigma_h^2} - \frac{(z - z_0)^2}{2\sigma_z^2}\right]$$

avec :

- q : débit de rejet.

A l'aide de cette équation, le Coefficient de Transfert Atmosphérique (CTA) peut s'exprimer de la façon suivante :

$$CTA(x, y, z, x_0, y_0, z_0, \text{météo}) = \frac{\int_0^{\infty} \chi dt}{Q} = \frac{1}{(2\pi)\overline{U}\sigma_h\sigma_z} \exp\left[-\frac{(y-y_0)^2}{2\sigma_h^2} - \frac{(z-z_0)^2}{2\sigma_z^2}\right]$$

Pour tenir compte de la présence du sol, en supposant que le sol joue le rôle d'un miroir parfait, on ajoute une source virtuelle à la source réelle, symétrique de celle-ci par rapport à la surface considérée :

$$CTA(x, y, z, x_0, y_0, z_0, \text{météo}) = \left\{ \frac{1}{(2\pi)\overline{U}\sigma_h\sigma_z} \exp\left(-\frac{(y-y_0)^2}{2\sigma_h^2}\right) \right\} \times \left\{ \exp\left(-\frac{(z-z_0)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+z_0)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right\}$$

C'est cette dernière équation qui a servi pour réaliser les calculs comparatifs avec les mesures car la vitesse du vent était suffisamment forte pour que l'hypothèse « panache gaussien » soit vérifiée (vitesse > 2 m.s⁻¹)

2.2. Modèle de Doury

Les écarts types du modèle de Doury sont fonction du temps écoulé depuis l'instant d'émission (Doury, 1976).

Doury distingue deux catégories de stabilité atmosphérique appelées classe de diffusion normale (turbulence moyenne ou forte) et classe de diffusion faible (turbulence faible). Il considère que seule la distribution verticale de polluant est affectée par la stabilité de l'atmosphère.

La diffusion atmosphérique normale, ou atmosphère neutre à instable, correspond à une valeur du gradient vertical de température inférieure ou égale à -0,5°C/100m alors que la diffusion atmosphérique faible, ou atmosphère stable, correspond à une valeur du gradient vertical de température supérieure à -0,5°C/100m.

Les écarts types verticaux et horizontaux de diffusion sont donnés par les formules suivantes :

$$\sigma_x = \sigma_y = \sigma_h = \left(2 \times \overline{K}_h \times t\right)^{\frac{1}{2}} = (A_h \times t)^{k_h}$$

$$\sigma_z = \left(2 \times \overline{K}_z \times t\right)^{\frac{1}{2}} = (A_z \times t)^{k_z}$$

Avec

- $\overline{K_h}, \overline{K_z}$ = valeurs moyennes des coefficients de l'équation de diffusion, ou coefficients moyens de diffusion horizontale et verticale ($m^2 \cdot s^{-1}$), fonctions de la durée de transfert,
- A_h, A_z = paramètres de diffusion horizontale et verticale ($m^{1/k} \cdot s^{-1}$) indépendants du temps, dans un nombre limité d'intervalles,
- k_h, k_z = exposants de diffusion horizontale et verticale (sans dimension).

Les valeurs des paramètres sont donnés dans les tableaux 1 et 2.

Durée de transfert (s)	Diffusion Normale			
	A_h	A_z	k_h	k_z
0 à 240	0,405	0,42	0,859	0,814
240 à 3280	0,135	1	1,13	0,685
3280 à 97000	0,135	20	1,13	0,5
97000 à 508000	0,463	20	1	0,5
508000 à 1300000	6,5	20	0,824	0,5
>1300000	200000	20	0,5	0,5

Tableau 1 : paramètres de calculs de σ_h et σ_z en diffusion normale (modèle de Doury)

Durée de transfert (s)	Diffusion Faible			
	A_h	A_z	k_h	k_z
0 à 240	0,405	0,2	0,859	0,5
240 à 97000	0,135	0,2	1,13	0,5
97000 à 508000	0,463	0,2	1	0,5
508000 à 1300000	6,5	0,2	0,824	0,5
>1300000	200000	0,2	0,5	0,5

Tableau 2 : paramètres de calculs de σ_h et σ_z en diffusion faible (modèle de Doury)

2.3. Modèle de Pasquill

Les écarts types du modèle de Pasquill sont fonction de la distance parcourue par le polluant depuis la source (Pasquill, 1974).

De plus, Pasquill distingue six catégories de stabilité atmosphérique, la stabilité agissant à la fois sur la diffusion verticale et horizontale. Il définit six classes pour décrire la stabilité de l'atmosphère : A = très instable, B = modérément instable, C = légèrement instable, D = neutre, E = stable et F = très stable.

Les paramètres pour déterminer la classe de stabilité sont la vitesse de vent à 10 m et l'insolation ou la nébulosité (tableau 3).

	Jour	Jour	Jour	nuit	Nuit
vent à 10 m (m/s)	Insolation forte	Insolation modérée	Insolation faible	Nébulosité >4 octa	Nébulosité <= 3 octa
<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

Tableau 3 : paramètres d'évaluation de la stabilité de l'atmosphère (modèle de Pasquill)

Les écarts types verticaux et horizontaux de diffusion sont donnés par les formules (Briggs, 1976) des tableaux 4 et 5 (σ_y , σ_z , et x en m).

