

FUMIGATION DES ARBRES SOUS
BACHES PERMEABLES
*DETERMINATION DE LA QUANTITE
DE FUMIGANT*

NGUYEN MINH *

SOMMAIRE

Introduction

Première partie

- I. Débit d'un gaz à travers une membrane poreuse. Rappels
- II. Cas de la fumigation sous bâches perméables
- III. Détermination de Δ_m en ne tenant compte que de la perte par diffusion
 - a. Variation de la concentration sous la bâche
 - b. Détermination de Δ_m
 - c. Perméabilité de la bâche

Seconde partie

- I. Une expression plus générale de Δ
- II. Arbres de même volume mais de surface différente
- III. Arbres de même rapport surface/volume
- IV. Arbres quelconques. Même dose de traitement
- V. Cas général

Résumé

* Ingénieur agronome, chef de la station de base de bioclimatologie,
Al Awamia, 19, pp. 41-66, avril 1966.

INTRODUCTION

« La fumigation des arbres recouverts de bâches est une des premières applications heureuses de la chimie dans la lutte contre les insectes. Entre 1884 et 1886, différents gaz furent utilisés pour le traitement sous bâche des agrumes afin de les débarasser des cochenilles. Au cours des années suivantes, l'acide cyanhydrique, produit à cette époque par l'action de l'acide sulfurique sur le cyanure de potassium, s'est révélé le plus prometteur et a toujours été utilisé depuis. » (QUAYLE 1938 [8]).

« Entre 1886 et 1950, la fumigation sous bâche par l'acide cyanhydrique a été la méthode la plus utilisée pour la destruction des cochenilles des agrumes dans toutes les parties du monde où ces derniers sont cultivés. Récemment, cette méthode a perdu de sa popularité dans certains pays, essentiellement pour des raisons économiques. Cependant, elle est toujours considérée par les spécialistes de l'entomologie des agrumes comme la méthode la plus efficace pour la destruction des cochenilles... La méthode est encore utilisée dans les pays où la main-d'œuvre est abondante ou dans ceux où les conditions de culture favorisent son emploi.

« Pendant de nombreuses années, les bâches pour la fumigation des arbres étaient faites en toile tissée à maille serrée de bonne qualité. On utilise des tissus de différents poids ; les bâches les plus lourdes sont plus difficiles à manipuler mais gardent le gaz plus longtemps et se conservent mieux. Récemment d'autres matériaux sont apparus, comme par exemple le G 48 Super Calicot et le tissu en nylon plastifié... Il faut souligner que lorsqu'on utilise ces matériaux nouveaux, plus imperméables au gaz que la toile, il est indispensable, pour la sécurité du personnel, d'utiliser un turbo-ventilateur pour évacuer à la fin du traitement le gaz emprisonné sous la bâche [2] ».

Nous nous bornons dans cette étude à rechercher une méthode de détermination de la quantité Λ (en poids) de fumigant (HCN) à mettre sous bâche perméable pour des arbres (agrumes) de taille et de forme données.

Disons tout d'abord qu'une formule $\Lambda = CV$ où C est la concentration théorique (dosage) et V le volume de l'arbre ne convient naturel-

lement que pour les bâches imperméables. Pour les bâches perméables WOGLUM [10] a proposé

$$\left\{ \begin{array}{l} \Lambda = u \cdot S \\ u = \frac{\Lambda^*}{S^*} \end{array} \right.$$

S étant la surface de la bâche (surface apparente de l'arbre lorsqu'il est recouvert d'une bâche), l'indice * correspondant à l'arbre sur lequel a été effectuée l'expérimentation (arbre-type) que l'auteur avait pris, $V^* = 30 \text{ m}^3$ et $S = 38 \text{ m}^2$. Or, une telle formule est théoriquement injustifiable si on veut l'appliquer de façon générale à des arbres de formes diverses (dont les rapports surface/volume différent).

Nous nous proposons de revenir à une approche analytique conduisant à une méthode de détermination plus rationnelle.

Les phénomènes entrant principalement en ligne de compte sont d'abord la perte de gaz par diffusion à travers la bâche et ensuite les sorptions par la bâche et par l'arbre. Cela diminue d'autant la concentration de fumigant (pression partielle) sous la bâche et par suite, l'efficacité du traitement.

Une étude analytique simultanée de ces phénomènes est complexe. Nous avons adopté une méthode moins rigoureuse en séparant les deux facteurs.

Dans la première partie, nous n'envisageons que la perte par diffusion; dans la seconde partie, nous introduisons un facteur correctif dû aux phénomènes de sorption et nous proposons une méthode de détermination de la quantité Λ de fumigant grâce aux abaques qui pourront être construits à l'aide de données résultant de l'expérimentation à effectuer sur deux arbres types.

PREMIERE PARTIE

I. Débit d'un gaz à travers une membrane poreuse. Rappels

Soit un gaz de masse moléculaire M isolé de l'espace extérieur par une membrane inextensible. Il est sous une pression p .

a. Si la membrane est trouée de pores dont le diamètre n'excède pas la longueur de libre parcours moyen moléculaire λ du gaz à la pression p (λ est de l'ordre de 500 à 1 000 Å ou si on préfère de 0,00005 à 0,0001 mm à la pression ordinaire), le débit ou effusion du gaz est donné par

$$q = \frac{n}{N_0} = \frac{RT}{2\pi M} \exp \left\{ - \frac{m\bar{u}^2}{RT} \right\}$$

n : nombre de molécules sorties

N_0 : nombre initial de molécules

R : constante du gaz

T : la température du gaz dans l'échelle Kelvin

m : la masse d'une molécule

\bar{u} : vitesse quadratique moyenne des molécules

Pour un mélange de deux gaz (1) et (2) ayant le même nombre de molécules au départ, à l'équilibre thermique, on a :

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{M_2}{M_1} = \frac{1}{d(1/2)}$$

$d(1/2)$ étant la densité du gaz (1) par rapport au gaz (2). C'est une expression particulière de la loi de Graham dont l'énoncé plus général est :

$$m_1 \bar{u}_1^2 = m_2 \bar{u}_2^2 = m_n \bar{u}_n^2$$

pour un mélange de plusieurs gaz à l'équilibre thermique.

b. Si le diamètre des pores est supérieur à 1, le gaz s'échappe, par écoulement dû à la différence de pression totale Δp avec l'extérieur, suivant la loi de Poiseuille

$$q = N \frac{\pi r^4 \Delta p}{8 \eta L}$$

q : débit en volume par unité de temps

r : rayon des pores

η : coefficient de viscosité cinématique du gaz

L : épaisseur de la membrane

N : Nombre de pores par unité de surface

c. Si le diamètre des pores est supérieur à 1 et si la différence de pression totale Δp avec l'extérieur est nulle, le gaz diffuse à l'extérieur suivant la loi de Fick dont l'expression générale est :

$$q = - D \frac{dC}{dx}$$

q : flux de matière par unité de surface pendant l'unité de temps.

D : coefficient de diffusion moléculaire d'un gaz dans un autre gaz au repos, à une certaine température.

$\frac{dc}{dx}$: gradient de concentration dans l'axe d'écoulement.

