

COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE

C.50

FR 83 0 328

**MODELE CONVERSATIONNEL
POUR L'EVALUATION DES TRANSFERTS
ATMOSPHERIQUES DE REJETS CONTINUS**

par

Pierre PAGES, Françoise RANCILLAC

INSTITUT DE PROTECTION ET DE SURETE NUCLEAIRE

DEPARTEMENT DE PROTECTION

Centre d'Etudes Nucléaires de Fontenay-aux-Roses

Rapport CEA-R-5228

1983

SERVICE DE DOCUMENTATION

PLAN DE CLASSIFICATION DES RAPPORTS ET BIBLIOGRAPHIES CEA
 (Classification du système international de documentation nucléaire SIDON/INIS)

A 11	Physique théorique	C 30	Utilisation des traceurs dans les sciences de la vie
A 12	Physique atomique et moléculaire	C 40	Sciences de la vie : autres études
A 13	Physique de l'état condensé	C 50	Radioprotection et environnement
A 14	Physique des plasmas et réactions thermonucléaires	D 10	Isotopes et sources de rayonnements
A 15	Astrophysique, cosmologie et rayonnements cosmiques	D 20	Applications des isotopes et des rayonnements
A 16	Conversion directe d'énergie	E 11	Thermodynamique et mécanique des fluides
A 17	Physique des basses températures	E 12	Cryogénie
A 20	Physique des hautes énergies	E 13	Installations pilotes et laboratoires
A 30	Physique neutronique et physique nucléaire	E 14	Explosions nucléaires
B 11	Analyse chimique et isotopique	E 15	Installations pour manipulation de matériaux radioactifs
B 12	Chimie minérale, chimie organique et physico-chimie	E 16	Accélérateurs
B 13	Radiochimie et chimie nucléaire	E 17	Essais des matériaux
B 14	Chimie sous rayonnement	E 20	Réacteurs nucléaires (en général)
B 15	Corrosion	E 30	Réacteurs nucléaires (types)
B 16	Traitement du combustible	E 40	Instrumentation
B 21	Métaux et alliages (production et fabrication)	E 50	Effluents et déchets radioactifs
B 22	Métaux et alliages (structure et propriétés physiques)	F 10	Economie
B 23	Céramiques et ciments	F 20	Législation nucléaire
B 24	Matières plastiques et autres matériaux	F 30	Documentation nucléaire
B 25	Effets des rayonnements sur les propriétés physiques des matériaux	F 40	Sauvegarde et contrôle
B 30	Sciences de la terre	F 50	Méthodes mathématiques et codes de calcul
C 10	Action de l'irradiation externe en biologie	F 60	Divers
C 20	Action des radioisotopes et leur cinétique		

Rapport CEA-R-5228

Cote-matière de ce rapport : C.50

DESCRIPTION-MATIERE (mots clés extraits du thesaurus SIDON/INIS)

<i>en français</i>	<i>en anglais</i>
INSTALLATIONS NUCLEAIRES	NUCLEAR FACILITIES
POLLUTION ATMOSPHERIQUE	AIR POLLUTION
METEOROLOGIE	METEOROLOGY
DECHETS GAZEUX	GASEOUS WASTES
PANACHES	PLUMES
EFFLUENTS RADIOACTIFS	RADIOACTIVE EFFLUENTS
PRODUITS DE FILIATION	DAUGHTER PRODUCTS
ENTRAINEMENT PAR LES PRECIPITATIONS	WASHOUT
DEPOTS PAR RETOMBES	FALLOUT DEPOSITS
MODELES MATHEMATiques	MATHEMATICAL MODELS
CODES POUR ORDINATEURS	COMPUTER CODES
LANGAGES DE PROGRAMMATION	PROGRAMMING LANGUAGES

- Rapport CEA-R-5228 -

**Centre d'Etudes Nucléaires de Fontenay-aux-Roses
Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire
Département de Protection
Service d'Etudes Générales de Protection
Laboratoire de Statistiques et d'Etudes Economiques et Sociales**

**MODELE CONVERSATIONNEL POUR L'EVALUATION
DES TRANSFERTS ATMOSPHERIQUES DE REJETS CONTINUS**

par

Pierre PAGES, Françoise RANCILLAC*

***Centre d'Etude sur l'évaluation de la Protection dans le domaine public (CEPN)
B.P. 48, 92260 Fontenay-aux-Roses**

- Mai 1983 -

RAPPORT CEA-R-5228 - Pierre PAGES - Françoise RANCILLAC.

MODELE CONVERSATIONNEL POUR L'EVALUATION DES TRANSFERTS ATMOSPHERIQUES DE REJETS CONTINUS.

Sommaire. - Le modèle présenté a pour objectif le calcul des concentrations moyennes annuelles et des dépôts à la suite d'un rejet continu d'effluents gazeux. Il rentre dans le cadre des études sur les risques pour le public liés au fonctionnement normal d'une installation. Le modèle de dispersion utilisé est le panache gaussien selon le schéma de DOURY. Sont pris en compte la réflexion au sol, l'existence d'une couche de mélange et les divers phénomènes d'appauvrissement du panache (disparition du type décroissance radioactive, dépôt sec, dépôt humide) ainsi que la présence de produits de filiation. Les concentrations dans l'air (et les dépôts) sont calculés autour du point de rejet selon une grille arbitraire en secteurs de couronne et en fonction d'un tableau annuel de fréquence des conditions météorologiques. La méthode est présentée de façon détaillée, les principales hypothèses sont indiquées. Le programme informatique conversationnel correspondant est réalisé en APL sous forme modulaire et paramétrée, de façon à permettre à l'utilisateur d'apprécier la sensibilité des résultats par rapport aux caractéristiques du site ou de rejet. Un exemple de résultats de l'application du modèle à un cas concret est présenté.

1983 - Commissariat à l'Energie Atomique - France.

63 p.

RAPPORT CEA-R-5228 - Pierre PAGES - Françoise RANCILLAC.

AN INTERACTIVE COMPUTER MODEL FOR THE ASSESSMENT OF CONTINUOUS RELEASES ATMOSPHERIC TRANSFERS.

Summary. - The purpose of the model is to assess air concentrations and soil deposits following a continuous release of gaseous effluent. This is usually part of the problem of assessing the consequences of normal operation of a plant. The atmospheric dispersion model used is the gaussian plume model according to DOURY's scheme. Ground reflexion, the presence of an inversion layer and removal processes (by dry or wet deposition and radioactive decay type) are taken into account. Air and ground concentrations are computed around the release point according to an arbitrary grid with spatial coordinates and accounting for annual frequencies of meteorological conditions. The methodology is presented in detail and assumptions are clearly stated. A conversational structured computer program has been set up in APL which allows to get results easily and to test their sensitivity to various assumptions concerning both input data and model parameters. As an example an application of the model with real data and results is given.

1983 - Commissariat à l'Energie Atomique - France.

63 p.

SOMMAIRE

INTRODUCTION

1. METHODOLOGIE

- 1.1 Forme générale du modèle
- 1.2 Notations
- 1.3 Hypothèses sur la répartition verticale
- 1.4 Les phénomènes d'appauvrissement
 - 1.4.1 Les transformations physico-chimiques
 - 1.4.2 Les filiations
 - 1.4.3 Le dépôt humide
 - 1.4.4 Le dépôt sec
- 1.5 Expression finale du modèle de dispersion
- 1.6 Le calcul des concentrations moyennes annuelles
- 1.7 Evaluation de l'exposition

2. LA STRUCTURE DU MODELE CALCONC

- 2.1 Structure générale
- 2.2 Données d'entrée et paramètres du modèle
- 2.3 Résultats et sorties
- 2.4 Modules et fonctions de CALCONC

3. L'UTILISATION DU PROGRAMME

- 3.1 L'environnement
- 3.2 Les limites

4. UN EXEMPLE D'APPLICATION

5. REFERENCES

ANNEXES

- A Le calcul des coefficients de dépôt
- B Listage des fonctions de CALCONC
- C Commentaires

FIGURES ET TABLEAUX

		<u>Pages</u>
Figure 1	Structure hiérarchique des fonctions de CALCONC	13
<hr/>		
Tableau 1	Valeur des paramètres du modèle gaussien selon Doury	4
Tableau 2	Epaisseur de la couche de mélange selon les conditions de diffusion	6
Tableau 3	Fréquences pour 1 000 des conditions météorologiques moyennes annuelles par secteur	21
Tableau 4	Concentration dans l'air sans appauvrissement pour un rejet unitaire et une hauteur effective de 60 m	23
Tableau 5	Facteur d'appauvrissement dû au dépôt sec	23
Tableau 6	Concentration moyenne annuelle pour un débit de de rejet unitaire à une hauteur effective de 60 m	24
Tableau A.1	Valeur des paramètres pour les types de situation du schéma Doury	29
Tableau A.2	Valeurs intermédiaires	33
Tableau A.3	Valeurs limites de l'argument pour le calcul de J	33
Tableau A.4	Table des valeurs de J pour K (Doury) = 0.814	36
Tableau A.5	Table des valeurs de J pour K (Doury) = 0.685	37
Tableau A.6	Table des valeurs de J pour K (Doury) = 0.5	38

INTRODUCTION

Dans le cadre de l'évaluation des risques pour le public liés au fonctionnement d'une installation, l'estimation des conséquences d'un rejet accidentel ou non dans l'environnement de substances toxiques ou polluantes est une étape essentielle. Dans le cas (très fréquent) où les rejets envisagés concernent des effluents gazeux (ou dont une partie au moins peut être traitée comme telle) l'utilisation d'un modèle de dispersion atmosphérique s'avère indispensable.

Le modèle présenté ici est la mise en œuvre sous forme informatique conversationnelle du modèle panache gaussien destiné à l'évaluation des concentrations moyennes et des dépôts dus à un rejet d'effluents gazeux.

Les paramètres du modèle panache sont conformes au schéma de DOURY (cf /1/). On fait, outre l'hypothèse d'une réflexion au sol, celle de l'existence d'une couche de mélange au delà d'une certaine distance autorisant l'homogénéisation verticale des concentrations. Sont pris en compte la décroissance (type radioactivité), le dépôt sec, le dépôt humide, la présence de produits de filiation.

Le modèle fournit pour un site de caractéristiques météorologiques données les valeurs moyennes annuelles des concentrations et des dépôts dus à un débit de rejet unitaire. L'exposition individuelle par inhalation est alors directement calculable. On peut aussi obtenir dans le cas de produits radioactifs l'exposition due à l'irradiation externe par les dépôts ou le nuage. La connaissance de la répartition des populations autour du site permet d'estimer les niveaux d'exposition collective.

Le modèle est d'abord présenté dans sa formulation générale, et chaque terme de la formulation adoptée est brièvement commenté. Les principales hypothèses sont indiquées. Une présentation plus détaillée des différents aspects de ce modèle classique peut-être trouvée dans /1/, /2/ ou /3/. Une application du modèle au cas de rejets radioactifs a été effectuée dans le cadre méthodologique général de l'évaluation de l'impact des rejets d'une installation nucléaire /4/.

I. METHODOLOGIE

I.1 - FORMULATION GENERALE

Le modèle adopté pour l'évaluation des concentrations atmosphériques est du type "panache gaussien", donné par l'expression :

$$x(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{(z-h)^2}{\sigma_z^2}\right)\right\} \quad (1)$$

Les notations sont explicitées dans le paragraphe suivant.

Dans la mesure où l'objectif est d'évaluer des concentrations moyennes associées à des rejets de longue durée (en général l'année) on peut négliger la dispersion latérale horizontale qui dépend des fluctuations de la direction du vent (à direction donnée). D'où l'hypothèse d'une homogénéisation à l'intérieur d'un secteur donné. Le découpage de la rose des conditions météorologique est ici à 18 secteurs. Le modèle prend alors la forme suivante associée à une rose des vents uniforme (terme en $1/2\pi\kappa$).

$$\left. \begin{aligned} x(x, z) &= \frac{Q}{(2\pi)^{3/2} \kappa \sigma_z u} \exp\left\{-\frac{1}{2} \frac{(z-h)^2}{\sigma_z^2}\right\} \\ \sigma_z &= (At)^k \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Les paramètres A et k dont dépend σ_z selon DOURY /1/ (avec t temps de trajet du panache entre points d'émission et d'observation) sont donnés par le tableau suivant :

Conditions de diffusion	Temps de trajet t (secondes)	k	A
Diffusion normale	$0 < t \leq 240$	0.814	0.42
	$240 < t \leq 3280$	0.685	1
	$t > 3280$	0.5	20
Diffusion faible	$0 < t$	0.5	0.2

Tableau 1 : Valeur des paramètres du modèle gaussien selon DOURY

Source : /1/

1.2 - NOTATIONS

- A : coefficient de DOURY donné dans le tableau 1
- \bar{c} [$U.m^{-3}$] : concentration moyenne annuelle
- d [indice] : indice relatif au produit de filiation (descendant)
- D [$s.m^{-1}$] : valeur intermédiaire permettant le calcul du dépôt sec
- E [-] : facteur d'appauvrissement traduisant l'élimination des produits du nuage
- E_R, E_W, E_D : facteurs relatifs aux transformations physicochimiques (R), aux dépôts humides (W) et sec (D).
- $f(\theta, m)$ [-] : probabilité d'observer les conditions m (conditions de diffusion et vitesse de vent) dans le secteur θ

$$\sum_{\theta, m} f(\theta, m) = 1$$

- F [-] : fraction du produit fils présente dans le panache.
- h [m] : hauteur effective du rejet
- i [indice] : indice d'un produit transporté par le panache.
- J1 à J4 : 4 cas de condition de diffusion selon le schéma de DOURY (cf tableau A.1)
- k : coefficients de DOURY donnés dans le tableau 1
- m [indice] : indice des différentes conditions météorologiques possibles (couples : vitesse de vent + conditions de diffusion)

p [indice]	: indice relatif à un produit ayant un descendant
Q [$U \cdot s^{-1}$]	: débit effectif de rejet (par exemple Bq/s)
Q_0 [$U \cdot s^{-1}$]	: débit réel du rejet
Q_{inh} [U]	: exposition individuelle par inhalation (sur une durée T , par exemple 1 an)
r [m]	: distance du point d'observation au point de rejet
T [s]	: durée sur laquelle on calcule l'exposition d'un individu.
u [$m \cdot s^{-1}$]	: vitesse moyenne du vent
v_D [$m \cdot s^{-1}$]	: vitesse apparente de dépôt sec
w [indice]	: indice relatif au phénomène du lavage
x [m]	: distance sous le vent du point d'émission au point d'observation
y [m]	: distance du point d'observation à l'axe du panache
z [m]	: hauteur du point d'observation au-dessus du sol
θ [indice]	: indice du secteur dans lequel on évalue la concentration et pour lequel on connaît $f(\theta, m)$
λ [s^{-1}]	: taux de disparition du produit considéré
λ_p [s^{-1}]	: taux de lavage moyen par la pluie
Λ [s^{-1}]	: taux effectif de lavage du panache
σ_y, σ_z [m]	: écart type de la distribution gaussienne des concentrations selon y ou z dans un plan normal à l'axe du panache
τ [$m^3 s^{-1}$]	: taux respiratoire de l'individu moyen
τ_p [-]	: fréquence relative des pluies
U [Unité]	: unité arbitraire de quantité (ou d'activité) du produit
X [$U \cdot m^{-3}$]	: concentration atmosphérique au point d'observation
X_0 [$s \cdot m^{-3}$]	: concentration associée à un débit de rejet unitaire (et une répartition uniforme autour du point de rejet)
ω [$U \cdot m^{-2} s^{-1}$]	: débit de dépôt au sol
$\bar{\omega}$ [$U \cdot m^{-2} s^{-1}$]	: débit moyen annuel de dépôt au sol
N_θ [-]	: nombre de secteurs (de largeur $2\pi/N$) de la rose des conditions météorologiques