Stabilité	σ_y (m)
A	$0,22.x.(1+0,0001.x)^{-0,5}$
B	$0,16.x.(1+0,0001.x)^{-0,5}$
C	$0,11.x.(1+0,0001.x)^{-0,5}$
D	$0,08.x.(1+0,0001.x)^{-0,5}$
E	$0,06.x.(1+0,0001.x)^{-0,5}$
F	$0,04.x.(1+0,0001.x)^{-0,5}$

Tableau 4 : paramètres de calcul de σ_y (modèle de Briggs)

Stabilité	σ_z (m)
A	0,20.x
B	0,12.x
C	$0,08.x.(1+0,0002.x)^{-0,5}$
D	$0,06.x.(1+0,0015.x)^{-0,5}$
E	$0,03.x.(1+0,0003.x)^{-1}$
F	$0,016.x.(1+0,0003.x)^{-1}$

Tableau 5 : paramètres de calcul de σ_z (modèle de Briggs)

2.4. Modèle CAIRE

Le Modèles CAIRE est utilisé par la Marine Nationale pour des rejets chroniques ou dans des situations accidentelles (CAIRE, 1996a). Ce modèle est prévu pour du champ proche, puisqu'il n'est utilisable qu'à l'intérieur d'un rayon de 2000 m par rapport au point source.

Ce modèle gaussien est basé sur les classes de stabilité de Pasquill (tableau 3).

Les écarts types d'origine, verticaux et horizontaux, sont donnés par la formule suivante (CAIRE, 1996b):

$$\sigma_{y,z} = ax^b \text{ avec les coefficients a et b dans les tableaux 6 et 7 } (\sigma_y, \sigma_z, x \text{ et a en km}) :$$

Stabilité	Coefficients	
	a	b
A	0,215	0,858
B	0,155	0,889
C	0,105	0,903
D	0,068	0,908
E	0,05	0,914
F	0,034	0,908

Tableau 6 : paramètres de calcul de σ_y (modèle CAIRE)

Stabilité	Coefficients			
	$x \leq 1$ km		$1 < x \leq 2$ km	
	a	b	a	b
A	0,467	1,89	0,467	1,89
B	0,103	1,11	0,103	1,11
C	0,066	0,915	0,066	0,915
D	0,0315	0,822	0,0315	0,822
E	0,0232	0,745	0,148	0,15
F	0,0144	0,727	0,0312	0,306

Tableau 7 : paramètres de calcul de σ_z (modèle CAIRE)

Des résultats expérimentaux obtenus *in situ* (traçage au SF₆) et sur maquette en soufflerie ont permis d'ajuster ces écarts types d'origine, verticaux et horizontaux, du modèle CAIRE pour les adapter aux sites de Brest, de l'île longue, de Cherbourg et de Toulon. Les écarts types modifiés ne figurent dans aucun document consultable et restent la propriété de l'entreprise BRENK SYSTEMPLANUNG (CAIRE, 1996a).

3. MESURES DU KRYPTON 85 AUTOUR DE L'USINE DE RETRAITEMENT DES COMBUSTIBLES IRRADIES DE LA HAGUE

3.1. Mesures dans l'environnement

L'IPSN a réalisé une série de quatorze campagnes de mesures de ⁸⁵Kr autour du site de l'usine de retraitement de La Hague (figure 1) entre juin 1997 et avril 1998 pour des distances et des conditions météorologiques variables (Maro *et al.*, 1999a).

Les mesures dans l'environnement ont été réalisées à des distances comprises entre 575 et 4500 mètres par rapport aux points de rejets avec des vitesses de vent à 100 mètres d'altitude, par rapport au plateau de La Hague, comprises entre 4,5 et 16,9 m.s⁻¹ (tableau 8).

Les conditions météorologiques de diffusion pendant la durée des prélèvements sont du type « diffusion normale » dans la classification de Doury ou de type « neutre ou légèrement instable » dans la classification de Pasquill (classes C et D).

L'activité maximale en ⁸⁵Kr mesurée dans l'atmosphère lors de ces campagnes est de 2,6.10⁵ Bq.m⁻³ pour une activité rejetée de l'ordre de 3.10¹⁰ Bq.s⁻¹.

Les résultats de mesures ont permis de calculer les CTA au sol, pour les distances par rapport au point de rejet et pour les conditions météorologiques correspondantes à ces campagnes.