A travers un corps poreux on a :

$$q = - \frac{D\epsilon}{T} \frac{D\epsilon}{dx}$$

ϵ : porosité

T : facteur de tortuosité (généralement = $\sqrt{2}$)

A travers une membrane poreuse, le milieu extérieur étant l'atmosphère libre dans les conditions naturelles

$$q = - D\epsilon \frac{C - C_a}{\Delta n}$$

C : concentration instantanée sous la bâche

$C_a = 0$ pour une distance Δn de la bâche dans l'atmosphère libre.

II. Cas de la fumigation sous bâches perméables

Dans les conditions normales de fumigation il n'y a pas de surpression totale entre l'atmosphère sous bâche et l'atmosphère extérieur, du moins si le dégagement de HCN ne se fait pas d'une manière violente. Le départ de ce gaz vers l'atmosphère extérieur obéit donc à la loi de Fick.

III. Détermination de Δ_m en ne tenant compte que de la perte par diffusion

Supposons que l'étude en laboratoire, en enceinte étanche ou sous circulation de gaz à pression constante, [1], [4], [5] nous donne une valeur $p_0 = \frac{M}{RT} C_0$ à appliquer pendant un laps de temps Δt pour que la mortalité soit suffisante (1). Le problème est de connaître la quantité Δ_m de HCN que l'on doit mettre sous bâche pour un arbre donné pour qu'il y règne une concentration C_0 pendant un laps de temps au moins égal à Δt et tenant compte de la déperdition par diffusion.

Nous négligerons dans ce paragraphe la diminution de la pression partielle de HCN par adsorption par la bâche et par l'arbre.

Nous connaissons :

$\Delta t = t_1 - t_0$: temps théorique de traitement

$C_0 = \frac{M}{RT} p_0$: concentration létale

D : coefficient moyen de diffusion de HCN dans l'air calme, à température ordinaire.

ϵ : porosité de la bâche.

$\varphi =$: rapport surface/volume de l'arbre [6].

V_m vitesse moyenne de dégagement de HCN (variation moyenne par unité de temps de concentration sous bâche si la bâche était imperméable). Cette vitesse de dégagement chimique de HCN sera supposée uniforme.

(1) BOND et MONRO [2] citent pour le bromure de méthyle une relation entre C_0 et Δt , de la forme :

$$C_0 \cdot \Delta t = K_T$$

K_T étant une constante ne dépendant que de l'espèce traitée et de la température.

a. — Variation de la concentration de HCN sous la bâche

L'allure de la variation de la concentration de HCN sous la bâche est représentée par la courbe de la figure 1 dont l'équation est :

— équation de la branche DC'B :

La variation de la quantité de HCN qui se trouve à l'état gazeux entre les instants t et $t + dt$ est :

$$d\Delta = V \cdot v_m dt = VdC + \frac{D SCdt}{\Delta n}$$

$$\text{soit } \begin{cases} v_m = \frac{dC}{dt} + \frac{\varphi D \epsilon C}{\Delta n} \\ \varphi = \frac{S}{V} \end{cases}$$

équation différentielle de la concentration en fonction du temps dont la solution est :

$$C = \frac{v_m \cdot \Delta n}{\varphi \cdot D \cdot \epsilon} \left[1 - \exp. \left\{ - \frac{\varphi D \epsilon t}{\Delta n} \right\} \right] \quad (1)$$

— équation de la branche BD :

Au point B (t_m) le dégagement de HCN est terminé, la baisse de concentration due à la diffusion de Fick pendant un laps de temps dt s'écrit :

$$dC = - \frac{\varphi D \epsilon C}{\Delta n} dt$$

équation différentielle dont la solution est ici :

$$\begin{cases} C = C_m \exp. \left\{ - \frac{\varphi D \epsilon}{\Delta n} (t - t_m) \right\} \\ t - t_m \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

C_m étant la concentration maximale réelle sous bâche.

Une telle courbe a été trouvée expérimentalement par beaucoup d'auteur, dont LESPES [6].

b. — Détermination de Δ_m .

La quantité Δ_m de HCN à mettre sous bâche pour que la courbe

de variation de la concentration en ce gaz sous la bache égale puis reste supérieure à la concentration léthale C_o pendant un intervalle de temps Δt est telle que

$$\Delta_m = C_m = V_m \cdot t_m$$

Ce qui revient à déterminer $t_{(m)}$. Pour cela on élimine C_m entre les équations (1) et (2).

L'équation (1) donne à l'instant t_m :

$$C_m = \frac{\Delta n \cdot v_m}{\varphi D \epsilon} \left[1 - \exp. - \left\{ \frac{\varphi D \epsilon}{\Delta n} t_{(m)} \right\} \right] \quad (1')$$

et l'équation (2) à l'instant $t_1 = t_o + \Delta t$:

$$C_m = C_o \exp. \left\{ \frac{\varphi D \epsilon}{\Delta n} (t_o + \Delta t - t_m) \right\} \quad (2')$$

d'où l'élimination de C_m entre (1)' et (2)', qui donne :

$$t_m = \frac{\Delta n}{\varphi D \epsilon} \ln \left[1 + \frac{\varphi D \epsilon C_o}{\Delta n \cdot V_m} \exp. \left\{ \frac{\varphi D \epsilon}{\Delta n} (t_o + \Delta t) \right\} \right] \quad (4)$$

On élimine maintenant t_o . D'après (1) on a, à l'instant t_o :

$$\begin{cases} \frac{\varphi D \epsilon t_o}{\Delta n} = - \ln \left(1 - \frac{\varphi D \epsilon C_o}{\Delta n \cdot v_m} \right) \\ \frac{\varphi D \epsilon C_o}{\Delta n \cdot v_m} < 1 \end{cases} \quad (5)$$

cette équation s'écrit encore :

$$\exp. \left\{ \frac{\varphi D \epsilon t_o}{\Delta n} \right\} = \frac{\Delta n \cdot v_m}{\Delta n \cdot v_m - \varphi D \epsilon C_o} \quad (5)'$$

ou

$$\exp. \left\{ \frac{\varphi D \epsilon t_o}{\Delta n} (t_o + \Delta t) \right\} = \frac{\Delta n \cdot v_m}{\Delta n \cdot v_m - \varphi D \epsilon C_o} \exp. \left\{ \frac{\varphi D \epsilon \Delta t}{\Delta n} \right\} \quad (5)''$$

l'équation (4) s'écrit alors en tenant compte de (5)'' :

$$t_{(m)} = \frac{\Delta n}{\varphi D \epsilon} \ln \frac{1 - \frac{\varphi D \epsilon C_o}{\Delta n \cdot v_m} \left[1 - \exp. \left\{ \frac{\varphi D \epsilon \Delta t}{\Delta n} \right\} \right]}{1 - \frac{\varphi D \epsilon C_o}{\Delta n \cdot v_m}} \quad (6)$$

La quantité $\Lambda_{(m)}$ de HCN à mettre sous l'arbre est parfaitement déterminée par les équations (3) et (6). Mais l'expression de $\Lambda_{(m)}$ ainsi déterminée est compliquée, elle peut se simplifier si on connaît les ordres de grandeur des différents paramètres. Pour fixer les idées, donnons nous (en système d'unités CGS) :