1.3 - HYPOTHESES SUR LA REPARTITION VERTICALE

1.3.1 Réflexion sur le sol

Elle est prise en compte classiquement par la considération d'une source image à l'altitude (- h), d'où l'expression suivante :

$$X(x, z) = \frac{Q}{(2\pi)^{3/2} x \sigma_z u} \left[\exp\left\{-\frac{1}{2} \frac{(z-h)^2}{\sigma_z^2}\right\} + \exp\left\{-\frac{1}{2} \frac{(z+h)^2}{\sigma_z^2}\right\} \right] \quad (3)$$

La forme habituelle de (3) sous cette hypothèse correspond à $z = 0$: les concentrations (et expositions) sont en effet généralement calculées au niveau du sol. D'où l'expression suivante :

$$X(x, 0) = \frac{2Q}{(2\pi)^{3/2} x \sigma_z u} \exp\left\{-\frac{h^2}{2\sigma_z^2}\right\} \quad (4)$$

1.3.2 Prise en compte de la couche de mélange

Le modèle comporte (de façon optionnelle) la prise en compte d'une réflexion sur le sommet de la couche d'inversion. Les valeurs proposées dans le modèle sont tirées de /2/. Elles sont données ci-dessous à titre indicatif :

Conditions de diffusion	Vitesse caractéristique (m.s ⁻¹)	Couche d'inversion (m)
Faible	1 à 3	200
Normale	1 à 2	2 000
Normale	5	1 000

Tableau 2 : Epaisseur de la couche de mélange selon les conditions de diffusion (d'après /2/).

Remarque 1 : En diffusion faible l'écart type de la distribution verticale atteint 100 m soit la moitié de la valeur de l'épaisseur de la couche de mélange à une distance de 50 à 100 km pour des vitesses de vent comprises entre 1 et 2 m.s⁻¹. En diffusion normale et dans la limite des vitesses telles définies dans le tableau 2, on retrouve ces mêmes distances à partir desquelles l'hypothèse de mélange peut être adoptée. Dans ces conditions l'hypothèse simplificatrice d'une absence de réflexion sur le sommet de la couche se trouve justifiée pour les calculs de concentrations dans la limite des 100 km autour du point de rejet.

Remarque 2 : La présence de la couche limite d'inversion de température entraîne normalement des concentrations nulles au sol lorsque le point de rejet est situé au dessus du sommet de la couche. Cette situation peut se rencontrer pour des conditions de diffusion faibles, une cheminée haute et des conditions thermodynamiques de surélévation du panache (voir plus loin).

1.4 - LES PHENOMENES D'APPAUVRISSMENT

Les expressions (1) à (4) sont relatives à la dispersion d'un gaz (ou d'un aérosol) dont les quantités et les propriétés restent stables au sein de l'atmosphère où il est émis. C'est le cas de certains polluants chimiquement stables, ou de certains effluents gazeux radioactifs à longue période le Krypton 85 par exemple. De façon générale divers phénomènes peuvent concourir à l'appauvrissement du nuage en un polluant donné : la décroissance radioactive, la transformation chimique ($SO_2 \rightarrow SO_4$), les dépôts secs et humides. En outre de nouveaux produits contaminants peuvent apparaître au cours de la dispersion du panache : c'est le cas des produits de filiation associés aux deux premiers phénomènes. Dans chaque cas la formulation adoptée ici conduit à modifier le terme source Q de l'expression générale. Cette méthode, dite de l'appauvrissement à la source est parfaitement

justifiée dans certains cas (décroissance radioactive par exemple) et n'est valable ailleurs que sous certaines hypothèses. L'ensemble des transformations possibles et des formulations associées est présenté dans les paragraphes qui suivent. Il s'agit d'explicitier les différents composants du facteur d'appauvrissement E dans la relation exprimant le terme source de l'expression générale du modèle.

$$Q = Q_0 E \quad (5)$$

1.4.1 Les transformations physico-chimiques

La décroissance radioactive est la mieux connue des causes de diminution des concentrations le long du panache. Elle conduit à un facteur exponentiel d'appauvrissement où s'exprime la constante de décroissance radioactive. Certaines transformations chimiques peuvent également s'exprimer sous la forme exponentielle : c'est le cas de la transformation $SO_2 \rightarrow SO_4$ pour laquelle certains auteurs [5] donnent un taux de transformation par unité de temps $[s^{-1}]$. D'où la formulation suivante adoptée dans le modèle pour l'appauvrissement dû à ces phénomènes :

$$E_R = \exp\{-R\} = \exp\left\{-\lambda \frac{x}{u}\right\} \quad (6)$$

1.4.2 Les filiations

La naissance de nouveaux produits à l'intérieur du panache est généralement associée à l'un des deux phénomènes ci-dessus. La formulation exponentielle adoptée ci-dessus pour l'appauvrissement débouche directement sur l'expression de la fraction F permettant d'obtenir la concentration du produit de filiation dans le panache :

$$(\Rightarrow) F(x) = \frac{\lambda_d}{\lambda_p - \lambda_d} \left[\exp\left\{-\lambda_d \frac{x}{u}\right\} - \exp\left\{-\lambda_p \frac{x}{u}\right\} \right] \quad (7)$$

On envisage ici que les produits de filiation de première génération.

(\Rightarrow) Dans la formule (7) et les suivantes de même type pour l'estimation de la fraction relative du produit de filiation, on suppose que la quantité de produit est exprimée en unités d'activité. Pour passer à la fraction en masse il faut multiplier F par λ_p / λ_d .

1.4.3 Le dépôt humide

Le problème est celui du "lavage" du panache par la pluie. L'appauvrissement du panache dans ce cas est pris en compte sous l'hypothèse d'une perte de matière affectant toute la hauteur du panache indépendamment de la répartition verticale des concentrations. D'où la définition du taux de lavage λ_w intervenant dans le facteur E_w :

$$\left. \begin{aligned} E_w &= \exp\{-W(x)\} = \exp\left\{-\Lambda \frac{x}{u}\right\} \\ \Lambda &= \lambda_w \times \tau_w \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

E_w = facteur d'appauvrissement dû à la pluie.

Remarque 1 : dans le cas d'un produit de fission en présence de pluie, l'expression (7) du paragraphe précédent devient :

$$\left. \begin{aligned} W_d &= \frac{\lambda_d}{\lambda_p - \lambda_d} \left[\exp\left\{-\mu_d \frac{x}{u}\right\} - \exp\left\{-\mu_p \frac{x}{u}\right\} \right] \\ \mu &= \lambda + \Lambda \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Remarque 2 : Le débit de dépôt humide au sol est exprimé de la même façon pour un produit $Q_0 E_p$ ou son descendant ($Q_0 E_d$).

$$\left. \begin{aligned} w_{wp} &= \frac{Q_0 E_p}{2\pi x u} \Lambda_p \\ w_{wd} &= \frac{Q_0 E_d}{2\pi x u} \Lambda_d \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

1.4.4 Le dépôt sec

Le dépôt sec est calculé grâce à la définition d'une vitesse apparente de dépôt v_D exprimant le rapport entre la quantité de produit déposé [$U \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$] (où U désigne une unité arbitraire de quantité du produit) et la concentration

dans l'air au niveau du sol $[U.m^{-3}]$. Cette hypothèse conserve au panache sa forme gaussienne et conduit à un terme E_D dit d'appauvrissement à la source :

$$E_D = \exp\left\{-v_D D(x)\right\} = \exp\left\{-\sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{v_D}{u} \int_0^x \exp\left\{-\frac{h^2}{2\sigma_z^2}\right\} \frac{dx}{\sigma_z}\right\} \quad (11)$$

Remarque 1 : Le coefficient E_D s'applique également dans le cas d'un produit de filiation, mais uniquement sous l'hypothèse que les vitesses de dépôt sec des parents et descendants soient les mêmes.

Remarque 2 : le débit de dépôt au sol associé au dépôt sec s'exprime simplement :

$$\omega_D = v_D \chi(x,0) \quad (12)$$

1.5 - EXPRESSION FINALE DU MODELE DE DISPERSION

Le modèle adopté tient compte, sous les hypothèses indiquées, de l'ensemble des phénomènes. La forme générale est :

$$\left. \begin{aligned} \omega_D &= v_D \chi(x,0) \\ \chi(x,0) &= Q_0 \chi_0(x,0) \\ \chi_0(x,0) &= \frac{E \exp\left\{-\frac{h^2}{2\sigma_z^2}\right\}}{\pi x \sqrt{2\pi} \sigma_z u} \\ E &= E_R E_W E_D = \exp\left\{-(R + W + v_D D)\right\} \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Pour un produit de première génération :

$$E(x) = \exp\left\{-\frac{1}{u}\left[u_p x + \sqrt{\frac{2}{\pi}} v_D \int_0^x \exp\left\{-\frac{h^2}{2\sigma_z^2}\right\} \frac{dx}{\sigma_z}\right]\right\} \quad (14)$$

Pour un produit de filiation :

$$E(x) = \frac{\lambda_d}{\lambda_p - \lambda_d} \left[\exp\left\{-u_d \frac{x}{u}\right\} - \exp\left\{-u_p \frac{x}{u}\right\} \right] \exp\left\{-\sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{v_D}{u} \int_0^x \exp\left\{-\frac{h^2}{2\sigma_z^2}\right\} \frac{dx}{\sigma_z}\right\}$$

Ce sont les expressions (4), (13), (14) et (15) qui sont calculées par le programme CALCONC.

1.6 - LE CALCUL DES CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES

1.6.1 Concentration dans l'air (au niveau du sol) :

Le calcul de la concentration (au niveau du sol) moyenne annuelle en un point donné associé à un rejet continu est évalué à partir de la formule générale précédente et de la donnée de la distribution sur la période considérée (1 an) des conditions de vent et de diffusion dans les différentes directions autour du point de rejet :

$$\bar{c}(i, r, \theta) = N_0 Q_0 \sum_m X_0(i, r, m) f(\theta, m) \quad (16)$$

1.6.2 Contamination des sols

Le débit moyen annuel de dépôt d'un produit sur le sol est donné par l'expression ci-dessous, analogue à la précédente (cf 12)

$$\bar{w}_D(i, r, \theta) = v_D \bar{c}(i, r, \theta) \quad (17)$$

1.7 - L'EVALUATION DE L'EXPOSITION

La connaissance de la concentration moyenne annuelle en un point pour un produit donné permet d'évaluer l'exposition individuelle à ce produit par inhalation ou par irradiation externe dans le cas de produit radioactif émetteur γ ou β .

Dans le cas de l'inhalation, l'exposition sur une durée T (par ex. 1 an) d'un individu situé en (r, θ) est fonction de \bar{c} et du taux respiratoire τ :

$$Q_{inh}(i, r, \theta) = T \bar{c}(i, r, \theta) \tau \quad (18)$$

Le taux respiratoire moyen donné par CIPR 2 /3/ est de : $3030 \text{ m}^3 \text{ an}^{-1} = 7.546 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Pour une durée de 1 an $T = 3.15 \cdot 10^7 \text{ s}$

2. LA STRUCTURE DU MODELE CALCONC

2.1 - STRUCTURE GENERALE

Conformément à l'organigramme ci-dessous (figure 1) le calcul des concentrations moyennes comporte 3 étapes principales :

1) Le calcul des concentrations sans appauvrissement, et des coefficients de dépôt sec

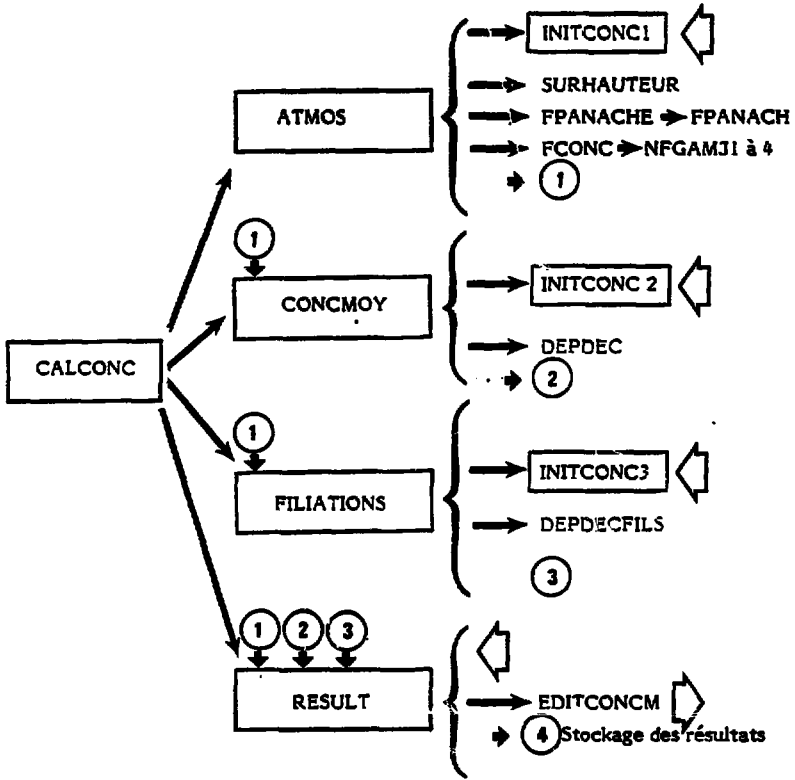
(Sous l'hypothèse d'une répartition uniforme des vents) pour un ensemble de distances et des conditions météorologiques associées à un débit de rejet unitaire. Ces premières données ne sont spécifiques d'aucun produit et seront utilisées dans les phases suivantes.