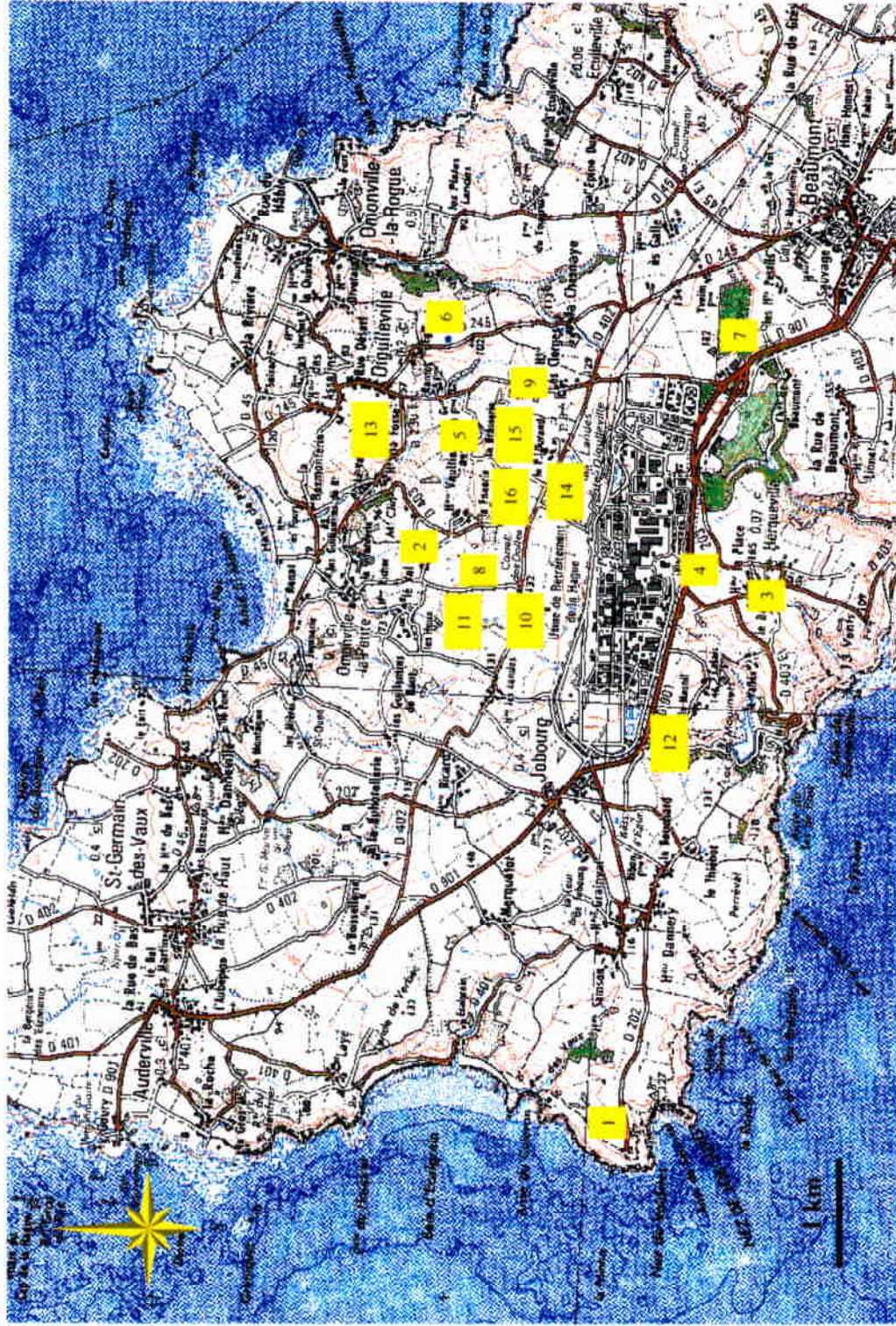


Figure 1 : Zone d'étude lors des différentes campagnes de mesures du ⁸⁵Kr (cf tableau 1).

3.2. Détermination des coefficients de transferts atmosphériques (CTA)

3.2.1. Méthode

Dans le cas de l'usine de retraitement des combustibles irradiés de la Hague, on admet que le CTA peut être déduit du rapport entre l'intégrale de la concentration mesurée dans l'environnement pendant la durée du cisailage (~ 30 minutes) et la quantité rejetée pendant le cisailage. La figure 2 montre que cette approximation est justifiée puisque l'essentiel du panache correspondant à un cisailage peut être détecté avant l'apparition du panache due au cisailage suivant. Cela conduit à déterminer le CTA de la façon suivante :

$$CTA = \frac{\int_{t_0}^{t_1} X(M, t).dt}{\int_{t'_0}^{t'_1} q(t).dt}$$

avec :

$X(M, t)$: Activité volumique au point de mesure (M) à l'instant t ($Bq.m^{-3}$),

$q(t)$: Débit d'activité de la source ($Bq.s^{-1}$),

t'_0, t'_1 : Instant de début et de fin d'émission de la source (s),

t_0, t_1 : Instant de début et de fin de la mesure (s).

