

Chapitre II

DISTRIBUTION DES TEMPS DE SEJOUR (TDS)

1- Ecoulement dans les réacteurs

1-1. Phénomènes de mélanges

En théorie on distingue deux types de mélanges :

- Mélange parfait
- Absence de mélange.

Ces deux types de mélanges sont dits mélanges idéaux. Ils sont relatifs aux cuves à faibles volumes. Dans les cuves de grand volume, les mélanges des fluides ne sont jamais idéaux du fait de la géométrie du réacteur et des diverses résistances du à l'agitateur, aux phases solides, etc.

Il est toujours important de connaître la manière exacte dont les fluides s'écoulent dans le réacteur pour obtenir la valeur exacte du temps de séjour moyen de ce fluide.

1-2. Ecoulements idéaux

Ce sont les mélanges se produisant dans deux types de réacteurs :

- Les réacteurs parfaitement agités (RPA)
- Les réacteurs piston (RP)

Dans les RPA la concentration des divers réactants est identique en tout point du réacteur

Dans les RP au contraire, il n'y a aucun mélange du liquide, c'est à dire un volume d'un liquide donné ne se mélange ni avec le liquide qui le précède, ni avec le liquide qui le suit. On dit qu'il avance sans contamination.

1-3. Ecoulements réels

Ce sont des écoulements non-idéaux. Ils sont intermédiaires entre les deux types idéaux. Plus le volume est grand, plus cette différence prend de la dimension et plus il importe de préciser ceci expérimentalement. C'est ce que permet de réaliser la notion de Distribution de Temps de séjour (DTS).

2- distribution des temps de Séjours (DTS)

La distribution de temps de séjour est un modèle qui permet de caractériser l'hydrodynamique d'un réacteur et de déterminer quel modèle de réacteur définit le mieux l'installation étudiée (réacteur continu ou réacteur tubulaire). Cette caractéristique est importante pour pouvoir calculer la performance d'une réaction avec une cinétique connue.

2-1. Principe]

Les modèles des réacteurs idéaux sont construits sur un certain nombre d'hypothèse:

- Le mélange d'un flux entrant d'un réacteur continu est considéré comme complet et instantané avec le milieu réactionnel
- Dans un réacteur tubulaire, l'écoulement est défini comme piston (pas de rétro-mélange).

Or dans la réalité, il est impossible d'obtenir de telles conditions, notamment pour des réacteurs industriels qui ont en général une taille comprise entre un et plusieurs dizaines parfois de centaines de m³. Pour caractériser l'écoulement, on utilise dès lors la distribution de temps de séjour qui est une approche statistique. En effet, on considère un élément du fluide à son entrée dans le réacteur et on mesure le temps que ce dernier met pour atteindre la sortie. Si on répète l'expérience ou on considère plusieurs éléments en même temps, on constatera que les résultats ne sont pas identiques. On peut dès lors établir une distribution des temps de séjour, le plus souvent représentée par une distribution de fréquences appelée habituellement E. Pour ce faire, trois hypothèses sont posées:

- le réacteur est à l'état stationnaire
- le fluide est incompressible
- à l'entrée et à la sortie du réacteur, le transport a lieu uniquement par convection.

Dans ces conditions, la fonction E rapporte l'âge des éléments qui quittent le réacteur à un moment donné. La dimension E(t) correspond ainsi à une fraction du flux total ayant un certain âge par unité de temps.