(1) φ	10^{-2}	(T)
(2) Δt	10^{-3}	(L ⁻¹)
(3) $\frac{D \epsilon}{\Delta n}$	10^{-2}	(T ⁻¹)
C_o	10^{-6}	(M. L ⁻³)
(4) v_m	$10^{-8} - 10^{-7}$	(M.L ⁻³ . T ⁻¹)

alors

$\frac{\varphi D \epsilon C_o}{\Delta n \cdot v_m}$	$10^{-5} - 10^{-3}$ (sans dimension)
$\frac{\varphi D \epsilon \Delta t}{\Delta n}$	$10^{-3} - 10^{-1}$ > >

On peut dans ces conditions simplifier l'expression (6) donnant t_m en prenant le premier terme du développement du dénominateur figurant sous le logarithme :

$$t_m = \frac{\Delta n}{\varphi D \epsilon} \ln \left\{ \left[1 - \frac{\varphi D \epsilon C_o}{\Delta n \cdot v_m} (1 - \exp. \left\{ \frac{\varphi D \epsilon \Delta t}{\Delta n} \right\}) \right] \left(1 + \frac{\varphi D \epsilon C_o}{\Delta n \cdot v_m} \right) \right\}$$

ou :

$$t_m = \frac{\Delta n}{\varphi D \epsilon} \ln \left\{ 1 + \frac{\varphi D \epsilon C_o}{\Delta n \cdot v_m} \exp. \left\{ \frac{\varphi D \epsilon \Delta t}{\Delta n} \right\} - \left(\frac{\varphi D \epsilon C_o}{\Delta n \cdot v_m} \right)^2 + \left(\frac{\varphi D \epsilon C_o}{\Delta n \cdot v_m} \right)^2 \exp. \left\{ \frac{\varphi D \epsilon \Delta t}{\Delta n} \right\} \right\}$$

(1) Pour calculer le volume et la surface de l'arbre, on assimile la bache à un cylindre surmonté d'un hémisphère [6].

(2) d'après les expériences en enceinte étanche sur le Pou de San José, GEIER et MATHYS [4].

(3) BELLIO (cité par LESPES [6]) donne une perte par diffusion de 1,5 g en 50 min. par m² de surface d'une bache de type courant à la température ordinaire. En supposant que la concentration à laquelle opère l'auteur varie de 5 à 1 g/m³ on a :

$$\frac{D \epsilon}{\Delta n} = \frac{q}{C \cdot S \cdot t} = \frac{1,5}{50 \times 60 \times 2,5 \times 10^{-6} \times 10^4} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ sec}^{-1}$$

(4) Ce qui correspond à un dégagement de HCN donnant 10 g/m³ par min. [6].

en négligeant les deux derniers termes de l'expression entre crochets :

$$t_m = \frac{\Delta n}{\varphi D \epsilon} \ln \left\{ 1 + \frac{\varphi D \epsilon C_o}{\Delta n \cdot v_m} \exp. \left\{ \frac{\varphi D \epsilon \Delta t}{\Delta n} \right\} \right\}$$

et comme :

$$X = \frac{\varphi D \epsilon C_o}{\Delta n \cdot v_m} \exp. \left\{ \frac{\varphi D \epsilon \Delta t}{\Delta n} \right\} = 10^{-5} \text{ à } 10^{-3} < 1 \quad (7)$$

on peut prendre le développement en série de $\ln(1 + X)$:

$$= \frac{\Delta n}{\varphi D \epsilon} \left[\frac{\varphi D \epsilon C_o}{\Delta n \cdot v_m} \exp. \left\{ \frac{\varphi D \epsilon \Delta t}{\Delta n} \right\} - \frac{1}{2} \left(\frac{\varphi D \epsilon C_o}{\Delta n \cdot v_m} \right)^2 \exp. \left\{ 2 \frac{\varphi D \epsilon \Delta t}{\Delta n} \right\} + \dots \right]$$

finalement, en ne gardant que le terme du premier ordre on a :

$$t_{(m)} = \frac{C_o}{V_m} \exp. \left\{ \frac{\varphi D \epsilon \Delta t}{\Delta n} \right\} \quad (8)$$

en prenant cette valeur de $t_{(m)}$ dans (3) :

$$\Lambda_m = V \cdot C_o \exp. \frac{\varphi D \epsilon \Delta t}{\Delta n}$$

avec :

$$t_1 = \Delta t + t_o < \Delta t + t_m$$

$$\text{ou } t_1 = \Delta t + \frac{C_o}{v_m} \exp. \left\{ \frac{\varphi D \epsilon \Delta t}{\Delta n} \right\}$$

$$\text{Comme } \varphi = \frac{S}{V} = \frac{L^2}{L^3} = V^{-1/3}, \text{ alors } \frac{\varphi D \epsilon \Delta t}{\Delta n} = k V^{-1/3},$$

nous voyons que l'allure de variation de Λ_m en fonction de V peut être donnée par l'équation :

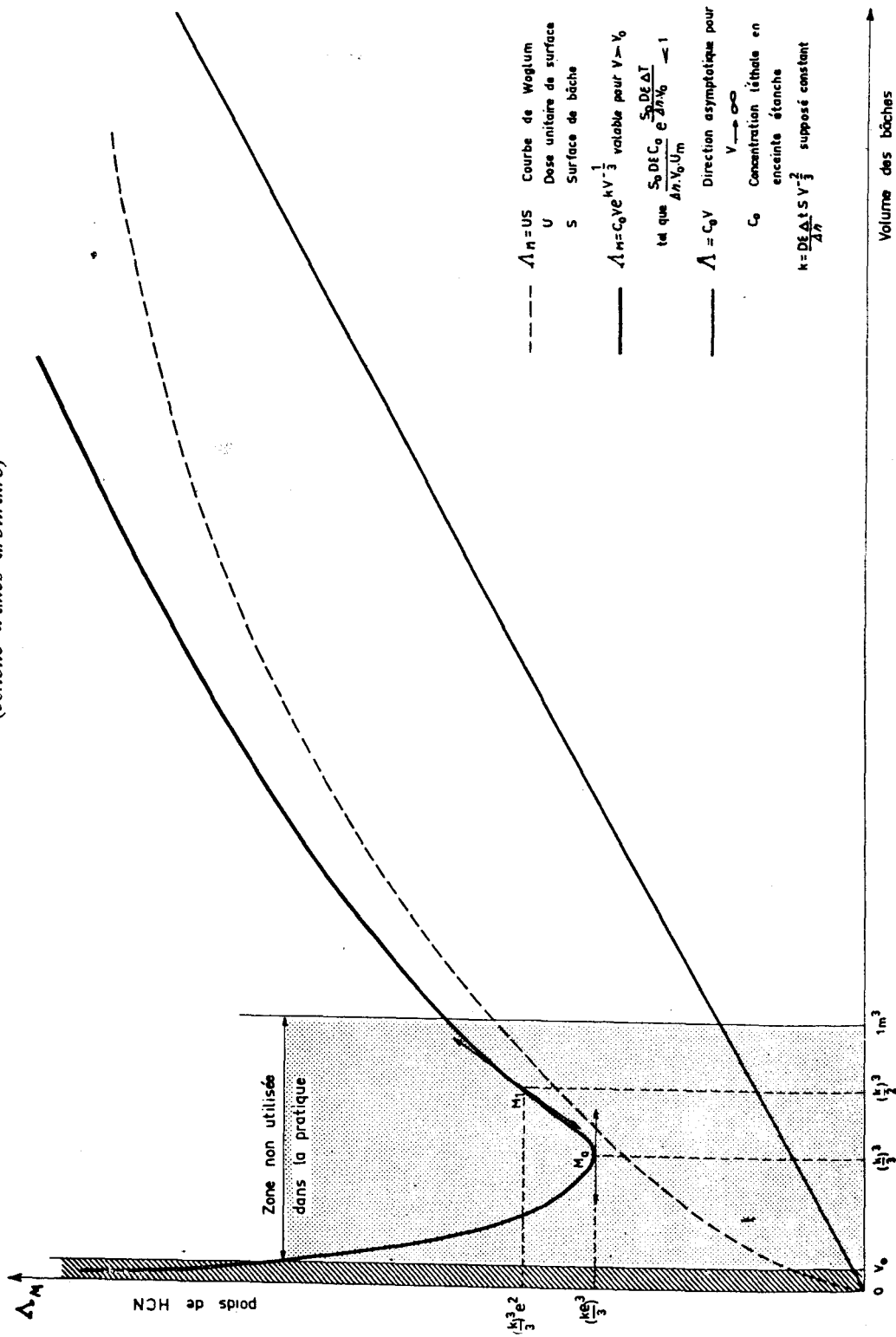
$$\left\{ \begin{array}{l} \Lambda_m = C_o V \exp. \left\{ k V^{-1/3} \right\} \\ k = k_1 \cdot \frac{D \epsilon \Delta t}{\Delta n} \end{array} \right.$$