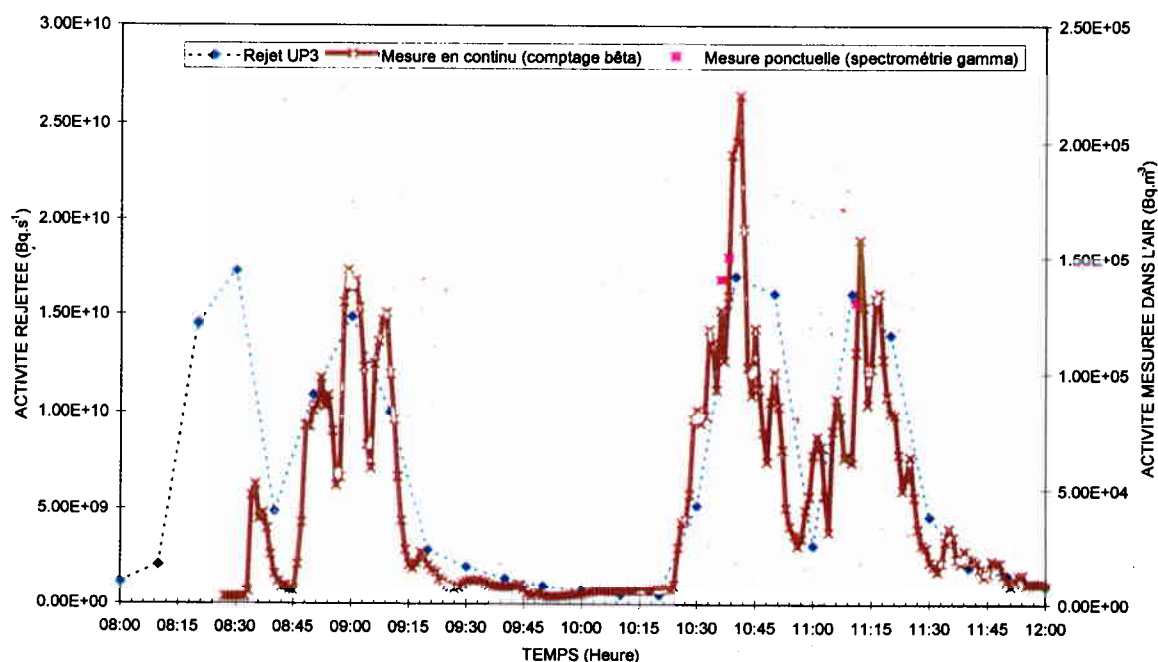


Figure 2: Exemple de mesures du ⁸⁵Kr dans l'environnement (campagne de mesures réalisée le 20/01/1998 au bourg d'Herqueville)

3.2.2. Résultats

Les CTA calculés lors des différentes campagnes de mesures du ^{85}Kr sont présentés dans le tableau 9.

Pour ces campagnes de mesures du ^{85}Kr , les CTA obtenus varient de $8,1 \cdot 10^{-7} \pm 2,1 \cdot 10^{-7}$ à $7,8 \cdot 10^{-6} \pm 2,0 \cdot 10^{-6} \text{ s.m}^{-3}$ pour des distances comprises entre 575 et 4500 m des points de rejets. Les vitesses de vent à 100 m, ont varié d'une campagne à l'autre entre 4,5 et $16,9 \text{ m.s}^{-1}$.

4. COMPARAISON ENTRE LES RESULTATS DES MODELES GAUSSIENS ET LES MESURES DU KRYPTON 85 DANS LA HAGUE

4.1. Données des calculs

Les données d'entrées des modèles pour le calcul des CTA sont :

- vitesse du vent,
- stabilité atmosphérique,
- hauteur de rejet (100 m),
- coordonnées du point de calcul du CTA par rapport au point de rejet.

Les données météorologiques et les distances par rapport au point de rejet sont regroupées dans le tableau 8. Les points sont supposés être dans l'axe du vent.

Les mesures ont été réalisées dans des conditions de stabilité de l'atmosphère qui correspondent à :

- la diffusion normale pour Doury,
- les classes C (4 CTA sur 34) et D (30 CTA sur 34) pour Pasquill et CAIRE.

La hauteur de rejet de 100 m correspond à la hauteur géométrique des cheminées.