2) Le calcul des concentrations moyennes annuelles d'un ensemble de produits de caractéristiques données pour un débit de rejet unitaire autour d'un site, dont on connaît le tableau de répartition des conditions météorologiques.

3) Le calcul des concentrations et dépôts pour des produits de filiation éventuels

Chacune de ces étapes comporte une phase conversationnelle de rentrée des données (ou d'information sur ces données) et une phase de calcul proprement dit. Une quatrième et dernière étape gère les sorties et stocke éventuellement les résultats.

Le programme conversationnel est écrit en APL.



◁ : entrée-sortie de résultats au terminal
① ② ③ : résultats intermédiaires

Figure 1 : Structure hiérarchique des fonctions de CALCONC

2.2 - DONNEES D'ENTREE ET PARAMETRES DU MODELE

2.2.1 Calcul des concentrations et coefficients de dépôt (ATMOS)

Hauteur effective de rejet (en mètres) :

Il s'agit en général de la hauteur de la cheminée d'évacuation des effluents gazeux, corrigée éventuellement pour tenir compte des conditions thermodynamiques d'évacuation. Ces corrections dépendant en général des conditions météorologiques le modèle prévoit l'emploi d'une fonction de calcul de la hauteur effective (fonction SURHAUTEUR).

Vitesses de vent :

Les vitesses de vent à prendre en compte sont entrées en même temps que le type de condition de diffusion associé.

Couche de mélange :

Les épaisseurs proposées par le modèle sont données en 1.2. Elles peuvent être modifiées au choix. On peut supprimer l'effet du mélange pour un sous-ensemble quelconque des conditions météorologiques.

Distances de calcul des concentrations :

Ce sont les rayons moyens des couronnes selon le découpage adopté autour du point de rejet.

2.2.2 Calcul des concentrations moyennes (CONCMOY)

Taux de disparition des produits :

Dans le cas de produits radioactifs ce sont les constantes de décroissance radioactive. Les produits stables ont un taux nul.

Vitesses apparentes de dépôt sec :

A priori chaque produit a sa vitesse de dépôt sec. Les valeurs usuelles vont de quelques 10^{-3} à 10^{-2} ms^{-1} . Elles dépendent en particulier de la finesse des aérosols : d'autant plus faible qu'ils sont fins (cf /5/)

Taux de lavage par la pluie :

Il dépend (comme la vitesse de dépôt sec) du type d'aérosol émis. Une valeur proposée dans /6/ pour λ_w est $2 \cdot 10^{-4}$ s^{-1} . Cette valeur correspond à une vitesse de précipitation de 2 mm/heure, valeur moyenne pour la France.

Répartition des conditions météorologiques autour du point de rejet :

C'est la donnée du tableau des fréquences relatives d'occurrence des couples (direction du vent θ = ligne du tableau) x (vitesse et condition de diffusion associée = colonne du tableau).

2.2.3 Calcul pour les produits de FILIATIONS

Taux de disparition de produit :

Analogue à 2.1

Indices des produits parents :

Chaque produit de filiation provient d'un produit parent pour lequel on a calculé les concentrations à l'étape 2.

Taux de lavage par la pluie :

Cf 2.3

2.3 - RESULTATS ET SORTIES (module RESULT)

2.3.1 Résultats de ATMOS (variable CDXYZ)

Les résultats des calculs effectués dans le modèle sont mémorisés d'abord à l'issue de la première phase de calcul des concentrations et coefficients de dépôt pour les distances et les situations météorologiques données : la variable CDXYZ (XYZ étant un suffixe fourni par l'utilisateur) est constituée par l'ensemble de 3 tableaux de format (n,m), n étant le nombre de distances, m le nombre de situations météorologiques. Ces 3 tableaux concernent respectivement les concentrations (en l'absence de tout dépôt), les paramètres de dépôt sec D et les durées de transport du panache entre point de rejet et distances de calcul, ces 3 types de quantités étant nécessaires au calcul des concentrations moyennes associées à une distribution donnée des situations météorologiques.

2.3.2 Résultats finaux (variable TCONCMXYZ)

Les valeurs des concentrations moyennes aux points de calcul pour l'ensemble des radionucléides concernés (parents et descendants) sont mémorisées dans la variable TCONCMXYZ constituée de tableaux de format (t,n) : t étant le nombre de secteurs dans le découpage de la rose des vents, n le nombre de couronnes.

2.3.3 Sorties

L'édition au terminal de ces tableaux est laissée au choix de l'utilisateur.

2.4 - MODULES ET FONCTIONS DE CALCONC

On résume ici brièvement la fonction des divers modules et sous modules de CALCONC. La liste des programmes et des commentaires détaillés se trouvent dans les annexes.

2.4.1 Principales fonctions

Les formats sont donnés entre [], les lettres L,R,M concernent respectivement les produits, les distances, les conditions météorologiques.

ATMOS : module conversationnel de calcul du tableau [3;R;M] des concentrations, dépôts et temps de transfert pour les distances r et les conditions météorologiques m.

CALCONC : module général de calcul du modèle.

DEPDEC : calcule le tableau [L;R;M] des facteurs d'appauvrissement

DEPDECFILS : calcule le tableau [L';R;M] des facteurs d'appauvrissement.

FCONC : calcule le tableau [R;3] pour l'ensemble des distances et une condition météorologique donnée.

CONCMOY : module conversationnel de calcul des concentrations moyennes annuelles (TCONCM) des produits parents.

FILIACTIONS : module de calcul des concentrations moyennes annuelles (TCONCM2) des descendants

INITCONC1 : Entrée conversationnelle des données pour le calcul de CD

INITCONC2 : Entrée conversationnelle des données pour le calcul de TCONCM

INITCONC3 : Entrée conversationnelle des données pour le calcul de TCONCM2

RESULT : Module conversationnel de stockage (CDXYZ, TCONCMXYZ) et éventuellement d'édition des résultats.

2.4.2 Fonctions de calcul particulières de CALCONC

FPANACHE : Calcule les valeurs A et B nécessaires au calcul du paramètre de dépôt sec en fonction de la hauteur de rejet donnée.

FPANACHO : Calcule les valeurs de A et B dans le cas $h=0$

NFGAMJn : calcule la valeur de J (intégrale intervenant dans le calcul du coefficient de dépôt sec) pour un ensemble de valeurs, de la distance au point de rejet (interpolation logarithmique dans les tables NTGAMJ). La fonction particulière (NFGAMJ1 à NFGAMJ4) dépend du temps de trajet du panache et des conditions de stabilité de l'atmosphère.

TABAPAS : Interpole logarithmiquement dans une table donnée (à pas variable).

2.4.3 Fonctions utilitaires

MAT : transforme en tableau un vecteur muni de séparateurs

SBL : supprime les blancs de tête et queue d'une chaîne ou d'un tableau de caractères.

3. UTILISATION DU PROGRAMME

3.1 - L'ENVIRONNEMENT

L'ensemble des fonctions du modèle CALCONC constitue un groupe que l'utilisateur doit copier dans son espace de travail. Le nom du groupe est GCALCONC^{*}.

CALCONC est le nom de la fonction maîtresse. Si on augmente le nombre de produits calculé c'est le tableau des résultats (TCONCM) qui occupe rapidement la plus grande partie de l'espace de travail. Ce dernier doit donc être assez grand pour contenir les diverses fonctions ou variables conservées et les TCONCM. A défaut de pouvoir augmenter la taille de l'espace on peut traiter les produits par groupes de taille admissible.

3.2 - LES LIMITES

Ce sont des limites d'utilisation actuelles de CALCONC.

H (hauteur de rejet) : $H = 0$ ou $H \geq 10$ m

U (vitesse du vent) : $u \geq 1$ ms⁻¹

R (distances de calcul) : $100 \text{ m} \leq R \leq 100 \text{ km}$

Ces limites sont essentiellement liées au domaine de calcul de valeurs des tables fournissant les coefficients de dépôt. Une extension de ces domaines est prévue ultérieurement.

* Pour utiliser le programme contacter les auteurs.

4. UN EXEMPLE D'APPLICATION

Pour donner un exemple nous avons fait tourner le programme CALCONC pour déterminer les concentrations liées à des rejets unitaires de 4 produits différents dont un avec un descendant.

- 1 - un produit de référence sans appauvrissement
- 2 - un produit avec une décroissance unique par dépôt sec ($v_D = 0.01$ m/s)
- 3 - un produit avec une décroissance unique par lavage par la pluie ($\lambda_p = 10^{-4} s^{-1}$)
- 4 - un produit avec une décroissance unique par désintégration radioactive, nous avons choisi le ^{135}Xe qui se décompose (9.1 heures) en ^{135}Cs ($2.3 \cdot 10^6$ ans). Les concentrations du produit de filiation sont également calculées.

4.1 - Les caractéristiques du site

Sont données ci-dessous dans un premier temps les caractéristiques du site (fréquence des conditions météorologiques et découpages autour du point de rejet). Ensuite sont présentés successivement le listing de la session et le contenu des tableaux de résultats.

Le découpage suivant (en mètres) autour du point de rejet est stocké en mémoire dans la variable RCALC :

1000 1500 2500 4000 6000 8500 12500 17500 27500 42500 60000 85000

Le tableau 3 ci-dessous est en mémoire sous le nom de ARAMETEO.

Ces deux variables sont utilisées en entrée lors de l'exécution de CALCONC.

SECTEURS	CONDITIONS				METEOROLOGIQUES			
	DN10	DN6	DN4	DN3	DF4	DF3	DF2	DF1
1	.0	2.4	0.6	1.8	0.6	1.8	4.8	8.4
2	1.2	2.4	1.2	1.8	1.2	1.8	7.2	7.2
3	1.2	6	1.8	2.4	1.8	2.4	7.2	8.4
4	2.4	9.6	3	3	3	3	8.4	8.4
5	4.8	7.2	3	3.6	3	3.6	6	4.8
6	9.6	9.6	3	2.4	3	2.4	6	6
7	6.0	6	1.2	1.8	1.2	1.8	4.8	7.2
8	6.0	3.6	1.2	1.8	1.2	1.8	4.8	6
9	2.4	2.4	0.6	0.6	0.6	0.6	3.6	4.8
10	.0	1.2	0	0.6	0	0.6	2.4	3.6
11	.0	0	0	0.6	0	0.6	3.6	6
12	.0	0	0	1.2	0	1.2	4.8	7.2
13	2.4	1.2	0.6	1.2	0.6	1.2	4.8	7.2
14	127.4	28	0.6	7.2	0.6	7.2	26	18
15	170.7	48	9.6	7.8	9.6	7.8	16	14
16	19.2	22	7.2	7.2	7.2	7.2	17	12
17	2.4	4.8	3	4.2	3	4.2	16	16
18	1.2	2.4	1.2	2.4	1.2	2.4	7.2	12

TABLEAU 3 : FREQUENCES POUR 1000 DES CONDITIONS METEOROLOGIQUES MOYENNES ANNUELLES PAR SECTEUR (SITUATION D'ORANGE).

4.2 LISTING DE L'EXECUTION DE 'CALCONC' :

CALCONC

BREJET: 60

SURHAUTEUR(OUI/NON) ? : NON

DANS L'ORDRE DU TABLEAU METEO :

VITESSES DE VENT DIFF.NORM. : 10 6 4 3

VITESSES DE VENT DIFF.FAIBLE : 4 3 2 1

COUCHE DE MELANGE:DF=200,DW<5=2000,DW≥5=1000

OK ? : 1 SI OUI,SINON 3 VALEURS(0=INFINI) : 1

RAYONS DE CALCUL (METRES) ? : RCALC

NOMBRE DE PRODUITS INITIAUX : 4

LBDA : 0 0 0 2E⁻⁵

VECTEUR VDEPOT(M/S) : 0 0.01 0 0

TMETEO : ARAMETEO

SUFFIXE DE TCONCM : ARA

TAUX DE LAVAGE (S⁻¹): 0 0 1E⁻⁴ 0

FREQUENCE RELATIVE DES PLUIES(SUR TOUS LES TEMPS) : 0.1

REPARTITION DES PLUIES SUR LES SITUATIONS METEO A DIFF.NORM.

4 NOMBRES : 0 0.5 0.5 0

NB DE PROD DE FILLIATION ? : 1

LBDA DES PROD DE FILLIATION : 9.3E⁻⁹

NOS D'ORDRE DES PERES DANS CD OU LBDA : 4

LA VITESSE DE DEPOT DES FILS = CELLE DES PERES

TAUX DE LAVAGE DES FILS : 0

CONCENTRATION DES FILS RAMENEES A LA MASSE DES PERES.