la courbe admet une branche parabolique dans la direction $\Lambda_m = C_o V$ et non pas dans la direction des V comme dans la formule de WOGLUM (FIG. 2)

$$\Lambda = u S = k \cdot V^{2/3}$$

GRAPHIQUE 2

Allure de variation de la dose de H C N en fonction du volume
(échelle d'axes arbitraire)



c. — Perméabilité de la bâche

— Il faut que la concentration maximale réelle C_m sous la bâche soit inférieure à une limite C_d supportable sans dommage pour la plante. D'après l'équation (2) nous pouvons exprimer cette condition :

$$\frac{\varphi D \epsilon}{\Delta n} (t_1 - t_m) = 1n \frac{C_m}{C_o} \leq 1n \frac{C_d}{C_o}$$

et puisque $t_1 - t_m < \Delta t$, la condition sera a fortiori remplie si :

$$\frac{\varphi D \epsilon \Delta t}{\Delta n} \leq 1n \frac{C_o}{C_d}$$

ou

$$\frac{D \epsilon}{\Delta n} \leq \frac{\varphi \Delta t}{1n C_d - 1n C_o}$$

— Par ailleurs, il faut qu'au bout d'un temps T assez court, les opérateurs puissent enlever la bâche sans risque d'intoxication. La concentration finale sous bâche doit descendre à une fraction n de C_o par exemple :

$$\frac{\varphi D \epsilon}{\Delta n} (T - t_m) \simeq \frac{\varphi D \epsilon}{\Delta n} \cdot T \geq 1n n \frac{C_m}{C_o}$$

ou

$$\frac{D \epsilon}{\Delta n} \leq \frac{1n C_d - 1n C_o + 1n n}{\varphi T}$$

soit

$$2,3 \frac{1g C_d - 1g C_o + 1g n}{\varphi T} \leq \frac{D \epsilon}{\Delta n} \leq 2,3 \frac{1g C_d - 1g C_o}{\varphi \Delta t}$$

ou

$$2,3 \cdot \frac{\Delta n}{D} \cdot \frac{1g C_d - 1g C_o + 1g n}{\varphi T} \leq \epsilon \leq 2,3 \frac{\Delta n}{D} \cdot \frac{1g C_d - 1g C_o}{\varphi \Delta t}$$

La perméabilité de la bâche (porosité) doit donc rester à l'intérieur des limites définies par cette double inégalité.

SECONDE PARTIE

I. Une expression plus générale de Λ

Nous avons négligé jusqu'à présent les phénomènes d'absorption et d'adsorption. Si maintenant nous voulons en tenir compte il nous faudra examiner leurs influences réciproques avec la diffusion. Mais une telle méthode est analytiquement trop lourde et de toute façon illusoire, car la loi de variation de concentration de HCN avec le temps due aux sorptions est mal connue. Nous pouvons cependant admettre que la quantité de HCN correcte est la somme de deux termes : de $\Lambda_{(m)}$ qui ne tient compte que de la diffusion et de Λ_a qui compense les sorptions :

$$\Lambda = \Lambda_m + \Lambda_a \qquad \Lambda = \Lambda_m + \Lambda_a \qquad (11)$$

L'expression la plus simple de $\Lambda_{(a)}$ est l'équation classique de l'isotherme d'adsorption :

$$\left\{ \begin{array}{l} \Lambda_a = M K_{(t)} C \frac{1}{n} = C \cdot V \cdot K_{(c)} \\ K_{(c)} = \rho K_{(t)} C \frac{1-n}{n} \end{array} \right. \qquad (12)$$

M : masse du corps adsorbant

$K_{(t)}$: une constante dépendant de la température

C : concentration du gaz adsorbé à l'équilibre

n un paramètre généralement supérieur à l'unité et dépendant de la nature du corps adsorbant

$\rho = \frac{M}{V}$ la masse du végétal adsorbant divisée par le volume apparent V de l'arbre (de la bûche). On peut admettre que, pour un type d'arbre donné, ρ reste constant.

A l'aide de ces hypothèses simplificatrices on pourra déterminer Λ_a ou K_c en déterminant $K_{(t)}$ et n par expérimentation sous bûche imperméable, à différentes concentrations et à différents volumes.

Mais on pourra en tout cas écrire :

$$\Lambda = Co . V . Y \quad 13$$

avec

$$\left\{ \begin{array}{l} Y = Y_1 + K_{(c)} \\ Y_1 = \exp. \left\{ \frac{\varphi D \epsilon \Delta t'}{\Delta n} \right\} = \exp. \left\{ \varphi H \right\} \end{array} \right. \quad (14)$$

$K_{(c)}$ étant un terme indépendant du volume et de la forme de l'arbre mais dépendant essentiellement de la concentration.

Une telle formule est encore trop compliquée à calculer et exigerait la détermination complète des paramètres. Il est, dans ces conditions, plus avantageux d'opérer directement dans les conditions naturelles sur un certain nombre d'arbres de volume et de surface connus puis d'extrapoler pour tous les autres arbres grâce à une certaine méthode de calcul (c'est la méthode généralement adoptée depuis WOGLUM).

Dans les paragraphes qui suivent nous examinerons les différents cas où la dose relative à un arbre quelconque peut-être reliée à celle d'un arbre expérimental (arbre-type).

II. Arbres de même volume mais de surface différente

Soit la quantité Λ^* de HCN expérimentée sur un ennemi déterminé et correspondant à un certain arbre de volume V^* , la surface S^* de rapport $\varphi^* = \frac{S^*}{V^*}$ (arbre-type). Cherchons une relation qui lie à Λ^* , Λ de HCN correspondant à un autre arbre quelconque de volume $V = V^*$ mais de surface $S \neq S^*$.

Considérons Y de l'équation (14), c'est une exponentielle déduite de Y_1 par une translation $K_{(c)}$ parallèle à OY .