05/06/97 09:30	Jobourg	Nez de Voidries	1	4500 ± 25	270 ± 1	8,7 ± 0,5	100 ± 3	Normale (Doury)/ classe D (Pasquill, CAIRE)
05/11/97 09:30	Digulleville	La Menue Roche	2	2000 ± 25	7 ± 1	16,7 ± 1,1	188 ± 3	Normale (Doury)/ classe D (Pasquill, CAIRE)
06/11/97 10:10	Digulleville	La Menue Roche	2	2000 ± 25	7 ± 1	16,7 ± 1,1	188 ± 3	Normale (Doury)/ classe D (Pasquill, CAIRE)
07/11/97 10:50	Digulleville	La Menue Roche	2	2000 ± 25	7 ± 1	16,7 ± 1,1	188 ± 3	Normale (Doury)/ classe D (Pasquill, CAIRE)
20/01/98 09:00	Herqueville	Bourg	3	1000 ± 25	176 ± 1	11,1 ± 0,7	5 ± 4	Normale (Doury)/ classe D (Pasquill, CAIRE)
20/01/98 10:40	Herqueville	Bourg	3	1000 ± 25	176 ± 1	11,1 ± 0,7	5 ± 4	Normale (Doury)/ classe D (Pasquill, CAIRE)
20/01/98 11:20	Herqueville	Bourg	3	1000 ± 25	176 ± 1	11,1 ± 0,7	5 ± 4	Normale (Doury)/ classe D (Pasquill, CAIRE)
11/03/98 15:20	Herqueville	Les Acres	4	800 ± 25	165 ± 1	12,3 ± 1,0	353 ± 7	Normale (Doury)/ classe D (Pasquill, CAIRE)
11/03/98 16:00	Herqueville	Les Acres	4	800 ± 25	165 ± 1	12,3 ± 1,0	353 ± 7	Normale (Doury)/ classe D (Pasquill, CAIRE)
02/04/98 13:50	Digulleville	La Brasserie	5	1375 ± 25	26 ± 1	11,0 ± 0,3	203 ± 2	Normale (Doury)/ classe D (Pasquill, CAIRE)
06/04/98 09:50	Digulleville	Les Pâtures	6	2450 ± 25	40 ± 1	10,9 ± 0,5	220 ± 5	Normale (Doury)/ classe D (Pasquill, CAIRE)
07/04/98 12:30	Beaumont	Le Petit Parc	7	1550 ± 25	110 ± 1	5,5 ± 0,3	289 ± 9	Normale (Doury)/ classe D (Pasquill, CAIRE)
09/04/98 11:30	Omonville La Petite	Carrefour des Delles	8	1025 ± 25	358 ± 1	5,7 ± 1,0	190 ± 8	Normale (Doury)/ classe C (Pasquill, CAIRE)
17/04/98 08:40	Herqueville	Bourg	3	1200 ± 25	178 ± 1	16,9 ± 1,0	3 ± 1	Normale (Doury)/ classe D (Pasquill, CAIRE)
17/04/98 09:51	Herqueville	Bourg	3	1200 ± 25	178 ± 1	15,7 ± 1,0	0 ± 2	Normale (Doury)/ classe D (Pasquill, CAIRE)
17/04/98 10:31	Herqueville	Bourg	3	1200 ± 25	178 ± 1	14,3 ± 0,8	360 ± 3	Normale (Doury)/ classe D (Pasquill, CAIRE)
17/04/98 12:01	Herqueville	Les Acres	4	675 ± 25	158 ± 1	12,8 ± 0,6	355 ± 2	Normale (Doury)/ classe D (Pasquill, CAIRE)
20/04/98 11:25	Digulleville	Hameau Es Clerges	9	1675 ± 25	82 ± 1	7,2 ± 0,5	259 ± 10	Normale (Doury)/ classe D (Pasquill, CAIRE)
21/04/98 09:20	Omonville La Petite	Les Marais Roger	10	725 ± 25	342 ± 1	9,3 ± 0,6	185 ± 4	Normale (Doury)/ classe D (Pasquill, CAIRE)
21/04/98 10:41	Omonville La Petite	Monts Eperons	11	1025 ± 25	10 ± 1	10,8 ± 0,6	186 ± 1	Normale (Doury)/ classe D (Pasquill, CAIRE)
21/04/98 11:21	Omonville La Petite	Monts Eperons	11	1000 ± 25	3 ± 1	11,2 ± 0,9	184 ± 4	Normale (Doury)/ classe D (Pasquill, CAIRE)
21/04/98 12:51	Omonville La Petite	Monts Eperons	11	1000 ± 25	3 ± 1	9,6 ± 0,5	180 ± 3	Normale (Doury)/ classe D (Pasquill, CAIRE)
21/04/98 13:21	Omonville La Petite	Monts Eperons	11	1000 ± 25	3 ± 1	8,7 ± 0,7	180 ± 2	Normale (Doury)/ classe D (Pasquill, CAIRE)
21/04/98 16:00	Omonville La Petite	Monts Eperons	11	1000 ± 25	3 ± 1	8,5 ± 0,6	168 ± 4	Normale (Doury)/ classe D (Pasquill, CAIRE)
22/04/98 09:25	Jobourg	Carrefour Le Mesnil	12	1300 ± 25	267 ± 1	6,4 ± 1,3	78 ± 19	Normale (Doury)/ classe C (Pasquill, CAIRE)
22/04/98 10:00	Jobourg	Carrefour Le Mesnil	12	1425 ± 25	266 ± 1	4,5 ± 1,4	68 ± 37	Normale (Doury)/ classe C (Pasquill, CAIRE)
23/04/98 08:00	Omonville La Petite	Monts Eperons	11	1000 ± 25	2 ± 1	13,9 ± 0,5	186 ± 3	Normale (Doury)/ classe D (Pasquill, CAIRE)
23/04/98 08:40	Omonville La Petite	Monts Eperons	11	1000 ± 25	360 ± 1	15,3 ± 1,0	181 ± 4	Normale (Doury)/ classe D (Pasquill, CAIRE)
23/04/98 09:20	Omonville La Petite	Monts Eperons	11	1000 ± 25	360 ± 1	16,5 ± 1,2	176 ± 2	Normale (Doury)/ classe D (Pasquill, CAIRE)
23/04/98 12:50	Digulleville	Etang Paysan	13	2275 ± 25	23 ± 1	15,1 ± 0,7	211 ± 3	Normale (Doury)/ classe D (Pasquill, CAIRE)
23/04/98 14:40	Digulleville	La Chasse aux Pesqueurs	14	575 ± 25	40 ± 1	16,8 ± 0,3	232 ± 3	Normale (Doury)/ classe D (Pasquill, CAIRE)
28/04/98 07:34	Digulleville	Le Pont Durand	15	1200 ± 25	50 ± 1	5,9 ± 0,7	219 ± 4	Normale (Doury)/ classe C (Pasquill, CAIRE)
28/04/98 08:50	Digulleville	La Chasse aux Pesqueurs	14	700 ± 25	55 ± 1	6,6 ± 0,7	215 ± 6	Normale (Doury)/ classe D (Pasquill, CAIRE)
28/04/98 10:50	Omonville La Petite	Les Heugues	16	1075 ± 25	23 ± 1	6,8 ± 0,3	204 ± 6	Normale (Doury)/ classe D (Pasquill, CAIRE)

Tableau 8 : Données météorologiques et distances pour les campagnes de mesures du ⁸⁵Kr réalisées autour de l'usine COGEMA de La Hague (incertitudes données à 2 sigma)

4.2. Comparaison des CTA calculés par les modèles avec les CTA déterminés à l'aide des mesures de ⁸⁵Kr dans l'environnement

Les résultats des calculs de dispersion atmosphérique pour les différents modèles sont présentés dans le tableau 9.

