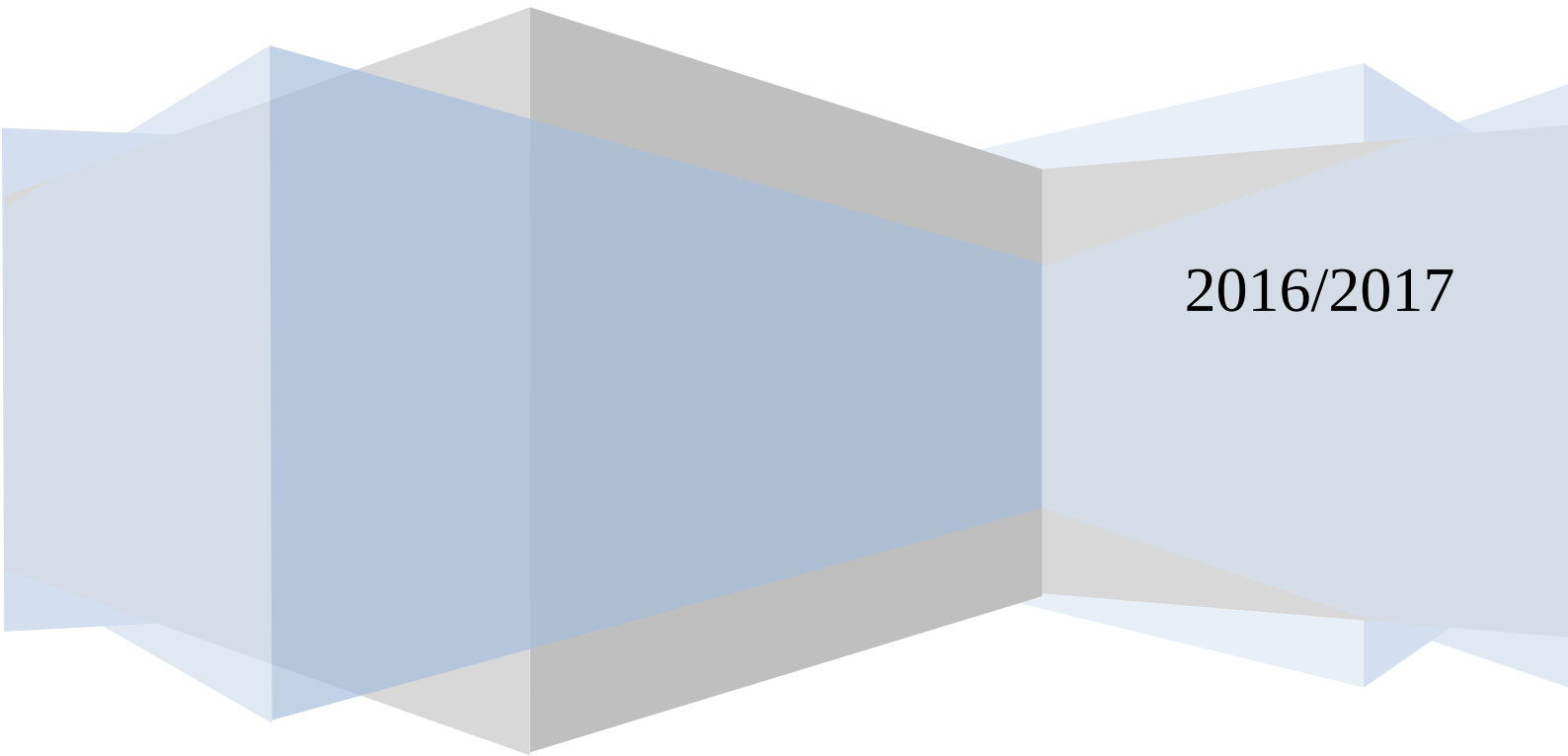
Génie de la réaction chimique I

Master 1 G.Chimique

Chapitre I : Macromélange - Distribution des temps de séjour (DTS)

Dr. SMAIL Bentaiba



2016/2017

Connaissances requises :

→ Grandeurs de composition d'un mélange réactionnel

en système <u>fermé</u> et en système <u>ouvert en régime permanent</u>

→ Paramètres d'avancement d'une réaction chimique simple (à stœchiométrie unique)

- ***La variable chimique ξ***
- ***Le taux de conversion X_c***
- ***L'avancement généralisé X***

→ Le concept de «réacteur idéal »

Les réacteurs idéaux sont des configurations réactionnelles simples, où les conditions hydrodynamiques et physiques sont supposées idéalisées et bien déterminées :

- ***Cuve parfaitement agitée, écoulement piston, perte de charge et phénomènes de diffusion négligeables, absence de gradients de concentration et de température.***

Notions de temps de séjour (t_s) et de temps de passage (τ)

→ Bilans de matière dans les réacteurs idéaux

Type de réacteur idéal	**Bilans de constituants**	**Equations caractéristiques** (aux avancements)	**Temps de passage**	**Volumes** **Débits**
Réacteur fermé uniforme RF	$\frac{dn_j}{dt} = \nu_j r V$	$n_0 \frac{dX}{dt} = rV$		$V = \beta V_0(1+\alpha X)$
Réacteur agité continu (régime permanent) RA	$\nu_j r = \frac{F_{jS} - F_{jE}}{V_R}$	$\frac{r_s}{F_0} = \frac{X_S - X_E}{V_R}$	$\tau = \frac{V_R}{Q_0} = C_0 \frac{X_S - X_E}{r_S}$	$Q = \beta Q_0(1+\alpha X)$
Réacteur piston (régime permanent) RP	$\frac{dF_j}{dV_R} = \nu_j r$	$\frac{r}{F_0} = \frac{dX}{dV_R}$	$\tau = \frac{V_R}{Q_0} = C_0 \int_{X_E}^{X_S} \frac{dX}{r}$	

→ Combinaison de réacteurs idéaux

- ***Association en série, association en parallèle***
- ***Réacteur piston à recyclage***

Objectifs du cours :

- Etudier les distributions de temps de séjour (DTS) dans les systèmes en écoulement ;
- Comment utiliser la DTS pour tirer des informations concernant le fonctionnement hydrodynamique du réacteur ;
- Comment utiliser ces informations, conjointement à la connaissance de la cinétique chimique de la réaction, pour prévoir les performances du réacteur.