Lorsque le volume des arbres passent de 1 ou 2 m³ à 600 ou 700 m³, φ varie de 4.10^{-2} à $0.4 \cdot 10^{-2}$ CGS. Si on admet que H est de l'ordre de 10 CGS ($\frac{D\epsilon}{\Delta n} = 10^2$, $\Delta t = 10^3$ CGS) Y , varie de 1.5 à 1.04 en passant par 1,14 pour l'arbre type ($\varphi^* = \frac{38}{30} = 1.3$), si on suppose en outre que $K_{(c)}$ est faible, par exemple égal à 0,5, ce qui veut dire que pour une bâche imperméable, il faut mettre une fois et

demie la quantité efficace de HCN pour compenser la perte de concentration par adsorption du gaz par l'arbre (voir TABLEAU D).

Examinons les différences maximales entre la courbe Y (φ) et la courbe affine de Y_1 (φ) (voir FIG. 3)

$$Y_2 = K_{1(c)} \cdot Y_1 (\varphi^*)$$

$K_{1(c)}$ le rapport d'affinité étant tel que :

$$Y_1 + K_{(c)} = K_{1(c)} Y_1 (\varphi)$$

ou

$$K_{1(c)} = 1 + \frac{K_{(c)}}{Y_1 (\varphi^*)} \quad (16)$$

soit avec les valeurs admises plus haut :

$$K_{1(c)} = 1,44$$

de sorte que

$$0 \leq \left| \frac{Y-Y_2}{Y} \right| \leq 0.08 \text{ (8 \%)} \text{ pour les très petits arbres}$$

$$0 \leq \left| \frac{Y-Y_2}{Y} \right| \leq 0.025 \text{ (2,5 \%)} \text{ pour les grands arbres}$$

On pourra donc écrire avec une approximation connue :

$$\begin{aligned} Y &= K_{1(c)} \exp. \left\{ \frac{\varphi D \epsilon \Delta t}{\Delta n} \right\} \\ \text{ou} \quad Y &= \exp. \left\{ \frac{\varphi D \epsilon \Delta t}{\Delta n} + k \right\} \end{aligned} \quad (17)$$

d'où la relation cherchée :

$$\frac{\Lambda}{\Lambda^*} = \exp. \left\{ \frac{D \epsilon \Delta t}{\Delta n} (\varphi - \varphi^*) \right\} \quad (18)$$

D'une autre manière, on peut dire que faire l'approximation (17) pour aboutir à (18) revient à écrire.

$$\frac{Y_1 (\varphi) + K_{(c)}}{Y_1 (\varphi^*) + K_{(c)}} = \frac{Y_1 (\varphi)}{Y_1 (\varphi^*)} \quad (18)'$$

et l'erreur relative commise sur le rapport initial est égale à :

$$\frac{K_{(c)} [Y_1 (\varphi^*) - Y_1 (\varphi)]}{Y_1 (\varphi^*) [Y_1 (\varphi) + K_{(c)}]}$$

$$\Delta = Y \text{ Co V avec } Y = Y_1 + K(c)$$

$$(Y_1 = \exp. \{ H \varphi \} \text{ avec } H = \frac{D \epsilon \Delta t}{\Delta n})$$

$$(Y_2 = K_{1(e)} Y_1 \text{ et } K_{1(e)} = 1 + \frac{K(c)}{Y_1} (\varphi = 1.3))$$

S m ²	V m ³	S/V 10 ² CGS	H = 1 CGS						H = 10 CGS					
			Kc = 0.2 CGS		Kc = 0.5 CGS		Kc = 0.2 CGS		Kc = 0.5 CGS		Kc = 0.2 CGS		Kc = 0.5 CGS	
			Y1	Y	Y2	Y	Y2	Y1	Y	Y2	Y1	Y	Y2	Y
6.5	2.0	3.80	1.04	1.24	1.25	1.54	1.55	1.49	1.69	1.75	1.99	1.71	1.96	2.14
10.5	3.0	3.60	»	»	»	»	»	1.46	1.66	1.68	1.96	1.63	1.93	2.10
		3.40	1.03	1.23	1.23	1.53	1.54	1.40	1.60	1.64	1.90	1.60	1.90	2.01
		3.20	»	»	»	»	»	1.58	1.58	1.62	1.88	1.58	1.88	1.98
		3.00	»	»	»	»	»	1.35	1.55	1.59	1.85	1.55	1.85	1.94
8.5	3.5	2.80	»	»	»	»	»	1.32	1.52	1.55	1.82	1.52	1.82	1.90
15.0	6.0	2.40	1.02	1.22	1.22	1.52	1.52	1.30	1.50	1.53	1.80	1.50	1.80	1.87
32.5	14.5	2.20	»	»	»	»	»	1.27	1.47	1.49	1.77	1.47	1.77	1.83
14.0	7.0	2.00	»	»	»	»	»	1.24	1.44	1.46	1.74	1.44	1.74	1.78
18.0	9.5	1.90	»	»	»	»	»	1.22	1.42	1.43	1.72	1.42	1.72	1.75
26.0	14.5	1.80	»	»	»	»	»	1.21	1.41	1.42	1.71	1.41	1.71	1.74
46.0	27.0	1.70	»	»	»	»	»	1.10	1.39	1.40	1.69	1.40	1.69	1.71
	16.5	1.60	»	»	»	»	»	1.18	1.38	1.39	1.68	1.39	1.68	1.70
31.0	20.5	1.50	»	»	»	»	»	1.17	1.37	1.37	1.67	1.37	1.67	1.68
51.0	36.5	1.40	1.01	1.21	1.21	1.51	1.51	1.16	1.36	1.36	1.66	1.36	1.66	1.67
38.0	39.0	1.30	»	»	»	»	»	1.15	1.35	1.35	1.65	1.35	1.65	1.65
59.0	30.0	1.20	»	»	»	»	»	1.14	1.34	1.34	1.64	1.34	1.64	1.64
59.0	54.6	1.10	»	»	»	»	»	1.13	1.33	1.33	1.63	1.33	1.63	1.63
101	101	1.00	»	»	»	»	»	1.12	1.32	1.32	1.62	1.32	1.62	1.62
81	85	0.95	»	»	»	»	»	1.10	1.30	1.29	1.61	1.29	1.61	1.58
105	116	0.90	»	»	»	»	»	1.10	1.30	1.29	1.60	1.29	1.60	1.58
97	114	0.85	»	»	»	»	»	1.09	1.29	1.28	1.59	1.28	1.59	1.57
133	165	0.80	»	»	»	»	»	1.09	1.29	1.28	1.59	1.28	1.59	1.57
110	148	0.75	»	»	»	»	»	1.08	1.28	1.27	1.58	1.27	1.58	1.55
143	205	0.70	»	»	»	»	»	1.08	1.28	1.27	1.58	1.27	1.58	1.55
160	245	0.65	»	»	»	»	»	1.07	1.27	1.26	1.57	1.26	1.57	1.55
186	310	0.60	»	»	»	»	»	1.07	1.27	1.26	1.57	1.26	1.57	1.54
203	371	0.55	1.00	1.20	1.20	1.50	1.50	1.06	1.26	1.25	1.56	1.25	1.56	1.52
235	470	0.50	»	»	»	»	»	1.06	1.26	1.25	1.56	1.25	1.56	1.52
287	636	0.45	»	»	»	»	»	1.05	1.25	1.23	1.55	1.23	1.55	1.51
		0.40	»	»	»	»	»	1.05	1.25	1.23	1.55	1.23	1.55	1.51
			»	»	»	»	»	1.04	1.24	1.22	1.54	1.22	1.54	1.50