FAUT IL PASSER AUX ACTIVITES(OUI/NON)? : NON

SORTIES(OUI OU NON) ? : NON

EN MEMOIRE : TCONCMARA;PARMARA;CDARA

4.3 LES RESULTATS :

RAYONS [LW]	CONDITIONS				METEOROLOGIQUES			
	DW 10	DW 6	DW 4	DW 3	DP 4	DP 3	DP 2	DP 1
1.0	1.0E-8	1.1E-7	2.8E-7	4.2E-7	1.0E-21	9.7E-18	9.7E-14	1.1E-9
1.5	3.5E-8	1.3E-7	2.1E-7	2.8E-7	9.2E-17	4.3E-14	2.1E-11	1.2E-8
2.5	4.5E-8	8.5E-8	1.2E-7	1.4E-7	6.3E-13	2.7E-11	1.2E-9	6.2E-8
4.0	3.2E-8	4.8E-8	6.1E-8	7.0E-8	6.8E-11	7.8E-10	8.8E-9	1.2E-7
6.0	2.0E-8	2.7E-8	3.3E-8	3.7E-8	7.6E-10	9.8E-9	2.2E-8	1.4E-7
8.5	1.2E-8	1.6E-8	1.9E-8	2.1E-8	2.6E-9	8.7E-9	3.1E-8	1.3E-7
12.5	6.9E-9	8.6E-9	1.0E-8	1.1E-8	5.7E-9	1.4E-8	3.4E-8	9.2E-8
17.5	4.1E-9	5.0E-9	6.0E-9	7.0E-9	7.6E-9	1.5E-8	3.1E-8	7.3E-8
27.5	2.0E-9	2.5E-9	3.1E-9	3.6E-9	8.4E-9	1.3E-8	2.3E-8	4.5E-8
42.5	1.0E-9	1.3E-9	1.6E-9	1.2E-9	6.9E-9	9.9E-9	1.5E-8	2.6E-8
60.0	6.0E-10	7.8E-10	6.6E-10	8.8E-10	5.3E-9	7.1E-9	1.0E-8	1.3E-8
85.0	3.6E-10	4.6E-10	4.7E-10	6.2E-10	3.8E-9	4.8E-9	6.6E-9	9.4E-9

TABLEAU 4 : CONCENTRATION DANS L'AIR [S.M⁻³] SANS APPAUVRISSEMENT
POUR UN REJET UNITAIRE ET UNE HAUTEUR EFFECTIVE DE 60M
(VOIR EQUATION 4)

RAYONS [LW]	CONDITIONS				METEOROLOGIQUES			
	DW 10	DW 6	DW 4	DW 3	DP 4	DP 3	DP 2	DP 1
1.0	1	1	0.99	0.99	1	1	1	1
1.5	1	0.99	0.96	0.97	1	1	1	1
2.5	0.99	0.98	0.95	0.95	1	1	1	0.99
4.0	0.99	0.96	0.94	0.92	1	1	1	0.97
6.0	0.97	0.94	0.92	0.89	1	1	0.99	0.88
8.5	0.95	0.92	0.89	0.87	1	0.99	0.96	0.76
12.5	0.93	0.88	0.85	0.83	0.99	0.96	0.87	0.57
17.5	0.9	0.87	0.83	0.8	0.95	0.89	0.75	0.38
27.5	0.87	0.83	0.78	0.75	0.88	0.73	0.52	0.17
42.5	0.83	0.77	0.73	0.69	0.86	0.5	0.28	0.056
60.0	0.79	0.74	0.68	0.64	0.87	0.31	0.14	0.015
85.0	0.76	0.69	0.63	0.58	0.28	0.16	0.056	0.0039

TABLEAU 5 : FACTEUR D'APPAUVRISEMENT (E) DU AU DEPOT SEC
(VOIR EQUATION 11).

E = EXP (-0.01xD)

D <=> CD[2::]

1

	1.00%	1.50%	2.50%	4.00%	6.00%	8.50%	1.20%	1.70%	2.70%	4.20%	6.00%	8.50%
1	2.25 ⁰	1.95 ⁰	1.85 ⁰	2.45 ⁰	2.55 ⁰	2.45 ⁰	1.95 ⁰	1.55 ⁰	1.65 ⁰	5.45 ⁰	3.25 ⁰	2.25 ⁰
2	2.55 ⁰	2.15 ⁰	2.05 ⁰	2.35 ⁰	2.45 ⁰	2.35 ⁰	1.95 ⁰	1.55 ⁰	1.75 ⁰	5.05 ⁰	3.35 ⁰	2.45 ⁰
3	4.05 ⁰	3.55 ⁰	3.05 ⁰	3.05 ⁰	3.05 ⁰	2.75 ⁰	2.25 ⁰	1.75 ⁰	1.25 ⁰	6.85 ⁰	4.95 ⁰	3.05 ⁰
4	5.85 ⁰	5.25 ⁰	4.95 ⁰	3.65 ⁰	3.65 ⁰	3.05 ⁰	2.45 ⁰	1.95 ⁰	1.25 ⁰	7.65 ⁰	5.55 ⁰	3.65 ⁰
5	5.85 ⁰	5.05 ⁰	3.85 ⁰	2.65 ⁰	2.65 ⁰	2.05 ⁰	1.45 ⁰	1.35 ⁰	1.35 ⁰	5.35 ⁰	3.25 ⁰	2.25 ⁰
6	5.55 ⁰	5.35 ⁰	4.25 ⁰	3.45 ⁰	2.85 ⁰	2.45 ⁰	1.85 ⁰	1.55 ⁰	1.55 ⁰	5.45 ⁰	3.45 ⁰	2.35 ⁰
7	3.35 ⁰	3.35 ⁰	2.85 ⁰	2.45 ⁰	2.35 ⁰	2.05 ⁰	1.65 ⁰	1.25 ⁰	1.05 ⁰	4.95 ⁰	2.85 ⁰	1.95 ⁰
8	1.35 ⁰	1.75 ⁰	1.45 ⁰	1.65 ⁰	1.65 ⁰	1.55 ⁰	1.25 ⁰	0.95 ⁰	0.85 ⁰	3.65 ⁰	2.05 ⁰	1.45 ⁰
9	1.35 ⁰	6.55 ⁰	7.55 ⁰	9.95 ⁰	1.25 ⁰	1.05 ⁰	0.35 ⁰	6.45 ⁰	4.15 ⁰	2.55 ⁰	1.45 ⁰	9.65 ¹⁰
10	4.75 ⁰	4.35 ⁰	4.15 ⁰	1.45 ⁰	1.75 ⁰	1.65 ⁰	1.35 ⁰	1.05 ⁰	6.55 ⁰	3.95 ⁰	2.25 ⁰	1.55 ⁰
11	4.35 ⁰	7.65 ⁰	1.15 ⁰	1.85 ⁰	2.05 ⁰	2.05 ⁰	1.65 ⁰	1.35 ⁰	4.25 ⁰	4.95 ⁰	2.85 ⁰	2.05 ⁰
12	1.55 ⁰	1.45 ⁰	1.65 ⁰	2.15 ⁰	2.25 ⁰	2.15 ⁰	1.75 ⁰	1.35 ⁰	6.45 ⁰	5.15 ⁰	2.95 ⁰	2.05 ⁰
13	1.45 ⁰	1.95 ⁰	1.95 ⁰	1.55 ⁰	1.25 ⁰	9.65 ⁰	7.25 ⁰	6.35 ⁰	3.45 ⁰	2.05 ⁰	1.25 ⁰	8.05 ⁰
14	2.45 ⁰	3.05 ⁰	2.75 ⁰	1.45 ⁰	1.75 ⁰	1.05 ⁰	7.05 ⁰	5.05 ⁰	3.15 ⁰	1.65 ⁰	1.15 ⁰	7.35 ⁰
15	1.45 ⁰	1.35 ⁰	9.75 ⁰	7.55 ⁰	6.35 ⁰	5.45 ⁰	4.35 ⁰	3.35 ⁰	2.25 ⁰	1.45 ⁰	8.35 ⁰	5.65 ⁰
16	5.85 ⁰	4.95 ⁰	4.45 ⁰	5.05 ⁰	5.25 ⁰	4.35 ⁰	3.25 ⁰	4.15 ⁰	2.15 ⁰	1.35 ⁰	7.65 ⁰	5.25 ⁰
17	3.05 ⁰	2.55 ⁰	2.75 ⁰	3.45 ⁰	3.65 ⁰	3.45 ⁰	2.85 ⁰	2.15 ⁰	1.45 ⁰	8.45 ⁰	4.75 ⁰	3.25 ⁰

2

1	2.25 ⁰	1.85 ⁰	1.95 ⁰	2.35 ⁰	2.35 ⁰	1.95 ⁰	1.25 ⁰	7.25 ⁰	2.85 ⁰	8.85 ¹⁰	3.05 ¹⁰	1.05 ¹⁰
2	2.55 ⁰	2.15 ⁰	2.05 ⁰	2.25 ⁰	2.25 ⁰	1.85 ⁰	1.35 ⁰	7.85 ⁰	3.35 ⁰	1.15 ¹⁰	4.05 ¹⁰	1.45 ¹⁰
3	4.05 ⁰	3.55 ⁰	2.95 ⁰	2.95 ⁰	2.75 ⁰	2.25 ⁰	1.65 ⁰	9.05 ⁰	3.85 ⁰	1.35 ¹⁰	5.15 ¹⁰	1.95 ¹⁰
4	5.85 ⁰	5.15 ⁰	3.95 ⁰	3.65 ⁰	3.05 ⁰	2.45 ⁰	1.75 ⁰	1.05 ⁰	6.85 ⁰	1.75 ¹⁰	6.45 ¹⁰	2.65 ¹⁰
5	5.85 ⁰	4.95 ⁰	3.55 ⁰	2.75 ⁰	2.25 ⁰	1.75 ⁰	1.25 ⁰	7.75 ⁰	3.75 ⁰	2.35 ¹⁰	6.35 ¹⁰	2.55 ¹⁰
6	5.45 ⁰	5.25 ⁰	4.15 ⁰	3.95 ⁰	2.65 ⁰	2.05 ⁰	1.35 ⁰	8.45 ⁰	1.55 ⁰	3.65 ¹⁰	6.45 ¹⁰	2.75 ¹⁰
7	3.35 ⁰	3.25 ⁰	2.95 ⁰	2.75 ⁰	2.45 ⁰	1.95 ⁰	1.25 ⁰	7.45 ⁰	3.05 ⁰	1.15 ¹⁰	4.25 ¹⁰	1.75 ¹⁰
8	2.85 ⁰	2.75 ⁰	2.45 ⁰	2.35 ⁰	2.05 ⁰	1.65 ⁰	1.15 ⁰	6.85 ⁰	2.85 ⁰	9.95 ¹⁰	3.25 ¹⁰	1.55 ¹⁰
9	1.35 ⁰	1.35 ⁰	1.45 ⁰	1.55 ⁰	1.45 ⁰	1.25 ⁰	7.45 ⁰	4.65 ⁰	1.85 ⁰	6.15 ¹⁰	2.25 ¹⁰	7.95 ¹¹
10	7.05 ⁰	6.45 ⁰	7.35 ⁰	9.95 ⁰	9.75 ⁰	8.15 ⁰	5.45 ⁰	3.15 ⁰	1.25 ⁰	3.65 ¹⁰	1.25 ¹⁰	3.75 ¹¹
11	4.65 ⁰	4.25 ⁰	4.15 ⁰	1.45 ⁰	1.65 ⁰	1.35 ⁰	6.35 ⁰	4.85 ⁰	1.75 ⁰	5.05 ¹⁰	1.55 ¹⁰	4.05 ¹¹
12	9.25 ⁰	7.45 ⁰	1.15 ⁰	1.75 ⁰	1.85 ⁰	1.65 ⁰	1.05 ⁰	6.15 ⁰	2.35 ⁰	6.65 ¹⁰	2.15 ¹⁰	6.15 ¹¹
13	1.55 ⁰	1.45 ⁰	1.65 ⁰	2.05 ⁰	2.05 ⁰	1.75 ⁰	1.15 ⁰	6.55 ⁰	2.55 ⁰	8.05 ¹⁰	2.85 ¹⁰	9.45 ¹¹
14	1.45 ⁰	1.85 ⁰	1.85 ⁰	1.55 ⁰	1.15 ⁰	8.35 ⁰	5.45 ⁰	3.35 ⁰	1.55 ⁰	5.75 ⁰	2.55 ⁰	1.15 ⁰
15	2.45 ⁰	2.95 ⁰	2.75 ⁰	1.95 ⁰	1.35 ⁰	6.35 ⁰	3.45 ⁰	6.65 ⁰	1.65 ⁰	6.65 ⁰	3.35 ⁰	1.65 ⁰
16	1.45 ⁰	1.35 ⁰	9.45 ⁰	7.25 ⁰	5.85 ⁰	4.55 ⁰	3.15 ⁰	2.05 ⁰	9.55 ⁰	1.65 ⁰	9.65 ¹⁰	6.65 ¹⁰
17	5.75 ⁰	4.85 ⁰	4.35 ⁰	4.85 ⁰	4.75 ⁰	4.05 ⁰	2.85 ⁰	1.75 ⁰	7.25 ⁰	3.55 ⁰	9.05 ¹⁰	3.15 ¹⁰
18	2.95 ⁰	2.55 ⁰	2.65 ⁰	3.35 ⁰	3.35 ⁰	2.75 ⁰	1.85 ⁰	1.05 ⁰	4.15 ⁰	1.35 ⁰	4.55 ¹⁰	1.55 ¹⁰

3

1	2.25 ⁰	1.95 ⁰	1.95 ⁰	2.45 ⁰	2.55 ⁰	2.45 ⁰	1.95 ⁰	1.55 ⁰	9.55 ⁰	5.85 ⁰	3.25 ⁰	2.25 ⁰
2	2.55 ⁰	2.15 ⁰	2.05 ⁰	2.35 ⁰	2.45 ⁰	2.35 ⁰	1.95 ⁰	1.55 ⁰	9.75 ⁰	5.95 ⁰	3.35 ⁰	2.35 ⁰
3	4.05 ⁰	3.55 ⁰	3.05 ⁰	3.05 ⁰	3.05 ⁰	2.75 ⁰	2.25 ⁰	1.75 ⁰	1.15 ⁰	6.85 ⁰	4.95 ⁰	3.05 ⁰
4	5.85 ⁰	5.15 ⁰	4.05 ⁰	3.65 ⁰	3.35 ⁰	2.95 ⁰	2.45 ⁰	1.95 ⁰	1.25 ⁰	7.55 ⁰	5.45 ⁰	3.65 ⁰
5	5.85 ⁰	5.05 ⁰	3.85 ⁰	2.65 ⁰	2.05 ⁰	1.65 ⁰	1.35 ⁰	1.35 ⁰	1.35 ⁰	5.35 ⁰	3.25 ⁰	2.25 ⁰
6	5.45 ⁰	5.25 ⁰	4.15 ⁰	3.45 ⁰	2.85 ⁰	2.45 ⁰	1.95 ⁰	1.45 ⁰	9.35 ⁰	5.75 ⁰	3.45 ⁰	2.35 ⁰
7	3.35 ⁰	3.25 ⁰	2.95 ⁰	2.65 ⁰	2.65 ⁰	2.35 ⁰	1.85 ⁰	1.45 ⁰	9.05 ⁰	5.55 ⁰	3.15 ⁰	2.15 ⁰
8	2.85 ⁰	2.75 ⁰	2.45 ⁰	2.45 ⁰	2.25 ⁰	2.05 ⁰	1.65 ⁰	1.25 ⁰	8.05 ⁰	4.85 ⁰	2.85 ⁰	1.85 ⁰
9	1.35 ⁰	1.35 ⁰	1.45 ⁰	1.65 ⁰	1.65 ⁰	1.55 ⁰	1.25 ⁰	9.15 ⁰	4.95 ⁰	3.55 ⁰	2.05 ⁰	1.45 ⁰
10	7.05 ⁰	6.55 ⁰	7.45 ⁰	9.95 ⁰	1.15 ⁰	1.05 ⁰	0.35 ⁰	6.45 ⁰	4.15 ⁰	2.55 ⁰	1.45 ⁰	9.65 ¹⁰
11	4.75 ⁰	4.35 ⁰	4.15 ⁰	1.45 ⁰	1.75 ⁰	1.65 ⁰	1.35 ⁰	1.05 ⁰	6.55 ⁰	3.95 ⁰	2.25 ⁰	1.55 ⁰
12	9.35 ⁰	7.65 ⁰	1.15 ⁰	1.85 ⁰	2.05 ⁰	2.05 ⁰	1.65 ⁰	1.35 ⁰	4.25 ⁰	4.95 ⁰	2.85 ⁰	1.85 ⁰
13	1.55 ⁰	1.45 ⁰	1.65 ⁰	2.15 ⁰	2.25 ⁰	2.15 ⁰	1.75 ⁰	1.35 ⁰	6.45 ⁰	5.15 ⁰	2.95 ⁰	2.05 ⁰
14	1.45 ⁰	1.85 ⁰	1.95 ⁰	1.55 ⁰	1.25 ⁰	9.55 ⁰	7.25 ⁰	5.35 ⁰	3.35 ⁰	2.05 ⁰	1.25 ⁰	7.95 ⁰
15	2.45 ⁰	2.95 ⁰	2.75 ⁰	1.95 ⁰	1.45 ⁰	1.05 ⁰	6.95 ⁰	4.95 ⁰	3.05 ⁰	1.65 ⁰	1.15 ⁰	7.15 ⁰
16	1.45 ⁰	1.35 ⁰	9.45 ⁰	7.25 ⁰	6.25 ⁰	5.35 ⁰	4.25 ⁰	3.35 ⁰	2.25 ⁰	1.35 ⁰	8.15 ⁰	5.65 ⁰
17	5.75 ⁰	4.85 ⁰	4.35 ⁰	4.85 ⁰	5.25 ⁰	4.95 ⁰	4.15 ⁰	3.25 ⁰	2.15 ⁰	1.35 ⁰	7.65 ⁰	5.15 ⁰
18	3.05 ⁰	2.55 ⁰	2.75 ⁰	3.45 ⁰	3.65 ⁰	3.45 ⁰	2.85 ⁰	2.15 ⁰	1.45 ⁰	8.35 ⁰	4.75 ⁰	3.25 ⁰