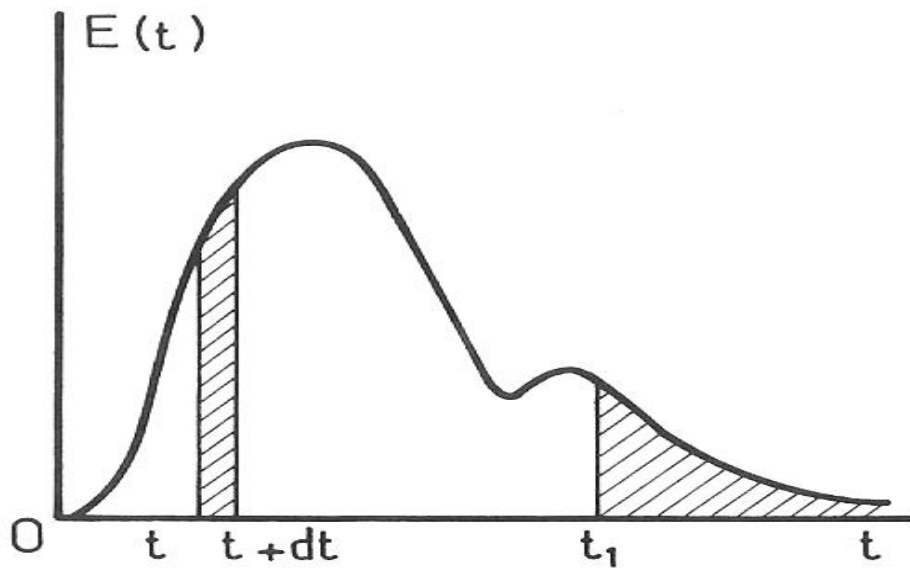
La fraction du fluide qui séjourne durant un intervalle de temps donné dans le système est donnée par la valeur $E(t) \Delta t$

Les objectifs de la mesure de la DTS sont :

- Caractériser l'état de mélange d'un réacteur
- Identifier ses défauts d'écoulement
- Représenter le réacteur par un modèle
- Prévoir les performances en réaction

2.2. Définitions de E(t)

E(t), distribution des temps de séjour, est telle que $E(t).dt$ est la fraction du débit de sortie qui est restée dans le réacteur un temps compris entre t et t+dt



2.3. Propriétés de $E(t)$:

- $E(t)$ est toujours positive
- $E(t)$ est normée c'est à dire $\int_0^{+\infty} E(t)dt = 1$

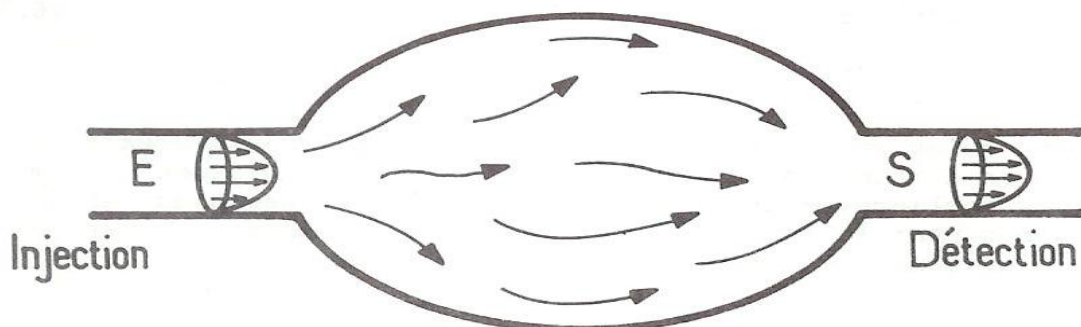
$\int_{t_1}^{t_2} E(t)dt$: Fraction de débit restée entre t_1 et t_2 dans le réacteur