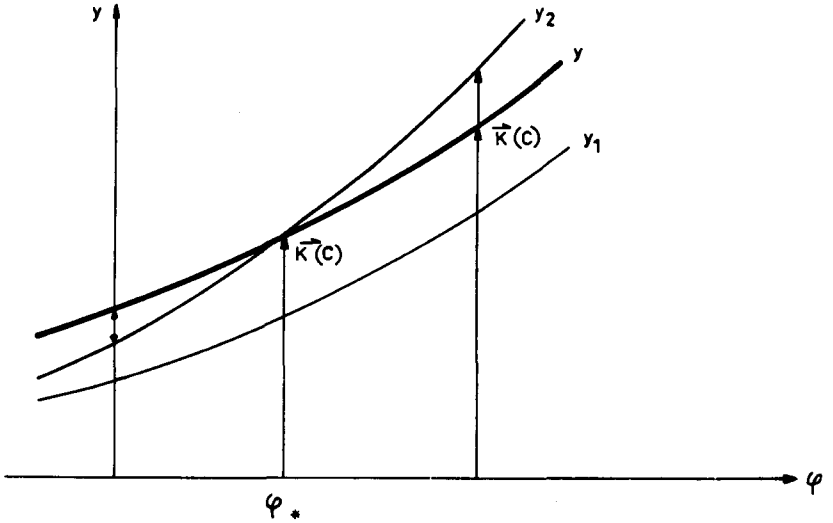
GRAPHIQUES 3 et 4

$$Y = Y_1 + K_{(c)}$$

$$Y_1 = \exp. [H\varphi^*]$$

$$Y_2 = \left[1 + \frac{K_{(c)}}{Y_1(\varphi^*)} \right] Y_1$$

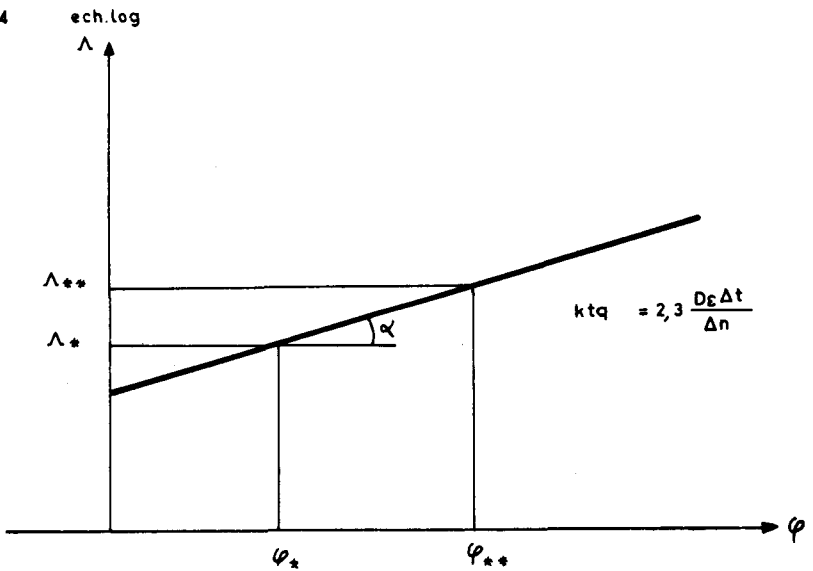
Fig. 3



$$\lg \Lambda = \lg \Lambda^* + 2,3 H (\varphi - \varphi^*)$$

$$\lg \Lambda = \lg \Lambda^* + \frac{\lg \Lambda^{**} - \lg \Lambda^*}{\varphi^{**} - \varphi^*} (\varphi - \varphi^*)$$

Fig 4



La relation (18) s'écrit encore :

$$1g\Lambda(\varphi) = 1g\Lambda^* + 2,3 \frac{D \epsilon \Delta t}{\Delta n} (\varphi - \varphi^*) \quad (18)''$$

La fonction $\Lambda(\varphi)$ à volume constant est représentée par une droite sur papier semi-logarithmique (FIG. 4). Cette droite est définie si on connaît sa pente

$$k \operatorname{tg} \alpha = 2,3 \frac{D \epsilon \Delta t}{\Delta n}$$

ou plus simplement par détermination expérimentale de Λ pour deux valeurs de φ différentes et à même volume. L'équation (18)' s'écrit alors :

$$\left(\frac{1g \Lambda - 1g \Lambda^*}{\varphi - \varphi^*} \right)_{V, C} = \left(\frac{1g \Lambda^{**} - 1g \Lambda^*}{\varphi^{**} - \varphi^*} \right)_{V, C} \quad (19)$$

Si cette droite est parallèle à l'axe des Λ , alors $Y_1 = 1$ et la formule (13) se ramène à

$$\Lambda = C_0 \cdot V [1 + K_{(e)}]$$

ou

$$\begin{cases} \Lambda = C \cdot V \\ C = C_0 [1 + K_{(e)}] \end{cases}$$

Cela veut dire que les bâches sont pratiquement imperméables.

III. Arbres de même rapport surface/volume

La relation qui lie Λ^* de l'arbre type à Λ correspondant à l'arbre de surface $S \neq S^*$, le volume $V \neq V^*$ et le rapport $\varphi = \frac{S}{V} = \frac{S^*}{V^*} = \varphi^*$ est immédiate d'après (13) où

$$Y_1 = \exp. [\varphi H] = \exp. [\varphi^* H] = \text{const.}$$

$$K_{(e)} = \text{const. quel que soit } V$$

$$C_0 = \text{const. par hypothèse}$$

$$\begin{cases} \Lambda = w^* \cdot V \\ w^* = \frac{\Lambda^*}{V^*} \end{cases} \quad (20)$$

$$\begin{cases} \Lambda = u^* \cdot S \\ u^* = \frac{\Lambda^*}{S^*} \end{cases} \quad (20)'$$

les systèmes d'équations (20) et (20)' étant équivalents.

On y reconnaît la formule de WOGLUM et on voit qu'elle ne s'applique que pour un cas bien particulier où les arbres sont de même rapport surface/volume.

Les formules (20) et (20)' peuvent d'ailleurs s'établir d'une façon plus directe.