TABLEAU 6-1 : CONCENTRATION MOYENNE ANNUELLE PAR UN DEBIT DE REJET UNITAIRE A UNE HAUTEUR EFFECTIVE DE 60M[S.M³]:

- 1 - VD = 0 , λ_w = 0 , λ = 0 :
- 2 - VD = 0.01 M/S , λ_w = 0 , λ = 0 .
- 3 - VD = 0 , λ_w = 10⁻⁴ S⁻¹ , λ = 0 .

	1.0E3	1.5E3	2.5E3	4.0E3	6.0E3	8.5E3	1.2E4	1.7E4	2.7E4	4.2E4	6.0E4	8.5E4
1	2.2E ⁰	1.8E ⁰	1.8E ⁰	2.2E ⁰	2.3E ⁰	2.0E ⁰	1.6E ⁰	1.1E ⁰	6.1E ⁻¹	2.9E ⁻¹	1.3E ⁻¹	6.5E ⁻²
2	2.5E ⁰	2.1E ⁰	1.9E ⁰	2.2E ⁰	2.2E ⁰	2.0E ⁰	1.5E ⁰	1.1E ⁰	6.4E ⁻¹	3.2E ⁻¹	1.5E ⁻¹	7.7E ⁻²
3	4.0E ⁰	3.5E ⁰	2.9E ⁰	2.8E ⁰	2.7E ⁰	2.4E ⁰	1.8E ⁰	1.3E ⁰	7.4E ⁻¹	3.7E ⁻¹	1.8E ⁻¹	8.9E ⁻²
4	5.8E ⁰	5.1E ⁰	4.0E ⁰	3.4E ⁰	3.1E ⁰	2.6E ⁰	2.0E ⁰	1.4E ⁰	8.3E ⁻¹	4.2E ⁻¹	2.1E ⁻¹	1.1E ⁻¹
5	5.8E ⁰	5.0E ⁰	3.5E ⁰	2.7E ⁰	2.2E ⁰	1.8E ⁰	1.4E ⁰	1.0E ⁰	6.0E ⁻¹	3.2E ⁻¹	1.7E ⁻¹	8.7E ⁻²
6	5.5E ⁰	5.2E ⁰	4.1E ⁰	3.3E ⁰	2.7E ⁰	2.2E ⁰	1.6E ⁰	1.1E ⁰	6.6E ⁻¹	3.4E ⁻¹	1.7E ⁻¹	8.8E ⁻²
7	3.3E ⁰	3.2E ⁰	2.9E ⁰	2.3E ⁰	2.1E ⁰	1.8E ⁰	1.3E ⁰	9.5E ⁻¹	5.3E ⁻¹	2.7E ⁻¹	1.3E ⁻¹	6.4E ⁻²
8	2.8E ⁰	2.7E ⁰	2.4E ⁰	2.3E ⁰	2.1E ⁰	1.8E ⁰	1.3E ⁰	9.5E ⁻¹	5.3E ⁻¹	2.7E ⁻¹	1.3E ⁻¹	6.4E ⁻²
9	1.3E ⁰	1.3E ⁰	1.4E ⁰	1.5E ⁰	1.5E ⁰	1.3E ⁰	9.7E ⁻¹	8.9E ⁻¹	3.8E ⁻¹	1.9E ⁻¹	8.6E ⁻²	4.2E ⁻²
10	7.0E ⁻¹	6.5E ⁻¹	7.2E ⁻¹	9.2E ⁻¹	9.7E ⁻¹	8.7E ⁻¹	6.7E ⁻¹	4.8E ⁻¹	2.6E ⁻¹	1.3E ⁻¹	5.7E ⁻²	2.7E ⁻²
11	4.7E ⁻¹	4.3E ⁻¹	8.0E ⁻¹	1.3E ⁰	1.5E ⁰	1.4E ⁰	1.1E ⁰	7.5E ⁻¹	4.1E ⁻¹	1.9E ⁻¹	8.5E ⁻²	4.0E ⁻²
12	9.2E ⁻¹	7.6E ⁻¹	1.1E ⁰	1.6E ⁰	1.8E ⁰	1.7E ⁰	1.3E ⁰	9.4E ⁻¹	5.2E ⁻¹	2.5E ⁻¹	1.1E ⁻¹	5.3E ⁻²
13	1.5E ⁰	1.4E ⁰	1.6E ⁰	1.9E ⁰	2.0E ⁰	1.8E ⁰	1.4E ⁰	9.8E ⁻¹	5.4E ⁻¹	2.6E ⁻¹	1.2E ⁻¹	5.8E ⁻²
14	1.4E ⁰	1.8E ⁰	1.8E ⁰	1.5E ⁰	1.1E ⁰	8.7E ⁻¹	6.2E ⁻¹	4.3E ⁻¹	2.4E ⁻¹	1.2E ⁻¹	6.2E ⁻²	3.2E ⁻²
15	2.4E ⁰	2.9E ⁰	2.7E ⁰	1.9E ⁰	1.3E ⁰	9.4E ⁻¹	6.2E ⁻¹	4.2E ⁻¹	2.3E ⁻¹	1.2E ⁻¹	6.3E ⁻²	3.4E ⁻²
16	1.4E ⁰	1.3E ⁰	9.5E ⁻¹	7.2E ⁻¹	5.9E ⁻¹	4.8E ⁻¹	3.6E ⁻¹	2.6E ⁻¹	1.6E ⁻¹	8.1E ⁻²	4.3E ⁻²	2.2E ⁻²
17	5.7E ⁻¹	4.8E ⁻¹	4.3E ⁻¹	4.7E ⁻¹	4.8E ⁻¹	4.3E ⁻¹	3.4E ⁻¹	2.5E ⁻¹	1.4E ⁻¹	7.1E ⁻²	3.4E ⁻²	1.7E ⁻²
18	3.0E ⁻¹	2.5E ⁻¹	2.8E ⁻¹	3.2E ⁻¹	3.3E ⁻¹	2.9E ⁻¹	2.2E ⁻¹	1.6E ⁻¹	8.8E ⁻²	4.5E ⁻²	2.0E ⁻²	9.5E ⁻³

1	9.3E ⁻⁵	9.4E ⁻⁵	2.9E ⁻⁵	7.5E ⁻⁵	1.3E ⁻⁴	1.6E ⁻⁴	1.9E ⁻⁴	1.9E ⁻⁴	1.7E ⁻⁴	1.4E ⁻⁴	8.5E ⁻⁵	7.9E ⁻⁵
2	7.1E ⁻⁵	1.0E ⁻⁴	2.7E ⁻⁵	6.7E ⁻⁵	1.1E ⁻⁴	1.5E ⁻⁴	1.7E ⁻⁴	1.8E ⁻⁴	1.7E ⁻⁴	1.4E ⁻⁴	9.6E ⁻⁵	8.0E ⁻⁵
3	1.1E ⁻⁴	1.8E ⁻⁴	3.5E ⁻⁵	8.1E ⁻⁵	1.3E ⁻⁴	1.7E ⁻⁴	2.0E ⁻⁴	2.1E ⁻⁴	1.9E ⁻⁴	1.6E ⁻⁴	1.1E ⁻⁴	9.0E ⁻⁵
4	1.5E ⁻⁴	2.0E ⁻⁴	4.0E ⁻⁵	8.6E ⁻⁵	1.4E ⁻⁴	1.8E ⁻⁴	2.1E ⁻⁴	2.1E ⁻⁴	2.0E ⁻⁴	1.7E ⁻⁴	1.2E ⁻⁴	9.8E ⁻⁵
5	1.6E ⁻⁴	1.9E ⁻⁴	3.0E ⁻⁵	5.6E ⁻⁵	8.6E ⁻⁵	1.1E ⁻⁴	1.3E ⁻⁴	1.3E ⁻⁴	1.3E ⁻⁴	1.1E ⁻⁴	7.9E ⁻⁵	6.6E ⁻⁵
6	1.3E ⁻⁴	1.8E ⁻⁴	3.4E ⁻⁵	6.6E ⁻⁵	1.0E ⁻⁴	1.3E ⁻⁴	1.4E ⁻⁴	1.4E ⁻⁴	1.4E ⁻⁴	1.2E ⁻⁴	8.7E ⁻⁵	7.2E ⁻⁵
7	8.4E ⁻⁵	1.3E ⁻⁴	3.0E ⁻⁵	7.0E ⁻⁵	1.1E ⁻⁴	1.4E ⁻⁴	1.7E ⁻⁴	1.6E ⁻⁴	1.3E ⁻⁴	8.7E ⁻⁵	7.2E ⁻⁵	6.4E ⁻⁵
8	7.5E ⁻⁵	1.1E ⁻⁴	2.5E ⁻⁵	5.9E ⁻⁵	8.6E ⁻⁵	1.2E ⁻⁴	1.4E ⁻⁴	1.5E ⁻⁴	1.3E ⁻⁴	1.0E ⁻⁴	7.7E ⁻⁵	6.4E ⁻⁵
9	3.2E ⁻⁵	6.5E ⁻⁵	1.7E ⁻⁵	4.4E ⁻⁵	7.4E ⁻⁵	9.6E ⁻⁵	1.1E ⁻⁴	1.1E ⁻⁴	1.0E ⁻⁴	8.5E ⁻⁵	5.8E ⁻⁵	4.8E ⁻⁵
10	2.0E ⁻⁵	3.3E ⁻⁵	1.2E ⁻⁵	3.2E ⁻⁵	5.4E ⁻⁵	7.1E ⁻⁵	8.1E ⁻⁵	8.3E ⁻⁵	7.5E ⁻⁵	6.2E ⁻⁵	4.2E ⁻⁵	3.4E ⁻⁵
11	1.6E ⁻⁵	3.4E ⁻⁵	1.0E ⁻⁵	5.1E ⁻⁵	8.8E ⁻⁵	1.2E ⁻⁴	1.3E ⁻⁴	1.2E ⁻⁴	1.0E ⁻⁴	8.1E ⁻⁵	5.5E ⁻⁵	4.5E ⁻⁵
12	3.2E ⁻⁵	5.3E ⁻⁵	2.2E ⁻⁵	6.3E ⁻⁵	1.1E ⁻⁴	1.4E ⁻⁴	1.6E ⁻⁴	1.6E ⁻⁴	1.5E ⁻⁴	1.2E ⁻⁴	8.3E ⁻⁵	6.8E ⁻⁵
13	4.4E ⁻⁵	7.1E ⁻⁵	2.4E ⁻⁵	6.4E ⁻⁵	1.1E ⁻⁴	1.4E ⁻⁴	1.6E ⁻⁴	1.7E ⁻⁴	1.5E ⁻⁴	1.2E ⁻⁴	8.4E ⁻⁵	6.9E ⁻⁵
14	3.1E ⁻⁵	5.2E ⁻⁵	1.1E ⁻⁵	2.1E ⁻⁴	3.3E ⁻⁵	4.2E ⁻⁵	4.5E ⁻⁵	5.1E ⁻⁵	4.8E ⁻⁵	4.0E ⁻⁵	2.9E ⁻⁵	2.4E ⁻⁵
15	5.1E ⁻⁵	8.1E ⁻⁵	1.3E ⁻⁵	2.1E ⁻⁴	3.0E ⁻⁵	3.6E ⁻⁵	4.0E ⁻⁵	4.1E ⁻⁵	3.8E ⁻⁵	3.2E ⁻⁵	2.3E ⁻⁵	1.9E ⁻⁵
16	2.5E ⁻⁵	4.6E ⁻⁵	7.6E ⁻⁶	1.4E ⁻⁴	2.2E ⁻⁵	2.4E ⁻⁵	3.3E ⁻⁵	3.4E ⁻⁵	3.2E ⁻⁵	2.7E ⁻⁵	2.0E ⁻⁵	1.7E ⁻⁵
17	1.6E ⁻⁵	2.3E ⁻⁵	5.9E ⁻⁶	1.5E ⁻⁴	2.5E ⁻⁵	3.2E ⁻⁵	3.8E ⁻⁵	3.6E ⁻⁵	3.6E ⁻⁵	3.0E ⁻⁵	2.1E ⁻⁵	1.7E ⁻⁵
18	8.7E ⁻⁶	1.3E ⁻⁵	4.1E ⁻⁶	1.1E ⁻⁴	1.8E ⁻⁵	2.3E ⁻⁵	2.7E ⁻⁵	2.7E ⁻⁵	2.5E ⁻⁵	2.0E ⁻⁵	1.4E ⁻⁵	1.1E ⁻⁵

TABLEAU 6.2 : CONCENTRATION MOYENNE ANNUELLE POUR UN DEBIT DE REJET UNITAIRE A UNE HAUTEUR EFFECTIVE DE 60M [S.M³]:

4 - VD = 0, λ_w = 0 λ = 2.10⁻⁵ S⁻¹

5 - PRODUIT DE FILIATION DU RADIONUCLEIDE 4
VD = 0, λ_w = 0, λ = 9.3.10⁻⁹ S⁻¹

REFERENCES

- /1/ A. DOURY, "Une méthode de calcul pratique et générale pour la prévision numérique des pollutions véhiculées par l'atmosphère" ; Rapport CEA-R-4280 (Rév.1), 1976.
- /2/ CEA-NRPB, "Méthodologie pour l'évaluation des conséquences radiologiques des rejets d'effluents radioactifs en fonctionnement normal" ; Rapport CEA-NRPB, Luxembourg ; Commission des communautés européennes, 1979 (Doc n° V/3865/79).
- /3/ J. LEGRAND, D. MANESSE, "Modèle IPSN pour le calcul simplifié de la dispersion atmosphérique des rejets accidentels" ; Rapport CEA-R-5170 (1982)
- /4/ J. LOCHARD, C.MACCIA, P.PAGES, "Méthodologie pour la mise en oeuvre du principe d'optimisation de la CIPR. Le cas des effluents des installations du cycle du combustible" ; Rapport CEA-R-5071, 1980.
- /5/ D.A. HEGG and P.V. HOBBS, "Measurement of gas-to-particle conversion in the plumes from five coal-fired electric power plants", Atmos. Environ., 1980, 14, 99-116.
- /6/ A.C. CHAMBERLAIN and E.J. EGGLETON, "Washout of tritiated water vapour by rain" ; Int. J. Air Water Poll., 1964, 8, 135-149.