Modèles de Doury et de Pasquill

On constate que le CTA expérimental déterminé à partir des mesures de ^{85}Kr est largement sous-évalué par les modèles, aussi bien Doury que Pasquill, aux faibles distances par rapport à la source. Plus la distance entre le point source et le point de calcul est faible, plus les écarts entre les modèles et les mesures sont grands. Ceci vient du fait que les modèles de Doury et de Pasquill ne sont pas validés en champ proche pour des rejets en hauteur comme c'est le cas pour l'usine de retraitement des combustibles irradiés de La Hague.

Pour remédier à ce problème, le GRNC (GRNC, 1999) a préconisé l'application d'une méthode alternative consistant, pour le champ proche, à utiliser, comme valeur de CTA entre la source et le point de retombée maximale au sol, la valeur en ce point de retombée maximale.

Modèle CAIRE

Avec le modèle CAIRE, les écarts entre les résultats de calculs et les mesures sont compris entre $2,6 \cdot 10^1$ et $3 \cdot 10^{-1}$. Sauf dans deux cas, les écarts entre les résultats du modèle et les mesures sont inférieurs à un facteur 3.

De cette comparaison entre les résultats des différents modèles avec les mesures de ^{85}Kr dans l'environnement pour des situations de turbulence moyenne à forte (diffusion normale pour Doury, classes C et D pour Pasquill), il apparaît clairement que le modèle CAIRE donne les meilleurs résultats. Néanmoins, la validation globale de CAIRE ne pourra être réalisée qu'avec l'apport de résultats expérimentaux obtenus pour d'autres hauteurs de rejets et d'autres catégories de stabilité atmosphérique, comme la diffusion faible (turbulence faible).

Il faut rappeler que le modèle CAIRE est un modèle de champ proche, ne s'appliquant pas à plus de 2 kilomètres de la source.

05/06/97 09:30	Jobourg	Nez de Voidries	1,2E-06 ± 3,4E-07	1,6E-06	7,5E-01	7,4E-07	1,6	hors domaine	hors domaine
05/11/97 09:30	Digulleville	La Menue Roche	2,5E-06 ± 6,6E-07	5,8E-09	4,3E+02	5,4E-07	4,6	1,9E-06	1,3
06/11/97 10:10	Digulleville	La Menue Roche	2,8E-06 ± 7,2E-07	5,8E-09	4,9E+02	5,4E-07	5,2	1,9E-06	1,5
07/11/97 10:50	Digulleville	La Menue Roche	2,5E-06 ± 6,4E-07	5,8E-09	4,3E+02	5,4E-07	4,6	1,9E-06	1,3
20/01/98 09:00	Herqueville	Bourg	6,8E-06 ± 1,7E-06	9,4E-11	7,1E+04	3,1E-07	21,3	4,8E-06	1,4
20/01/98 10:40	Herqueville	Bourg	7,8E-06 ± 2,0E-06	9,4E-11	8,3E+04	3,1E-07	25,2	4,8E-06	1,6
20/01/98 11:20	Herqueville	Bourg	6,3E-06 ± 1,6E-06	9,4E-11	6,7E+04	3,1E-07	20,3	4,8E-06	1,3
11/03/98 15:20	Herqueville	Les Acres	6,2E-06 ± 1,6E-06	1,2E-14	5,4E+08	1,1E-07	56,4	2,3E-06	2,7
11/03/98 16:00	Herqueville	Les Acres	4,4E-06 ± 1,1E-06	1,2E-14	3,8E+08	1,1E-07	40,0	2,3E-06	1,9
02/04/98 13:50	Digulleville	La Brasserie	7,4E-06 ± 1,9E-06	1,4E-08	5,1E+02	6,3E-07	11,7	2,8E-07	26,1
06/04/98 09:50	Digulleville	Les Pâtures	3,2E-06 ± 8,1E-07	7,1E-07	4,5E+00	8,3E-07	3,9	hors domaine	hors domaine
07/04/98 12:30	Beaumont	Le Petit Parc	1,7E-06 ± 4,3E-07	2,2E-06	7,7E-01	1,4E-06	1,2	3,2E-06	0,5
09/04/98 11:30	Omonville La Petite	Carrefour des Delles	2,9E-06 ± 7,4E-07	5,2E-07	5,6E+00	2,8E-06	1,0	5,8E-06	0,5
17/04/98 08:40	Herqueville	Bourg	2,7E-06 ± 6,8E-07	1,5E-13	1,8E+07	3,2E-07	8,4	2,6E-06	1,0
17/04/98 09:51	Herqueville	Bourg	3,6E-06 ± 9,2E-07	1,4E-12	2,6E+06	3,5E-07	10,4	2,6E-06	1,4
17/04/98 10:31	Herqueville	Bourg	3,1E-06 ± 7,8E-07	1,6E-11	2,0E+05	3,8E-07	8,2	2,8E-06	1,1
17/04/98 12:01	Herqueville	Les Acres	2,8E-06 ± 7,1E-07	1,4E-18	2,0E+12	3,6E-08	78,2	2,1E-06	1,4
20/04/98 11:25	Digulleville	Hameau Es Clerges	2,2E-06 ± 5,6E-07	1,2E-06	1,8E+00	1,2E-06	1,8	3,9E-06	0,6
21/04/98 09:20	Omonville La Petite	Les Marais Roger	2,6E-06 ± 6,5E-07	4,0E-12	6,6E+05	8,2E-08	31,7	2,2E-06	1,2
21/04/98 10:41	Omonville La Petite	Monts Eperons	1,1E-06 ± 2,9E-07	2,6E-10	4,2E+03	3,4E-07	3,2	4,2E-06	0,3
21/04/98 11:21	Omonville La Petite	Monts Eperons	1,7E-06 ± 4,3E-07	7,7E-11	2,2E+04	3,0E-07	5,7	3,1E-06	0,5
21/04/98 12:51	Omonville La Petite	Monts Eperons	3,2E-06 ± 8,0E-07	1,5E-09	2,2E+03	3,6E-07	8,9	3,0E-06	1,1
21/04/98 13:21	Omonville La Petite	Monts Eperons	1,3E-06 ± 3,3E-07	6,6E-09	2,0E+02	3,9E-07	3,3	3,2E-06	0,4
21/04/98 16:00	Omonville La Petite	Monts Eperons	2,3E-06 ± 5,8E-07	9,1E-09	2,5E+02	4,0E-07	5,8	3,5E-06	0,7
22/04/98 09:25	Jobourg	Carrefour Le Mesnil	4,0E-06 ± 1,0E-06	8,3E-07	4,8E+00	2,2E-06	1,8	5,1E-06	0,8
22/04/98 10:00	Jobourg	Carrefour Le Mesnil	2,1E-06 ± 5,3E-07	3,0E-06	7,0E-01	2,9E-06	0,7	5,4E-06	0,4
23/04/98 08:00	Omonville La Petite	Monts Eperons	1,3E-06 ± 3,3E-07	2,8E-13	4,7E+06	2,5E-07	5,2	2,0E-06	0,7
23/04/98 08:40	Omonville La Petite	Monts Eperons	1,2E-06 ± 3,0E-07	1,1E-14	1,1E+08	2,2E-07	5,5	2,7E-06	0,4
23/04/98 09:20	Omonville La Petite	Monts Eperons	8,1E-07 ± 2,1E-07	5,9E-16	1,4E+09	2,1E-07	3,9	2,1E-06	0,4
23/04/98 12:50	Digulleville	Etang Paysan	1,3E-06 ± 3,4E-07	6,1E-08	2,1E+01	6,0E-07	2,2	hors domaine	hors domaine
23/04/98 14:40	Digulleville	La Chasse aux Pesqueurs	1,2E-06 ± 3,1E-07	1,1E-32	1,1E+26	6,7E-09	179,1	2,3E-06	0,5
28/04/98 07:34	Digulleville	La Pont Durand	6,8E-06 ± 1,7E-06	9,1E-07	7,5E+00	2,6E-06	2,6	3,4E-06	2,0
28/04/98 08:50	Digulleville	La Chasse aux Pesqueurs	4,9E-06 ± 1,2E-06	2,8E-09	1,8E+03	9,1E-08	53,8	4,3E-06	1,1
28/04/98 10:50	Omonville La Petite	Les Heugues	4,3E-06 ± 1,1E-06	1,9E-07	2,2E+01	6,2E-07	6,9	4,8E-06	0,9