Supposons que HCN se dégage rapidement, on peut dire que la concentration sous la bâche à la fin du dégagement est

$$C = \frac{\Lambda}{\Lambda}$$

Pour l'arbre type, la perte instantanée en HCN est alors :

$$Q^* = \frac{D \epsilon}{\Delta n} \cdot S^* \cdot C^* = \frac{D \epsilon}{\Delta n} \cdot \varphi^* \cdot \Delta^*$$

soit

$$\Lambda^* = \frac{\Delta n}{D \epsilon} \cdot \frac{Q^*}{\varphi^*}$$

pour un autre arbre ($\varphi = \frac{S}{V} = \varphi^*$) on doit avoir :

$$\frac{\Lambda}{V} = C^*$$

d'où

$$Q = \frac{D \epsilon}{\Delta n} \cdot \varphi^* \cdot \Lambda$$

$$\Lambda = \frac{\Delta n}{D \epsilon} \cdot \frac{Q^*}{\varphi^*} \cdot \frac{Q}{Q^*} = \Lambda^* \cdot \frac{Q}{Q^*}$$

or

$$\frac{Q}{Q^*} = \frac{S}{S^*} = \frac{V}{V^*}$$

et on a bien :

$$\Lambda = \frac{\Lambda^*}{S^*} \cdot S = \frac{\Lambda^*}{V^*} \cdot V$$

IV. Arbres quelconques. Même dose de traitement

En dehors des arbres qui se placent dans les deux cas examinés plus haut, on procède dans le cas général comme suit :

Soit un arbre quelconque de volume V et de rapport φ on lit sur l'abaque semi-logarithmique de la Fig. 4, $\Delta_0(\varphi)$ correspondant à un

GRAPHIQUES 5 et 6

$$\lg \Lambda = \lg \Lambda^* + \lg m + \frac{\lg \Lambda^{**} - \lg \Lambda}{\varphi^{**} \varphi^*} K_{(c)}$$

Fig. 5

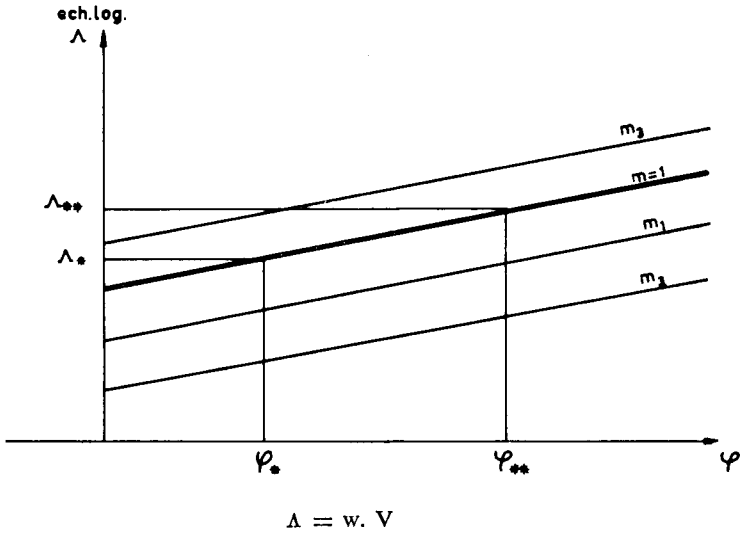
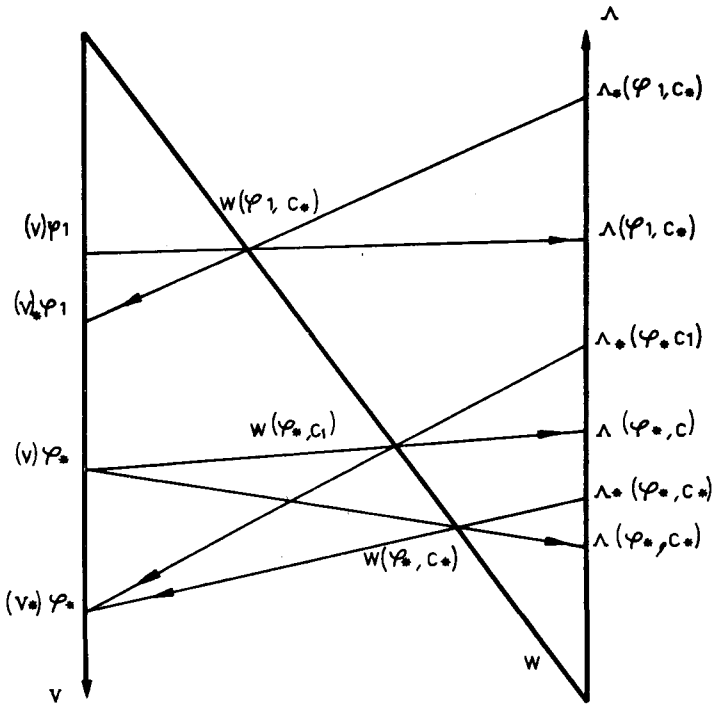


Fig. 6



arbre fictif de volume $V = V^*$ (de l'arbre type) et de rapport φ . Puis, on applique l'une des formules (20) ou (20)' qui pourrait être mise en abaque (FIG. 6).

Ceci permet de déterminer la droite (19) par expérimentation sur deux arbres de φ et de V différents et non plus nécessairement de même V comme il est dit au paragraphe II.

V. Cas général

Dans le cas le plus général où on veut opérer avec une concentration différente de C_0 , soit C telle que :

$$C = \frac{\Lambda}{V^*} = m C^* = \frac{m \Lambda^*}{V^*}$$

m positif quelconque, c'est le cas par exemple où on sait par ailleurs que tel autre ennemi de l'arbre exige un traitement de concentration m fois celle de l'ennemi que l'on a étudié. On ne pourra faire l'approximation (18) ou (18)' que pour autant que $K_{(c)}$ reste petit. Dans la pratique, pour la fumigation sous bâche des agrumes, la concentration d'acide cyanhydrique est de l'ordre de 1 à 20 g/m³, soit d'après la seconde équation de (12) :

$$\rho K_{(t)} \geq K_{(c)} \geq \rho K_{(t)} \exp. \left. \right\} 0.43 \frac{1-n}{n} \lg 20 \left. \right\}$$

Si entre ces limites $K(C)$ est telle que l'approximation (18) ou (18)' entraîne une erreur relative sur le facteur correctif Y de (14) inférieure à une limite que l'on se donne, 10 % par exemple, on pourra tracer le réseau de droites parallèles à (19). Ce réseau de droite (FIG. 5) joint à l'abaque (FIG. 6) pourra permettre le calcul de la quantité de HCN dans le cas le plus général.

Remerciements

Nous exprimons ici nos vifs remerciements à M. LESPÈS qui a bien voulu nous communiquer les données numériques figurant dans cette article et avec qui nous avons eu de nombreux échanges d'idées. Nous remercions également le P^r J. HENRY du Laboratoire de Physique de la Faculté des Sciences de l'Université Mohammed V à Rabat, qui a bien voulu revoir ce texte.

ملخص

بيننا وتبسيط بسيط، الذي ذكرت فيه بطريقة تقريبية وفي كل مرة انه من الممكن بان تكون الكمية المبخرة التي أوضع تحت الغطاء المثقوب يمكن ان توضع تحت المعادلة الآتية :

$$\Lambda = Y Co V$$

او Y تعامل للأصلاح متكون من Y_1 الواجة في التوزيع ومن الواجب في الظواهر الترشيح متعلقا في الاساس بتركيز الغاز .

$$Y = Y_1 + K_{(c)}$$

او

$$Y = K_{I(c)} \cdot Y_1$$

عامل الأصلاح هو وظيفة ذات عدد من المقادير حيث تحيدها الكامل طويل وصعب [9] [7] وكذلك فان التعبير عن Λ ليش مطبقا مباشرة.