ANNEXE A

CALCUL DU DEPOT SEC

SOMMAIRE

1. Formulation du terme d'appauvrissement
2. Transformation de l'intégrale I
3. Expression finale du paramètre D
 - 3.1 Cas $h \neq 0$
 - 3.2 Cas $h = 0$
4. Calcul pratique et valeur aux limites
 - 4.1 Méthode
 - 4.2 Domaine de définition
 - 4.3 Construction des tables NTGAMJ
 - 4.4 Calcul par CALCONC
 - 4.5 Développements approchés de J
5. Les tables NTGAMJ

1 - FORMULATION DU TERME APPAUVRISSEMENT

C'est la partie proprement numérique du calcul des concentrations, car elle conduit à une intégrale du modèle gaussien entre le point de rejet et le point de calcul du dépôt. Le facteur d'appauvrissement $E_D(x)$ dû au dépôt sec est :

$$E_D(x) = \exp\{-v_D D(x)\} \quad (A1)$$

avec

$$\left. \begin{aligned} D(x) &= \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^x \exp\left\{-\frac{h^2}{2\sigma_z^2}\right\} \frac{dx}{u\sigma_z} \\ \sigma_x(x) &= (At)^k \\ x &= ut \end{aligned} \right\} \text{(schéma de DOURY) (A2)}$$

ou en passant à la variable t et en posant :

$$\left. \begin{aligned} I &= \int_0^{x/u} \exp\left\{-\frac{h^2}{2\sigma_z^2}\right\} \frac{dt}{\sigma_z} \\ D &= \sqrt{\frac{2}{\pi}} I \end{aligned} \right\} \quad (A3)$$

L'expression de I prend une forme particulière à l'intérieur de chacun des domaines de durée où DOURY fixe des valeurs pour les paramètres k et A. D'où la distinction dans le tableau ci-dessous des 4 cas notés J1 à J4.

	Conditions Diffusion	Temps	k	A
J1	Normale	$0 < t \leq 240^h$	0.814	0.42
J2	Normale	$240 < t \leq 3280$	0.685	1.
J3	Normale	$3280 < t$	0.5	20
J4	Faible	$0 < t$	0.5	0.2

Tableau A.1 : Valeurs des paramètres pour les types de situations du schéma DOURY /1/.

Le problème est le calcul de I. Le cas immédiat où $h = 0$ est traité à part. La méthode est présentée ci-dessous dans le cas général où $h \neq 0$. On explicite les transformations effectuées sur I permettant de se ramener à une fonction gamma incomplète dont il existe en général des programmes de calcul performants dans les bibliothèques mathématiques.

A. DOURY, "Une méthode de calcul pratique et générale pour la prévision numérique des pollutions véhiculées par l'atmosphère".

/1/ - Rapport CEA-R-4230 (Rév.1). 1976

2 - TRANSFORMATION DE L'INTEGRALE I

On pose :

$$\left. \begin{aligned} a &= \frac{h^2}{2A^2k} \\ b &= \frac{k+1}{2k} \\ B &= \frac{h^{2b-2}}{Ak2^b} \\ J &= \int_w^\infty e^{-v} v^{-b} dv \end{aligned} \right\} \quad (A4)$$

Alors le changement de variable

$$v = \frac{a}{t^{2k}}$$

donne $I = BJ$ (A5)

Et une intégration par parties sur J permet d'introduire la fonction γ incomplète (ici γ_c la complémentaire)

$$\begin{aligned} \gamma_c(x, a) &= \int_x^\infty e^{-t} t^{a-1} dt \\ J &= \left[\frac{e^{-v} v^{1-b}}{1-b} \right]_w^\infty + \frac{1}{1-b} \int_w^\infty e^{-v} v^{1-b} dv \\ J &= \frac{1}{b-1} \left\{ e^{-w} w^{1-b} - \gamma_c(w, 2-b) \right\} \end{aligned} \quad (A6)$$

3 - EXPRESSION FINALE DE D

3.1. Cas où h ≠ 0

$$\left. \begin{aligned}
 D &= \sqrt{\frac{z}{\pi}} BJ \\
 \sqrt{\frac{z}{\pi}} &= 0.79789 \\
 B &= \frac{h^{2b-2}}{\Delta k 2^b} \\
 b &= \frac{k+1}{2k} \\
 J &= \frac{1}{b-1} \left\{ e^{-w} w^{1-b} - \gamma_c(w, 2-b) \right\} \\
 w &= a \left(\frac{u}{x} \right)^{2k} \\
 a &= \frac{h^2}{2\Delta^2 k}
 \end{aligned} \right\} \quad (A7)$$

$$\gamma_c(w, \alpha) = \int_w^\infty e^{-v} v^{\alpha-1} dv$$

Dans le cas particulier (cf tableau A.1) où $k=0.5$ (cas J3 et J4), J s'exprime au moyen de la fonction d'erreur :

$$\left. \begin{aligned}
 J &= 2 \left\{ \frac{e^{-w}}{\sqrt{w}} - \sqrt{\pi} \operatorname{erfc}(\sqrt{w}) \right\} \\
 \text{avec } \operatorname{erfc}(x) &= 1 - \operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^\infty e^{-t^2} dt
 \end{aligned} \right\} \quad (A8)$$

3.2 Cas où h = 0

Dans l'expression A3 de D, I se réduit à :

$$I = \int_0^{x/u} \frac{dt}{(\Delta t)^k} = \frac{1}{\Delta^k} \frac{t^{1-k}}{1-k} = \frac{1}{1-k} \frac{t}{\Delta^k} \quad (A9)$$

4 - CALCUL PRATIQUE ET VALEUR AUX LIMITES

4.1 - METHODE

On propose de construire une fois pour toutes une table de valeurs pour chaque fonction associée à une combinaison des paramètres DOURY. Soit 3 tables pour 4 fonctions (cf tableau A.1 et formule A.7). Il suffira ensuite d'interpoler (logarithmiquement) dans ces tables.

4.2 - DOMAINE DE DEFINITION

Les tableaux A2 et A3 ci-dessous donnent les résultats des calculs conduisant pour chacune des fonctions concernées (NFGAMJ1 à J4) aux valeurs *minimum* et *maximum* possibles pour l'argument w . Ces valeurs sont liées à la durée de transport du panache et à la hauteur du point de rejet. Pour rester dans un domaine accessible pour des tables de petite dimension on a limité les petites valeurs de w à celles qui correspondent à 10^6 s de trajet et à des hauteurs de rejet ≥ 10 m (cas $h \neq 0$).

Pour les grandes valeurs de w (petites valeurs de t) on adopte une valeur limite au delà de laquelle $D = 0$. Les développements asymptotiques correspondants sont donnés ci-après.

Cas	b	2 - b	$\Gamma(2-b)$	a/h^2	$B/h^{2(b-1)}$	$2(b-1)$
J1	1.11425	.88575	1.0804	2.05268	1.35115	0.22850
J2	1.22993	.77007	1.19960	0.5	0.62239	0.45985
J3	1.5	.5	1.77245	0.025	3.53553E-2	1.
J4	1.5	.5	1.77245	2.5	3.53553	1.

Tableau A.2 : Valeurs intermédiaires

Cas	W minimum h = 10 m	W maximum h = 1000 m	[s]	
			t_{inf}	t_{sup}
J1	2.7E-2	∞	0	240
J2	7.6 E-4	274.2	240	3280
J3	2.5 E-6(1)	7.62	3280	$10^6(1)$
J4	2.5 E-4(1)	∞	0	$10^6(1)$

(1) La limite de 10^6 s correspond à une vitesse minimum du vent de 1m/s sur 1000 km (ou 2 m/s sur 2000 km)

Tableau A.3 : Valeurs limites de l'argument pour le calcul de J.

4.3 - CONSTRUCTION DES TABLES NTGAMJ

On fait appel aux fonctions AFGPI-AFGQI de la bibliothèque mathématique CISI. La précision garantie pour $0 < w < 3000$ est de 7 chiffres significatifs. Le calcul est effectué en FORTRAN. Les résultats transférés sous APL sont donnés ci-après au paragraphe 5.

4.4 - CALCUL PAR CALCONC

Le module FPANACHE calcule B et a (dans le cas où $h \neq 0$), notés respectivement \underline{B} , \underline{A} . FCONC calcule w (noté W) en fonction de a, u et x notés \underline{A} , U et X. Si $h = 0$ c'est FCONC qui calcule directement I selon l'expression B9. Si $h \neq 0$, FCONC fait appel (par l'intermédiaire des fonctions NFGAMJ1 à J4) à la fonction d'interpolation logarithmique (TABAPAS) dans les tables de valeurs précalculées (NTGAMJ1 à J3).

4.5 - DEVELOPPEMENTS APPROCHES DE J

4.5.1 Pour les grandes valeurs de w (petites valeurs de $t = x/u$)

$$\gamma_c(w, a) = \int_w^{\infty} e^{-u} u^{a-1} du$$

$$\gamma_c(w, a) = w^{a-1} e^{-w} \left\{ 1 + \frac{a-1}{w} + \frac{(a-1)(a-2)}{w^2} + \dots \right\} + \Delta$$

$$|\Delta| \leq \text{premier terme négligé} .$$

Source : (*)

Le calcul de J est simplifié comme suit (ici $a = 2-b$) :

$$J = e^{-w} w^{-b} \left\{ 1 - \frac{b}{w} + \frac{b(b+1)}{w^2} + \dots + (-1)^p \frac{b(b+1)\dots(b+p-1)}{w^p} \right\} \quad (A10)$$

(*) Handbook of mathematical functions, M. Abramowitz éd., NBS, Washington, 1965

4.5.2 Pour les petites valeurs de w (grandes valeurs de $t = x/u$)

On a :

$$\gamma_c(w, a) = \Gamma(a) - \gamma(w, a)$$

$$\gamma(w, a) = \int_0^w e^{-u} u^{a-1} du$$

$$\Gamma(a) = \int_0^{\infty} e^{-u} u^{a-1} du \quad (\text{fonction gamma d'Euler})$$

Ici pour $u \ll w \ll 1$ on utilise le développement de e^{-u} :

$$\begin{aligned} \gamma(w, a) &= \int_0^w u^{a-1} \left[1 - u + \frac{u^2}{2} - \dots + (-1)^p \frac{u^p}{p!} + \dots \right] du \\ &= \frac{w^{2-b}}{2-b} - \frac{w^{3-b}}{3-b} + \dots + \frac{(-1)^p}{p!} \frac{w^{p+2-b}}{p+2-b} + \Delta \end{aligned}$$

$|\Delta|$ premier terme négligé.

J est donné par l'expression suivante, $\tilde{\gamma}$ désignant la valeur approchée de γ :

$$J = \frac{1}{b-1} \left\{ e^{-w} w^{1-b} - \Gamma(2-b) + \tilde{\gamma}(w, 2-b) \right\} \quad (A11)$$

3 - LES TABLES NTGAMJ1, NTGAMJ2 et NTGAMJ3

Sont données ci-dessous les tables des valeurs de J (expression B4) pour les 3 différents jeux de paramètres découlant du schéma de DOURY.