3. Détermination expérimentale de la Distribution des Temps de Séjour (DTS) :

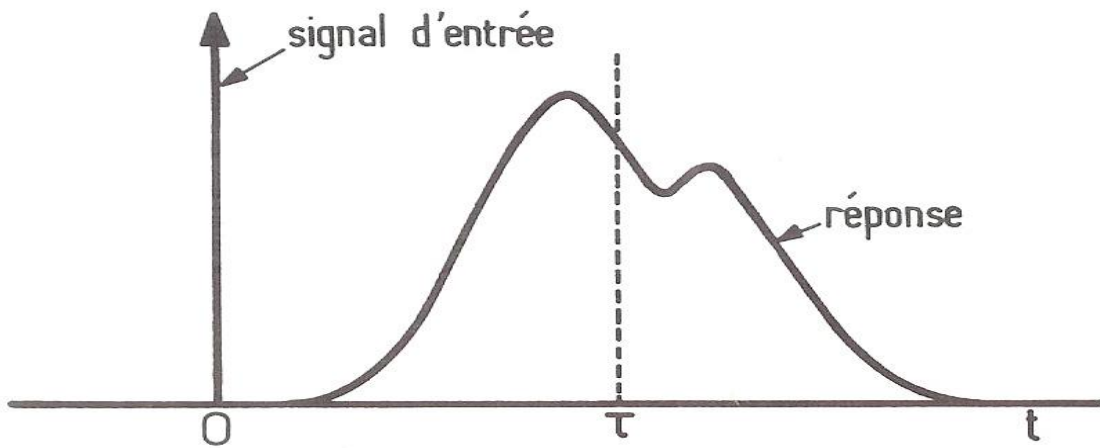
3.1. Méthode de Traceur

Il marque le fluide, sans le perturber et possède les caractéristiques suivantes :

- Mêmes propriétés que le fluide
- Inerte
- Mesurable en continu
- Injection et détection sur toute la section



Le principe de l'expérimentation est une introduction d'un nombre de moles n_0 pendant un temps très court et la mesure de la concentration $c(t)$ en sortie de réacteur.



3.2. Bilans en traceur :

- en sortie, pendant un temps dt

La fraction du traceur ayant séjourné entre t et $t + dt$ est :

$$\frac{Qc(t)dt}{n_0} = E(t)dt$$

- entrée-sortie du réacteur :

$$n_0 = \int_0^{+\infty} Q c(t)dt$$

Si le débit est uniforme

$$E(t) = \frac{c(t)}{\int_0^{+\infty} c(t)dt}$$

Temps de séjour moyen \bar{t}

$$\bar{t} = \int_0^{+\infty} t E(t)dt$$

\bar{t}_s : c'est le paramètre expérimental déterminé à partir de la DTS. C'est le temps réel moyen mis par le substrat dans le réacteur ou bien c'est le temps moyen mis par un élément de fluide pour traverser le réacteur. En conclusion le temps de passage est un temps théorique et \bar{t}_s est le temps pratique.

4. Diagnostiques de fonctionnements d'un réacteur

❖ 1^{er} cas :

Si $\bar{t}_s = \tau \Rightarrow$ Pas de mélange ou le mélange est parfait, le réacteur fonctionne correctement

❖ 2^{ème} cas

Si $\bar{t}_s < \tau$; On dit que le temps de séjour mesuré est inférieur au temps de passage : on est dans le cas d'une mauvaise estimation du volume offert au fluide. Traînée de courbe : diffusion vers les zones stagnantes $\Rightarrow V_a < V_R$

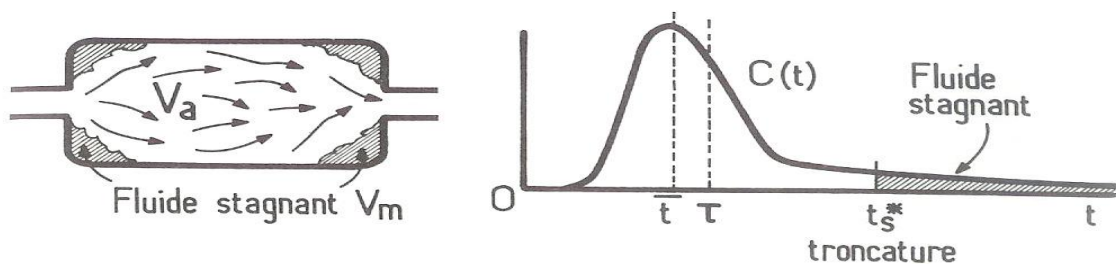
avec V_a : volume accessible au fluide à l'intérieur du réacteur

V_R : volume du réacteur

Il existe à l'intérieur du réacteur un volume inerte V_m appelé : **Volume mort**

$$V_R = V_m + V_a \Rightarrow 1 = \frac{V_m}{V_R} + \frac{V_a}{V_R}$$

La fraction du volume mort est : $\frac{V_m}{V_R} = 1 - \frac{V_a}{V_R} = 1 - \frac{\bar{t}_s}{\tau}$