Tableau 9 : Comparaison des CTA calculés par les modèles avec les CTA déterminés à l'aide des mesures de ⁸⁵Kr dans l'environnement

5. CONCLUSION

Quatorze campagnes de mesures du ⁸⁵Kr ont été réalisées autour de l'usine de retraitement des combustibles irradiés de La Hague entre juin 1997 et avril 1998 (Maroet al., 1999a).

L'activité maximale en ⁸⁵Kr mesurée dans l'atmosphère lors de ces campagnes est de 2,6.10⁵ Bq.m⁻³ pour une activité rejetée de l'ordre de 3.10¹⁰ Bq.s⁻¹.

Pour ces campagnes de mesures du ⁸⁵Kr, les CTA obtenus varient :

- de $8,1 \cdot 10^{-7} \pm 2,1 \cdot 10^{-7}$ pour une distance de 1000 m du point de rejet et pour une vitesse de vent de $16,5 \text{ m.s}^{-1}$,

- à $7,8 \cdot 10^{-6} \pm 2,0 \cdot 10^{-6} \text{ s.m}^{-3}$ pour une distance de 1000 m du point de rejet et pour une vitesse de vent de $11,1 \text{ m.s}^{-1}$.

Sur l'ensemble des campagnes de mesures, on constate comme attendu que les modèles ne sont pas applicables dans le champ proche de la source. Toutefois sauf dans deux cas, les écarts entre les résultats du modèle CAIRE et ceux des mesures sont inférieurs à un facteur 3.

De cette comparaison entre les résultats des différents modèles et ceux des mesures de ^{85}Kr dans l'environnement pour des situations de turbulence moyenne à forte (diffusion normale pour Doury, classes C et D pour Pasquill), il apparaît clairement que le modèle CAIRE donne les meilleurs résultats. Néanmoins, la validation globale de CAIRE ne pourra être réalisée qu'avec l'apport de résultats expérimentaux obtenus pour d'autres hauteurs de rejets et d'autres catégories de stabilité atmosphérique, comme la diffusion faible (turbulence faible). Il faut rappeler que CAIRE est un modèle de champ proche ne s'appliquant pas à plus de 2 kilomètres de la source.