وبالعكس فان التجربة المباشرة في الشروط العادية على عدد مزين وعلى شجرتين من انواع ذات علاقات مختلفة بين المساحة والحجم، تسمح بحساب Λ بالنسبة لجميع الاشجار الأخرى وكذلك لعدد آخر كبقا كان (مع العلم اننا من جهة اخرى نعلم العلاقة م لتركيز هذا لعدو العدو المدروس) وذلك بفضل استغلال مجموعة خطوط متوازية بمدرجات نصف لوغار يمنية

$$\left(\frac{1g \Lambda - 1g \Lambda^*}{\varphi - \varphi^*} \right) V_{3,m} = \left(\frac{1g \Lambda^{**} - 1g^*}{\varphi^{**} - \varphi^*} \right) V_m$$

وذا ت سطح دو نقط خطوطية

$$\Lambda (\varphi, C) = \left(\frac{\Lambda^*}{V^*} \right) \varphi, C \quad V\varphi$$

RÉSUMÉ

Nous avons montré, par un raisonnement simple, dans lequel le sens des approximations est indiqué chaque fois qu'il est possible, que la quantité de fumigant à mettre sous la bâche perméable peut se mettre sous la forme

$$\Lambda = Y Co V$$

où Y est un facteur correctif composé d'un terme Y_1 dû à la diffusion et d'un terme K (C) dû aux phénomènes de sorption dépendant essentiellement de la concentration du gaz :

$$Y = Y_1 + K_{(c)}$$

ou encore

$$Y = K_{1(c)} \cdot Y_1$$

Le facteur correctif est une fonction de nombreux paramètres dont la détermination complète est longue et difficile [7] [9] aussi, une telle expression de Λ n'est-elle pas directement applicable.

Par contre, l'expérimentation directe, dans les conditions habituelles sur un ennemi déterminé et sur deux arbres types de rapports surface/volume différents, permet de calculer Λ pour tous les autres arbres et pour un autre ennemi quelconque (pourvu que l'on sache par ailleurs le rapport m de concentration létale de cet ennemi et de l'ennemi étudié) grâce à l'emploi combiné d'un réseau de droites parallèles en échelles semi-logarithmiques :

$$\left(\frac{1g \Lambda - 1g \Lambda^*}{\varphi - \varphi^*} \right)_{V,m} = \left(\frac{1g \Lambda^{**} - 1g \Lambda^*}{\varphi^{**} - \varphi^*} \right)_{V,m}$$

et d'un abaque à points alignés :

$$\Lambda(\varphi, C) = \left(\frac{\Lambda^*}{V^*} \right) \varphi, C \quad V\varphi$$

RESUMEN

Fumigación bajo tienda; la cantidad de fumigante

Se muestra por un razonamiento sencillo, indicando, si es posible, el sentido de las aproximaciones, que la cantidad de fumigante por meter bajo la tienda permeable puede expresarse como:

$$\Lambda = Y C_0 V$$

donde Y es un factor correctivo compuesto de un término debido a la difusión y de un término $K(C)$ debido a los fenómenos de sorpción que depende esencialmente de la concentración del gas:

$$Y = Y_1 + K_{(c)}$$

o

$$Y = K_{1(c)} \cdot Y_1$$

El factor correctivo es una función de numerosos parámetros cuya determinación completa es larga y difícil [7] [9]; además, esta manera de expresarse no es directamente aplicable.

Por otra parte, permite la experimentación directa, en las condiciones habituales, sobre un enemigo determinado y sobre dos árboles típicos de diferentes razones superficie/volumen, calcular Λ para todos los otros árboles y por cualquier otro enemigo (con tal que sea conocida la relación entre las concentraciones letales para este enemigo y el primero), gracias al empleo combinado de un sistema de líneas rectas paralelas en escalas semi-logarítmicas:

$$\left(\frac{1 \text{ g } \Lambda - 1 \text{ g } \Lambda^*}{\varphi - \varphi^*} \right) V_{,m} = \left(\frac{1 \text{ g } \Lambda^{**} - 1 \text{ g }^*}{\varphi^{**} - \varphi^*} \right) V_{,m}$$

y de una curva de puntos alineados:

$$\Lambda (\varphi, C) = \left(\frac{\Lambda^*}{V^*} \right) \varphi, C \quad V\varphi$$

SUMMARY

Fumigation under tents — Determination of the quantity of fumigant

By plain reasoning, indicating whenever possible the sense of the approximations, the amount of fumigant to be introduced under the pervious sheet is shown to be expressed by

$$\Lambda = Y C_0 V$$

where Y is a corrective factor composed of a term due to diffusion and a term $K(C)$ due to sorption phenomena actually depending on the concentration of the gas:

$$Y = Y_1 + K_{(c)}$$

or

$$Y = K_{1(c)} \cdot Y_1$$

The correction factor is a function of numerous parameters, the complete determination of which is difficult and tedious [7] [9]; moreover, such an expression of is not directly applicable.

On the contrary, from direct experimentation, in the usual conditions, on a given pest and on two typical trees of different surface-volume ratios, it is possible to calculate Λ for all other trees and for any other pest (provided the ration of the lethal concentration for the latter

to that for the former pest is known) thanks to the combined use of a grid of straight parallels on a semi-logarithmic scale:

$$\left(\begin{array}{c} 1 \text{ g } \Lambda - 1 \text{ g } \Lambda^* \\ \varphi - \varphi^* \end{array} \right) V, m = \left(\begin{array}{c} 1 \text{ g } \Lambda^{**} - 1 \text{ g }^* \\ \varphi^{**} - \varphi^* \end{array} \right) V, m$$

and of a curve of aligned points:

$$\Lambda (\varphi, C) = \left(\frac{\Lambda^*}{V^*} \right) \varphi, C \quad V\varphi$$

BIBLIOGRAPHIE

1. COLEMAN, G.A. — Method of determining the toxicity of hydrocyanic acid gas. — J. Econ. Entom., vol. 4, n° 6, pp. 528-531.
2. F.A.O. — 1963. La Fumigation en tant que traitement insecticide. — Etudes agricoles de la F.A.O. par M.A.U. MONRO, n° 56, Rome, 1962.
3. GEIER, P. & G. MATHYS — 1949. Contribution à la connaissance des conditions d'action de l'acide cyanhydrique (HCN) sur le pou de San José (*Quadraspidiotus perniciosus* Comst.) en cellules étanches à pression atmosphérique). — Stat. feder. Essais ortic., Lausanne, Public, n° 385.
4. LEPESME, P. & A. MARIE — 1942. Un appareil simple pour l'étude entomo-toxicologique des gaz. — A. Epiphyties, t. 7.
5. LESPÈS, L. — 1966. Sur quelques problèmes posés par la fumigation des agrumes. — Al Awamia, Rabat, 19, p. 69-138.
6. PRADHAN, S. & S.C. BHATIA — 1951. Specific susceptibility to HCN and the amount of HCN received from fumigated insects. — B. entom. Res., 1951, vol. 42, n° 2.
7. QUAYLE, H.J. — 1938. Insects of citrus and other subtropical fruits. — New York, Comstock.
8. SUN, Y.P. — 1957. An analysis of some important factors affecting the results of fumigation tests on insects — Univ. Minnesota, agric. Exp. Stat., techn. B. 177.
9. WOGLUM — 1923. Fumigation of citrus trees for control of insect pests. — US Dep. Agric. Fmr's Bull. 1321.