H	J 1	V	J 1	H	J 1	H	J 1
0.0001	15.61	1.4	0.107	5.4	5.865 ^e	9.4	6.148 ^e
0.0002	13.7	1.5	0.09216	5.5	5.196 ^e	9.5	5.503 ^e
0.0003	12.66	1.6	0.0785	5.6	4.569 ^e	9.6	4.926 ^e
0.0004	11.94	1.7	0.06783	5.7	4.102 ^e	9.7	4.410 ^e
0.0005	11.4	1.8	0.05868	5.8	3.652 ^e	9.8	3.948 ^e
0.0006	10.97	1.9	0.05012	5.9	3.229 ^e	9.9	3.535 ^e
0.0007	10.62	2	0.04372	6	2.890 ^e	10	3.165 ^e
0.0008	10.31	2.1	0.03742	6.1	2.538 ^e	10.1	2.836 ^e
0.0009	10.05	2.2	0.03256	6.2	2.332 ^e	10.2	2.540 ^e
0.001	9.817	2.3	0.02876	6.3	1.990 ^e	10.3	2.275 ^e
0.002	8.351	2.4	0.0249	6.4	1.777 ^e	10.4	2.038 ^e
0.003	7.548	2.5	0.02211	6.5	1.611 ^e	10.5	1.826 ^e
0.004	7	2.6	0.01872	6.6	1.453 ^e	10.6	1.636 ^e
0.005	6.588	2.7	0.01625	6.7	1.288 ^e	10.7	1.466 ^e
0.006	6.259	2.8	0.01457	6.8	1.133 ^e	10.8	1.318 ^e
0.007	5.987	2.9	0.01276	6.9	0.981 ^e	10.9	1.178 ^e
0.008	5.755	3	0.01123	7	0.977 ^e	11	1.056 ^e
0.009	5.553	3.1	0.00979	7.1	8.579 ^e	11.1	9.462 ^e
0.01	5.376	3.2	0.008563	7.2	7.039 ^e	11.2	8.442 ^e
0.02	4.264	3.3	0.007625	7.3	6.494 ^e	11.3	7.605 ^e
0.03	3.659	3.4	0.006882	7.4	5.699 ^e	11.4	6.818 ^e
0.04	3.251	3.5	0.005921	7.5	5.207 ^e	11.5	6.114 ^e
0.05	2.947	3.6	0.005193	7.6	4.864 ^e	11.6	5.491 ^e
0.06	2.707	3.7	0.004604	7.7	4.101 ^e	11.7	4.917 ^e
0.07	2.509	3.8	0.004011	7.8	3.621 ^e	11.8	4.410 ^e
0.08	2.342	3.9	0.003615	7.9	3.266 ^e	11.9	3.955 ^e
0.09	2.199	4	0.003158	8	2.960 ^e	12	3.548 ^e
0.1	2.074	4.1	0.002818	8.1	2.690 ^e	12.1	3.183 ^e
0.2	1.822	4.2	0.002507	8.2	2.253 ^e	12.2	2.853 ^e
0.3	0.95	4.3	0.002182	8.3	2.006 ^e	12.3	2.562 ^e
0.4	0.7204	4.4	0.001952	8.4	1.873 ^e	12.4	2.294 ^e
0.5	0.554	4.5	0.001663	8.5	1.621 ^e	12.5	2.052 ^e
0.6	0.4511	4.6	0.001507	8.6	1.441 ^e	12.6	1.851 ^e
0.7	0.3684	4.7	0.001314	8.7	1.355 ^e	12.7	1.661 ^e
0.8	0.3011	4.8	0.001228	8.8	1.213 ^e	12.8	1.498 ^e
0.9	0.2493	4.9	0.001011	8.9	1.072 ^e	12.9	1.344 ^e
1	0.2089	5	0.0009389	9	9.590 ^e	13	1.201 ^e
1.1	0.1749	5.1	0.0008251	9.1	8.580 ^e		
1.2	0.1478	5.2	0.0007401	9.2	7.677 ^e		
1.3	0.1259	5.3	0.0006607	9.3	6.870 ^e		

TABLEAU A.4 : NTGAMJ1 . TABLE DES VALEURS DE J POUR K(DOURY) = 0.814

<i>W</i>	<i>J 2</i>	<i>W</i>	<i>J 2</i>
0.0001	30.93	0.075	2.846E0
0.0002	25.61	0.08	2.739E0
0.0003	22.87	0.085	2.640E0
0.0004	21.07	0.09	2.548E0
0.0005	19.76	0.095	2.463E0
0.0006	18.73	0.1	2.383E0
0.0007	17.9	0.15	1.802E0
0.0008	17.2	0.2	1.440E0
0.0009	16.6	0.25	1.188E0
0.001	16.08	0.3	1.001E0
0.0015	14.19	0.35	8.569E ⁻¹
0.002	12.95	0.4	7.417E ⁻¹
0.0025	12.04	0.45	6.479E ⁻¹
0.003	11.34	0.5	5.701E ⁻¹
0.0035	10.76	0.55	5.046E ⁻¹
0.004	10.28	0.6	4.490E ⁻¹
0.0045	9.869	0.65	4.012E ⁻¹
0.005	9.51	0.7	3.599E ⁻¹
0.0055	9.193	0.75	3.239E ⁻¹
0.006	8.91	0.8	2.923E ⁻¹
0.0065	8.654	0.85	2.645E ⁻¹
0.007	8.422	0.9	2.400E ⁻¹
0.0075	8.209	0.95	2.181E ⁻¹
0.008	8.013	1	1.986E ⁻¹
0.0085	7.832	2	4.371E ⁻²
0.009	7.664	3	9.643E ⁻³
0.0095	7.506	4	2.639E ⁻³
0.01	7.359	5	7.665E ⁻⁴
0.015	6.257	6	2.315E ⁻⁴
0.02	5.538	7	7.181E ⁻⁵
0.025	5.015	8	2.258E ⁻⁵
0.03	4.609	9	7.346E ⁻⁶
0.035	4.281	10	2.400E ⁻⁶
0.04	4.007	11	7.924E ⁻⁷
0.045	3.774	12	2.639E ⁻⁷
0.05	3.571	13	8.855E ⁻⁸
0.055	3.393		
0.06	3.235		
0.065	3.092		
0.07	2.964		

TABLEAU A.5 : NTGAMJ2 , TABLE DES VALEURS DE J POUR K(DOURY) = 0.685

N	J	N	J
2.000E-6	1411	0.007	2.053E1
3.000E-6	1151	0.008	1.899E1
4.000E-6	996.5	0.009	1.773E1
5.000E-6	890.9	0.01	1.665E1
6.000E-6	813	0.02	1.088E1
7.000E-6	752.4	0.03	8.347E0
8.000E-6	703.6	0.04	6.852E0
9.000E-6	663.1	0.05	5.843E0
1.000E-5	628.9	0.06	5.105E0
2.000E-5	443.7	0.07	4.537E0
3.000E-5	361.6	0.08	4.084E0
4.000E-5	312.7	0.09	3.713E0
5.000E-5	279.3	0.1	3.402E0
6.000E-5	254.7	0.2	1.793E0
7.000E-5	235.5	0.3	1.150E0
8.000E-5	220.1	0.4	8.042E-1
9.000E-5	207.3	0.5	5.907E-1
1.000E-4	196.5	0.6	4.481E-1
2.000E-4	137.9	0.7	3.479E-1
3.000E-4	112	0.8	2.748E-1
4.000E-4	96.5	0.9	2.201E-1
5.000E-4	85.94	1	1.781E-1
6.000E-4	78.15	2	3.010E-2
7.000E-4	72.1	3	6.776E-3
8.000E-4	67.22	4	1.733E-3
9.000E-4	63.18	5	4.769E-4
1.000E-3	59.76	6	1.376E-4
2.000E-3	41.27	7	4.107E-5
3.000E-3	33.08	8	1.256E-5
4.000E-3	28.2	9	3.912E-6
5.000E-3	24.88		
6.000E-3	22.43		

TABLEAU A.6 : NTGAM/3 , TABLE DES VALEURS DE J POUR K(DOURY) = 0.5

ANNEXE B
LISTAGE DES FONCTIONS DE 'CALCONC'

∇ CALCONC;H0;SFX;TMETEO;TCONCM2;CD;PARM;NBFILS;TAUP;TMX;CDIF
[1] ATMOS
[2] CONCNOY
[3] FILIATIONS
[4] RESULT
∇

∇ ATMOS;M;CDIFN;SURH;HREJET;UVENT;LINV;RCALC
[1] ∞ VAR EXT :
[2] ∞ CALCUL DE CD :CONCENTRATION+DEPOT POUR VD=1
[3] INITCONC1
[4] $CD+(3,(\rho RCALC),0)\rho 0$
[5] $z(-SURH) / 'FPANACHE HREJET'$
[6] $M+1$
[7] LM:
[8] $zSURH / 'FPANACHE HREJET+SURHAUTEUR H0'$
[9] $CDIFN-CDIF[M]$
[10] $CD-CD, \rho UVENT[M] FCONC RCALC$
[11] $\rightarrow LM \times (1, \rho UVENT) \geq M+1$
[12] ∞ $z'CD', SFX, '+CD'$ ∞ CD VAR EXTERNE
[13] $0\rho EX \quad ' \quad ' \quad MAT \quad 'BJ1A240 \quad B72A240 \quad B72A3280 \quad B73A3280 \quad \underline{X} \quad \underline{B} \quad \underline{A}'$
[14] PARAM 1
∇

∇ CONCNOY;M;T;CONCIRM
[1] ∞ VAR EXT : CD[3;R;M]
[2] ∞ CALCUL DE TCONCM
[3] INITCONC2
[4] $z' TCONCM', SFX, '+((\rho LBDA), (1+\rho TMETEO)) \quad , (\rho CD)[2] \quad)\rho 0'$
[5] $CONCIRM+DEPDEF \quad CD$
[6] $M+1$
[7] LM:
[8] $T-(1+\rho TMETEO) \times TMETEO[;M] \cdot CONCIRM[;M]$
[9] $z' TCONCM', SFX, '+TCONCM', SFX, '+2 \quad 1 \quad 3 \rho T'$
[10] $\rightarrow LM \times (1+\rho TMETEO) \geq M+1$
[11] PARAM 2
∇

∇ FILIATIONS;M;T;CONCIRM
[1] ∞ CALCUL DES PROD DE FILIATION
[2] ∞ VAR EXT : CD[3;R;M]
[3] ∞ CALCUL DE TCONCM
[4] INITCONC3
[5] $\rightarrow FIN \times NBFILS=0$
[6] $TCONCM2-(\rho LBDA2), (1+\rho TMETEO), (\rho CD)[2] \rho 0$
[7] $CONCIRM+DEPDEFILS \quad CD$
[8] $M+1$
[9] LM:
[10] $T-(1+\rho TMETEO) \times TMETEO[;M] \cdot CONCIRM[;M]$
[11] $TCONCM2+TCONCM2+2 \quad 1 \quad 3 \quad \rho T$
[12] $\rightarrow LM \times (1+\rho TMETEO) \geq M+1$
[13] FIN:PARAM 3
∇

```

V INITCONC1:VENTF;R
[1] HREJET+R0+2[0,0p[+'HREJET: '
[2] SURH+10'+1+SBL [0,0p[+'SURHAUTEUR(OUI/NON) ? : '
[3] SURH/'SURHAUTEUR EST LE NOM DU PROG DE CALCUL DE H(CF DOC)'
[4] 'DANS L'ORDRE DU TABLEAU METEO : '
[5] UVENT+,[2][0,0p[+'VITESSES DE VENT DIFF.NORM. : '
[6] VENTF+,[2][0,0p[+'VITESSES DE VENT DIFF.FAIBLE : '
[7] UVENT+UVENT,VENTF
[8] CDIF+(01pUVENT)>pVENTF
[9] 'COUCHE DE MELANGE:DF=200,DN<5=2000,DN>5=1000'
[10] R+2[0,0p[+'OK ? : 1 SI OUI,SINON 3 VALEURS(0=INFINI) : '
[11] LINV+ 200 2000 1000
[12] 2(1+1+R)/'LINV+R'
[13] RCALC+,[2][0,0p[+'RAYONS DE CALCUL (METRES) ? : '
[14] ' '
V

```

```

V INITCONC2:T;N
[1] N+,[2][0,0p[+'NOMBRE DE PRODUITS INITIAUX : '
[2] LBDA+Np2[0,0p[+'LBDA : '
[3] VDEPOT+Np2[0,0p[+'VECTEUR VDEPOT(M/S) : '
[4] TMX+SBL [0,0p[+'TMETEO : '
[5] TMETEO+TMETEO+*/+TMETEO+2TMX
[6] SFX+SBL [0,0p[+'SUFFIXE DE TCONCM : '
[7] LBDW+Np2[0,0p[+'TAUX DE LAVAGE (S-1): '
[8] TAUP+2[0,0p[+'FREQUENCE RELATIVE DES PLUIES(SUR TOUS LES TEMPS) : '
[9] 'REPARTITION DES PLUIES SUR LES SITUATIONS METEO A DIFF.NORM.'
[10] T+2[0,0p[+'(v+1=CDIF),' NOMBRES : '
[11] TAUP+TAUP*T+*/T
[12] TAUP+CDIF\TAUP\(+/1=CDIF)++/TMETEO
[13] ' '
V

```

```

V INITCONC3
[1] +0+10=NEFILS+2[0,0p[+'NB DE PROD DE FILLIATION ? : '
[2] LBDA2+,[2][0,0p[+'LEDA DES PROD DE FILLIATION : '
[3] NPERES+,[2][0,0p[+'NOS D'ORDRE DES PERES DANS CD OU LBDA : '
[4] 'LA VITESSE DE DEPOT DES FILS = CELLE DES PERES '
[5] LBDW2+NEFILSp2[0,0p[+'TAUX DE LAVAGE DES FILS : '
[6] ' '
V

```

V FPANACHE H
[1] $K = 0.814 \ 0.685 \ 0.5 \ 0.5$
[2] $\bar{E}1 = H = 0$
[3] FPANACHO
[4] +0
[5] $E1 = B + (H * (1 - K) + K) + 0.74011 \ 1.6067 \ 28.284 \ 0.28284$
[6] $A + H = H + 0.48717 \ 2 \ 40 \ 0.4$
[7] $B J1A240 + B J2A240 + B J2A3280 + B J3A3280 + 0$
[8] $B J3A3280 + WFGAMJ3 \ A[3] + 3280$
[9] $B J2A3280 + WFGAMJ2 \ A[2] + 65576.3$
[10] $B J2A240 + WFGAMJ2 \ A[2] + 1823.43$
[11] $B J1A240 + WFGAMJ1 \ A[1] + 7498.7$
V

V FPANACHO;T;S
[1] $T = 240 \ 240 \ 3280 \ 3280$
[2] $S = 0.493543 \ 1 \ 1 \ 4.47214 \ *T + K[1 \ 2 \ 2 \ 3]$
[3] $B + T + S * 1 - K[1 \ 2 \ 2 \ 3]$
[4] $\bar{B} = 0, (-/B[1 \ 2]), (-/B), 0$
[5] $A + 4\rho 0$
V