De futures études se dérouleront sous forme de campagnes de mesures du ^{85}Kr , au sol et en altitude, pour plusieurs classes de stabilité de l'atmosphère et en fonction de la distance (de 200 à 4000 m) entre le point de rejet et le point de mesures (Maro *et al.*, 1999b). L'ensemble de ces mesures servira, dans les situations similaires à celles de La Hague, à décrire les distributions verticale et horizontale du panache puis à établir une modélisation spécifique permettant d'étendre le domaine d'application des modèles gaussiens de dispersion atmosphérique.

6. LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : PARAMETRES DE CALCULS DE σ_H ET σ_Z EN DIFFUSION NORMALE (MODELE DE DOURY)	10
TABLEAU 2 : PARAMETRES DE CALCULS DE σ_H ET σ_Z EN DIFFUSION FAIBLE (MODELE DE DOURY)	10
TABLEAU 3 : PARAMETRES D'EVALUATION DE LA STABILITE DE L'ATMOSPHERE (MODELE DE PASQUILL)	11
TABLEAU 4 : PARAMETRES DE CALCUL DE σ_Y (MODELE DE BRIGGS)	11
TABLEAU 5 : PARAMETRES DE CALCUL DE σ_Z (MODELE DE BRIGGS)	11
TABLEAU 6 : PARAMETRES DE CALCUL DE σ_Y (MODELE CAIRE)	12
TABLEAU 7 : PARAMETRES DE CALCUL DE σ_Z (MODELE CAIRE)	12
TABLEAU 8 : DONNEES METEOROLOGIQUES ET DISTANCES POUR LES CAMPAGNES DE MESURES DU ^{85}Kr REALISEES AUTOUR DE L'USINE COGEMA DE LA HAGUE (INCERTITUDES DONNEES A 2 SIGMA)	16
TABLEAU 9 : COMPARAISON DES CTA CALCULES PAR LES MODELES AVEC LES CTA DETERMINES A L'AIDE DES MESURES DE ^{85}Kr DANS L'ENVIRONNEMENT	18

7. LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : ZONE D'ETUDE LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES DE MESURES DU ^{85}Kr (CF TABLEAU 1)	13
FIGURE 2: EXEMPLE DE MESURES DU ^{85}Kr DANS L'ENVIRONNEMENT (CAMPAGNE DE MESURES REALISEE LE 20/01/1998 AU BOURG D'HERQUEVILLE)	14

8. LISTE DES RÉFÉRENCES

BRIGGS G. A (1976) *Rural dispersion parameters*. In : Boubel, R.W., Fox D.L., Turner, D.B., Stern, A.C., Academic Press (Eds), *Fundamentals of air pollution*. San Diego, California, pp.291-319.

CAIRE (1996a) *Système 2SNM, Guide d'exploitation*, volume 1, Cherbourg, France.

CAIRE (1996b) *Système 2SNM, Guide du décideur*, support de cours, Cherbourg, France 48p.

CRABOL. B. (1996) *Méthodes d'évaluation de la dispersion des gaz et des aérosols dans l'atmosphère*, support de cours, Fontenay aux roses, France 53 p.

CRABOL B. (1999) *La dispersion des polluants dans l'atmosphère*, In : CLEFS CEA, pp. 2 - 13, numéro 42, édition CEA, France.

DOURY A. (1976) *Une méthode de calcul pratique et générale pour la prévision numérique des pollutions véhiculées par l'atmosphère*, Commissariat à l'énergie atomique, Rapport CEA R 4280 (Rev 1), Saclay, France, 37 p.

DOURY A. (1983) *Le vademécum des transferts atmosphériques*, Institut de protection et de sûreté nucléaire, Commissariat à l'Energie Atomique, Rapport DSN n° 440, Paris, France, 62 p.

GRNC (1999) : *Modèles de transfert des radionucléides dans l'environnement*, Groupe radioécologie nord cotentin, volume 3, pp. 50 – 63.

LAGOUTINE F., COUSOL N., LEGRAND J. (1984) *Table des radionucléides Volume 2*, Commissariat à l'Energie Atomique, Bureau National de Métrologie, Laboratoire de Métrologie des Rayonnements Ionisants, Paris.

MARO D., BARON Y., GERMAIN. P., CRABOL B., HEBERT D., SOLIER L. (1999a) *Utilisation du krypton 85 rejeté dans l'environnement par l'usine de retraitement de La Hague comme outil d'étude de la dispersion atmosphérique : Bilan de 14 campagnes de mesures*, Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire, Rapport DPRE/SERNAT/99-14, Fontenay aux roses, France 18 p.

MARO D., CRABOL B., GERMAIN P., HEBERT D. (1999b) *Etude de la dispersion en champ proche pour des rejets en hauteur*, Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire, Rapport DPRE/SERNAT/99-16, Fontenay aux roses, France 16 p.

PANNETIER R. (1968) *Distribution, transfert atmosphérique et bilan de krypton 85*, Commissariat à l'énergie atomique, Rapport CEA R 3591, Saclay, France, 177 p.

PANNETIER R. (1985) *Mémento du vademécum nucléaire*, pp. 299 – 301, Editions S.C.F. du Bastet, France.

PASQUILL F. (1974) *Atmospheric Diffusion*, 2nd edition, Ellis Horwood Ed., Londres.