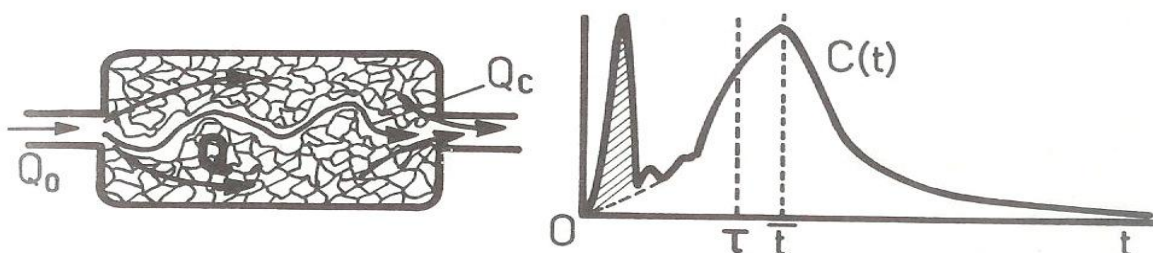


❖ 3^{ème} cas :

Si $\bar{t}_s > \tau \Rightarrow V_a > V_R$ et $Q_o = Q + Q_c$

Q_c : débit de **court circuit**

On est dans ce dernier cas en présence de chemins préférentiels du fluide au sein du réacteur. C'est à dire des court - circuits peuvent être rencontrés en cas de mauvais garnissage des parois internes du réacteur.



Série N°2

Exercice 1

Le tableau ci-dessous donne la réponse d'un réacteur réel à une injection impulsion de traceur

t(mn)	0	5	10	15	20	25	30	35
$\delta(t)$ (g.l ⁻¹)	0	3	5	5	4	2	1	0

Dresser un tableau donnant la distribution des temps de séjour E(t) ainsi que le temps de séjour moyen \bar{t}_s

Exercice 2

On injecte rapidement dans un réacteur réel 4 grammes de colorant ; on observe la concentration en sortie :

t (mn)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
C(mg/l)	0	15	55	84	89	78	61	43	29	19	11	7	4	2	0

Quel est le temps de séjour moyen

Tracer la fonction de distribution de temps de séjour

Exercice 3

Pour étudier la distribution des temps de séjours (DTS) d'un réacteur tubulaire de laboratoire de volume 863,5 cm³, on utilise la méthode de traceur au KCl (3M par conductimétrie. On réalise des essais pour trois (03) débits d'écoulement différents Q₀(1 L/mn, 3 L/mn et 5 L/mn). Les résultats obtenus sont reportés dans le tableau 1 ci-dessous. Calculer pour chaque essai, la distribution des temps de séjour E(t). Tracer les graphes respectifs E(t) = f(t), Déduire pour chaque cas le temps de séjour moyen \bar{t}_s . Remplir le tableau 2. Faire un diagnostic sur le fonctionnement du réacteur. Que peut – on conclure ?

Tableau 1

Q ₀	1 L/mn	3 L/mn	5 L/mn
t(s)	C ₁ (t) µg/l	C ₂ (t) µg/l	C ₃ (t) mg/l
3	0,0447	0,0325	0,10415
6	0,0455	0,0406	0,10415
9	0,074	0,0406	0,479251
12	0,0769	7,453214	3,433686
15	0,441416	13,5476	8,315704
18	1,775834	19,544345	1,74939

21	8,85272	6,200163	0,589097
24	16,286	3,270952	0,211554
27	18,087876	1,399512	0,163548
30	26,590724	0,829943	0,111473
33	16,013019	0,585842	0,1131
36	13,062083	0,196908	0,107404
39	11,407648	0,131001	0,10415
42	8,5052	0,0886	
45	6,525631	0,114972	
48	5,711961	0,0764	
51	3,433686	0,0813	
54	3,270952	0,000065	
57	2,673718		
60	2,3214		
63	1,887714		
66	1,589097		
69	1,046379		

Tableau 2

Q_0 (L/mn)	1	3	5
Q_0 (cm ³ /s)			
τ			
\bar{t}_s (s)			
V_m (cm ³)			
V_A (cm ³)			
Q_c (L/mn)			
Q (L/mn)			
V_m/V_R (%)			
Q_c/Q_0 (%)			