V R=U FCONC X;T;M;D;I;TPS;LU;SZ;IAK;W;LIM
[1] n VAR EXTERNES:CDIFW,HREJET
[2] n VAR TRANSMISES:A,K,B(FPANACHE)
[3] n X EST UN VECTEUR DE DISTANCES
[4] $TPS = (X + X) + U$
[5] $IAK = (CDIFW * 1 + /TPS > 240 \ 3280) + 4 * -CDIFW$
[6] $T = TPS * 0.814 \ 0.685 \ 0.5 \ 0.5 [IAK]$
[7] $R = A [IAK] * T * T$
[8] $LIM = 115$
[9] $M = W < LIM$
[10] $SZ = 0.49354 \ 1 \ 4.47214 \ 0.447214 [IAK] + T$
[11] $R = M \setminus + 7.87481 * (M/W) = M/X * U * SZ$
[12] $LU = LINV (CDIFW * 2 + U < S) + -CDIFW$
[13] $M = (LU = 0) ASZ = 0.47 * LU$
[14] $R[M / \rho R] + (02) * LU * U * M / X$
[15] n CALCUL DU DEPOT
[16] $+E0 = HREJET = 0$
[17] $D = B [IAK] + TPS + SZ * 1 - K [IAK]$
[18] $\rightarrow FIN$
[19] $E0 = D + (\rho X) \rho 0$
[20] $I = 1$
[21] $E1 = M - IAK = I$
[22] $\rightarrow E2 = 0 = +/M$
[23] $z' [DM / \rho X] + WFGAMJ', '1234' [I], 'M/W'$
[24] $E2 = \rightarrow E1 * 14 \geq I + I + 1$
[25] FIN:
[26] n FACTEUR DE DEP = -D * VD
[27] $R = R, (D + 0.79788 * D), [1.1] \ TPS$
V

```
V R=NTGAMJ1 X;LIMAS;PAS;LIN;NLIM;M
[1] LIMAS=13
[2] →FIN×10=÷/M←X≥LIMAS
[3] PAS← 0.0001 0.001 0.01 0.1
[4] LIM← 0.0001 0.001 0.01 0.1
[5] NLIM← 1 10 19 28
[6] FIN:
[7] R←M·B[1]×NTGAMJ1 TABAPAS M/X
V
```

```
V R=NTGAMJ2 X;LIMAS;PAS;LIN;NLIM;M
[1] LIMAS=13
[2] →FIN×10=÷/M←X≥LIMAS
[3] PAS← 0.0001 0.0005 0.005 0.05 1
[4] LIM← 0.0001 0.001 0.01 0.1 1
[5] NLIM← 1 10 28 46 64
[6] FIN:
[7] R←M·B[2]×NTGAMJ2 TABAPAS M/X
[8] R←R·BJ1A240-BJ2A240
V
```

```
V R=NTGAMJ3 X;LIMAS;PAS;LIN;NLIM;M
[1] LIMAS=9
[2] →FIN×10=÷/M←X≥LIMAS
[3] PAS← 1E-6 0.00001 0.0001 0.001 0.01 0.1 1
[4] LIM← 2E-6 0.00001 0.0001 0.001 0.01 0.1 1
[5] NLIM← 1 9 18 27 36 45 54
[6] FIN:
[7] R←M·B[3]×NTGAMJ3 TABAPAS M/X
[8] R←R·BJ1A240+(BJ2A3280-BJ2A240)-BJ3A3280
V
```

```
V R=NTGAMJ4 X;LIMAS;PAS;LIN;NLIM;M
[1] LIMAS=9
[2] →FIN×10=÷/M←X≥LIMAS
[3] PAS← 1E-6 0.00001 0.0001 0.001 0.01 0.1 1
[4] LIM← 2E-6 0.00001 0.0001 0.001 0.01 0.1 1
[5] NLIM← 1 9 18 27 36 45 54
[6] FIN:
[7] R←M·B[4]×NTGAMJ3 TABAPAS M/X
V
```

```
V TABAPAS[ ]IV
V R=T TABAPAS X;N:P:IX
[1] * INTERPOLATION LOG DANS TABLE A PAS VAR
[2] * PAS, LIM, NLIM SONT LES VECTEURS DES PAS, DES
[3] * LIMITES GAUCHES ET DE LEUR INDICE DANS T
[4] →(R=0)×10=ρX
[5] P←PAS[N÷÷/X·≥LIM]
[6] N←NLIM[N]←(IX←(X-LIM[N]))÷P
[7] R←T[N]×*(IX-LX)÷/OT[N·+ 1 0]
V
```



```

V R=DEPDEC CDT;TPS;DEC;DEP;M;DEW
[1] VAR EXT : LBDA[I],VDEPOT[I],CDT[3;R;M]
[2] TPS+CDT[3;:]
[3] R*((pLBDA),(1+2+pCDT),0)p0
[4] M+1
[5] LM:
[6] DEW+1-(TAUP[M]++/TNETEO[;M])x1*-LBDW*.xTPS[;M]
[7] DEC+--(LBDA*LBDA>1E^7)*.xTPS[;M]
[8] DEP+--VDEPOT*.xCDT[2;M]
[9] R+R,((pDEP)pCDT[1;M])xDEP*DEC*DEW
[10] +LM*x(1+pTPS)>M+M+1
V

```

```

V R=DEPDECFLS CDT;TPS;DEC;DEP;DEW;DE;LBD12;ALBD;M;NR
[1] VAR EXT : LBDA2[I],VDEPOT2[I]; CDT[3;R;M]
[2] NR+1+pTPS+CDT[3;:]
[3] R*((pLBDA2),(1+2+pCDT),0)p0
[4] M+1
[5] LM:
[6] ALBD+--/LBD12+LBDA[NPERES],[1.1] LBDA2
[7] DEC+(-/[2]*-(pLBD12)*.xTPS[;M])+ALBD*.+NRp0
[8] ALBD+--/LBD12+LBD12+LBDW[NPERES],[1.1] LBDW2
[9] DEW+(-/[2]*-(pLBD12)*.xTPS[;M])+ALBD*.+NRp0
[10] DE+((1-TAUP[M])xDEC)+TAUP[M]xDEW
[11] DEP+--VDEPOT[NPERES]*.xCDT[2;M]
[12] R+R,((pDEP)pCDT[1;M])xDEP*DE*(LBDA[NPERES]+ALBD)*.
[13] +LM*x(1+pTPS)>M+M+1
V

```

```

V RESULT;ACT
[1] 2'CD',SFX,'+CD'
[2] +LQ+1,NBFILS=0
[3] 'CONCENTRATION DES FILS RAMENEES A LA MASSE DES PERES.'
[4] ACT+10=1+SBL [0,p] + 'FAUT IL PASSER AUX ACTIVITES(OUI/NON) ? : '
[5] +L1*x1-ACT
[6] TCONCM2+TCONCM2*(LBDA2+LBDA[NPERES])*+.+(1+pTCONCM2)p0
[7] L1:2'TCONCM',SFX,'-TCONCM',SFX,'.[1]TCONCM2'
[8] LQ+>FIN*x10=1+SBL [0,p] + 'SORTIES(OUI OU NON) ? : '
[9] EDITCONCM
[10] FIN:
[11] 2'PARM',SFX,'+PARM'
[12] 'EN MEMOIRE : TCONCM',SFX,';PARM',SFX,';CD',SFX
V

```

ANNEXE C

COMMENTAIRES DES FONCTIONS DE CALCONC

I - SYMBOLES ET NOTATIONS

C = concentration sans appauvrissement

D = paramètre du dépôt sec

Le facteur d'appauvrissement dû au dépôt sec $E_D(x)$ est :

$$E_D(x) = \exp \{ - v_D \cdot D(x) \}$$

TPS = temps de transfert du panache de la source au point d'observation

M = condition météorologique

R = rayon (ou couronne) du découpage

L = radionucléide ou produit parent (ou initial)

L2 = produit descendant.

II - PROGRAMMES

Le listage suivant est extrait de la partie commentaire des fonctions utilisées par le programme.

ATMOS;M;CDIFN;SURH;HREJET;UVENT;LINV;RCALC

APPELE PAR CALCONC
CALCULE CD(3;R;M)
APPELLE INITCONC1 FPARACHE[SURHAUTEUR] FCONC
VAR EXT : CD HO CDIF SURH HREJET UVENT RCALC
EFFACE A K B ET BJA... (CALCULES PAR FPARACHE)

CALCONC;HO;SFX;TMETEO;TCONCM2;CD;PARM;NBFILS;TAUP;TMO;CDIF

MODULE APPELLANT
CALCULE CDSEFX ET TCONCMSFX
APPELLE ATMOS CONCMOY FILIATIONS RESULT
VAR EXT : CDSEFX TCONCMSFX LBDA LBDA2 VDEPOT LBW LBW2
SFX:SUPPXE UTILISATEUR

CONCMOY;M;T;CONCIEM

APPELE PAR CALCONC
CALCULE TCONCM(L;T;R) : CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES(SM³)
APPELLE INITCONC2 DEPDEC
VAR EXT : TMETEO(T;M) LBDA

R-DEPDEC CDT ; TPS;DEC;DEP;M;DEW

APPELE PAR CONCMOY
CALCULE LE TABLEAU(L;R;M) DES COEF D APPAUVRISSEMENT
CDT:TABLEAU(3;R;M) CONSTRUIT PAR ATMOS=CONCENTRATIONS
SANS APPAUVRISSEMENT,COEF DE DEPOT SEC,DUREES DE TRAJET
VAR EXT : LBDA TAUP TMETEO LBW VDEPOT

R-DEPDECFILS CDT;TPS;DEC;DEP;DEW;DE;LBD12;ALBD;M;NR

APPELE PAR FILIATIONS
CALCULE LE TABLEAU(L2(NB DE FILS);R;M) DES COEF D APPAUVRISSEMENT
LE TERME SOURCE EST SUPPOSE EXPRIME EN MASSE DU PERE
CDT:TABLEAU(3;R;M) CONSTRUIT PAR ATMOS(VOIR DEPDEC)
VAR EXT : LBDA2 VDEPOT LBDA LBW LBW2 TAUP

R-U FCONC X;T;M;D;I;TPS;LU;SZ;IAK;W;LIN

APPELE PAR ATMOS
CALCULE LE TABLEAU(R;3) DES CONCENTRATIONS C,COEF DE DEPOT SEC D
DUREES DE TRAJET TPS POUR LES DISTANCES X[METRES]
VAR EXT : CDIFN(1 = DIFFUSION NORMALE) LINV HREJET
A B K(CALCULES PAR FPARACHE OU FPARACHO)
VAR INT : SZ = ECART TYPE VERTICAL
IAK=1.2 OU 3(CD DE DIFF NORMALE) OU 4(CD DIFF FAIBLE)

FILIATIONS;M;T;CONCIRM

APPELE PAR CALCONC
CALCULE TCONCM2[L2;T;R] POUR LES PRODUITS FILS(VOIR CONCMOY)
APPELE INITCONC3 DEPDECFILS
VAR EXT : CD TMTEO TCONCM2 NBFILS
VAR INT : CONCIRM = TABLEAU[L2;R;M]DES CONCENTRATIONS A MOYENNER

FPANACHE H

APPELE PAR ATMOS
CALCULE K B A ET LES BJΔ.VALEURS INTERVENANT DANS LE CALCUL DE
C ET D PAR FCONC
APPELE FPANACHO SI H=0
-----NFGAMJ1 NFGAMJ2 NFGAMJ3

FPANACHO;T;S

APPELE PAR FPANACHE
CALCULE A B K UTILISES PAR FCONC(SI H=0) AU CALCUL DE C ET D

INITCONC1;VENTF;R

APPELE PAR ATMOS
ENTREE CONVERSATIONNELLE DE
HREJET[METRES]=H0
SURH..[0 OU 1]=1 SI ON A UNE SURHAUTEUR
UVENT.[M.S⁻¹] =VITESSE DU VENT
CDIF..[0 OU 1]=1 SI DIFFUSION NORMALE(0 SINON)
LINV..[METRES]=3 HAUTEURS DE MELANGE(0 SI INFINIE)
RCALC.[METRES]=RAYONS(DISTANCES)DE CALCUL

INITCONC2;T;H

APPELE PAR CONCMOY
ENTREE CONVERSATIONNELLE DE
LBDA..[S⁻¹] = CONSTANTE DE DECROISSANCE
VDEPOT.[M/S] =VITESSE APPARENTE DE DEPOT SEC
TMTEO.[T;M] =FREQUENCEAN DES COUPLES(VIT.DE VENT,CD DE DIFF)
..... LE TABLEAU EST NORMALISE A SOMME = 1
SEFX..... =SUFFIXE(UTILISATEUR)DE CD ET TCONCM
LEDW...[S⁻¹] = TAUX DE LAVAGE
TAUP...[---] = PROPORTION DES PLUIES POUR CHAQUE CD METEO

INITCONC3

APPELE PAR FILIATIONS
ENTREE CONVERSATIONNELLE DE
NBFILS[---]=NB DE PRODUITS DE FILIATION
LBDA2.[S⁻¹] = CONSTANTES DE DECROISSANCE DES FILS
NPERES..... = INDICES DES PRODUITS PARENTS DANS LBDA...
LEDW2[S⁻¹]=TAUX DE LAVAGE DES FILS

R=NFGAMJ1 X;LIMAS;PAS;LIM;NLIM;M
R=NFGAMJ2 X;LIMAS;PAS;LIM;NLIM;M
R=NFGAMJ3 X;LIMAS;PAS;LIM;NLIM;M
R=NFGAMJ4 X;LIMAS;PAS;LIM;NLIM;M

APPELE PAR FCONC(ET PAR FSPANACHE)
CALCULE LES COEF DE DEPOT POUR UN VECTEUR DE DISTANCES
NFGAMJ EST SELECTIONNE SELON(TPS-U+Y) ET LA CD METEO
APPELE TABAPAS QUI INTERPOLE DANS LA TABLE NTGAMJ
VAR EXT : NTGAMJ(1 A 3)= VALEURS DE L INTEGRALE J
VAR INT : PAS=PAS,LIM=LIMITE GAUCHE,NLIM=INDICE DANS NTGAMJ
.....POUR CHAQUE ZONE DE PAS DIFFERENT(VOIR TABAPAS)

RESULT;P

APPELE PAR CALCONC
MEMORISE ET(SUR DEMANDE) SORT LES TABLEUX
A PELLE EDITCONCM=MODULE D EDITION AU CHOIX DE L UTILISATEUR
TABLEUX EDITES (OU MEMORISES) :
CDSFX[3;R;M]=VALEURS DES CONCENTRATIONS ET COEF DE DEPOT SEC
TCONCMSFX[L;T;R]=VALEUR DES CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES

R=T TABAPAS X;N;P;XN

APPELE PAR NFGAMJ
CALCULE EN INTERPOLANT LOGARITHIQUEMENT DANS LA TABLE T
P.S:VECTEUR DES PAS DES ZONES SUCCESSIVES DE T(DE PAS CONTANT)
LIM:LIMITES GAUCHES DES ZONES DE PAS DONNE
NLIM:INDICE DANS T DES VALEURS LIM(NLIM[1]=1)



Achévé d'imprimer
par
le CEA, Service de Documentation, Saclay
Mai 1983

DEPOT LEGAL
2ème trimestre 1983

ISSN 0429 - 3460

La diffusion des rapports et bibliographies du Commissariat à l'Energie Atomique est assurée par le Service de Documentation, CEN-Saclay, 91191 Gif-sur-Yvette Cédex, (France)

Reports and bibliographies of the Commissariat à l'Energie Atomique are available from the Service de Documentation, CEN-Saclay, 91191 Gif-sur-Yvette Cédex, (France)



Fidèle par

le Service de Documentation

Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay

91191 GIF-sur-YVETTE Cédex (France)