Nous avons vu dans la matière « Réacteurs homogènes » que la description du fonctionnement en régime permanent des réacteurs « idéaux », fait appel à deux types d'écoulement simples :

- L'écoulement « **piston** » caractérisé par un temps de séjour unique pour toutes les molécules ;
- L'écoulement en « **mélange parfait** » où les temps de séjours sont à priori quelconques (une distribution des temps de séjour) et où l'on suppose la composition uniforme en tout point.

Nous avons vu également que la conversion, le rendement et les comportements thermiques des réacteurs piston et agités continu sont très différents. Nous avons vu aussi que des associations de réacteurs idéaux permettent de représenter des situations intermédiaires entre le mélange parfait et l'écoulement piston. On en conclut que de faibles écarts au comportement idéal peuvent être responsables d'écarts notables de conversion, de rendement ou de stabilité thermique.

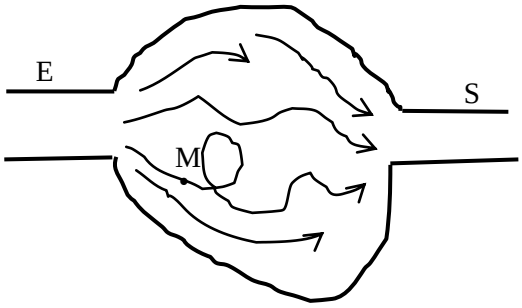
Le but est donc de caractériser et quantifier ces écarts et leurs conséquences, à deux niveaux :

- A l'échelle du réacteur pour appréhender le rôle macroscopique de *l'écoulement* sur ses performances ou interpréter des expériences de laboratoire. C'est le problème de **macromélange** et c'est l'objet du premier chapitre intitulé : Macromélange – distribution des temps de séjour.
- A l'échelle microscopique pour appréhender le rôle du *mode de mise en contact des réactifs*. C'est le problème de **micromélange** et c'est l'objet du deuxième chapitre intitulé : Micromélange

Dans un réacteur réel, les molécules séjournent dans le volume réactionnel pendant des temps $\mathbf{t_s}$ qui dépendent du profil hydrodynamique et de la géométrie du réacteur.

Il existe donc une ***distribution des temps de séjour***, et cette dispersion a une influence sur les performances chimiques du réacteur.

I.1 Description des écoulements réels : concepts d'âge, d'espérance de vie et de temps de séjour.



Réacteur ouvert

- **L'âge interne α de la molécule** : le temps qui s'est écoulé depuis qu'elle a franchi la surface d'entrée du réacteur.
- **Son espérance de vie λ** : le temps qui lui reste à passer dans le réacteur avant de franchir la surface de sortie.
- **Son temps de séjour t_s** : le temps qu'elle aura passé au total dans le réacteur.

Remarque :

- Le temps de séjour n'est que l'âge interne dans le courant de sortie.
- On a d'une manière générale : $t_s = \alpha + \lambda$ (I.1)

Le nombre de molécules étant suffisamment grand dans le réacteur, on peut décrire cette population en terme statistique par des fonctions de distribution.

I.2 Les principales fonctions de distribution

Nous allons définir trois fonctions de distributions dans des systèmes d'écoulement auxquels s'appliquent les hypothèses restrictives suivantes :

1. l'écoulement est en régime permanent ;
2. l'écoulement est déterministe (pas de basculement de filets ni de créations de tourbillons à grand échelle de temps et d'espace ;
3. le fluide est incompressible ;

4. l'écoulement à travers les sections d'entrée E et de sortie S se fait uniquement par convection forcée, à l'exclusion de toute diffusion et de mélange en retour ;
5. les conduites d'entrée et de sortie sont de petit diamètre devant les dimensions du réacteur et l'écoulement y est de type piston.

I.2.1 La fonction de distribution des âges internes locale f

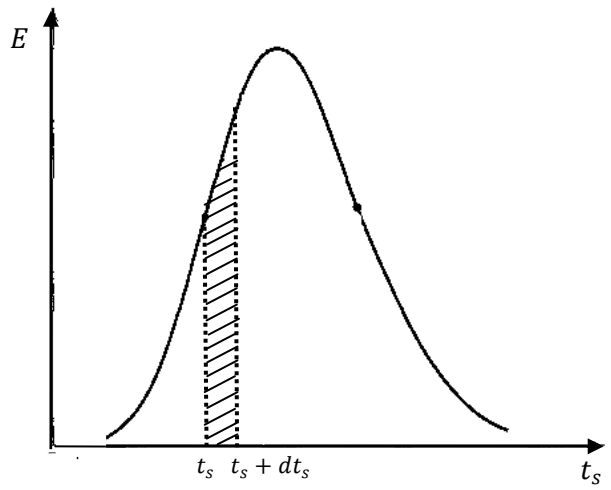
On définit la fonction $f(x, y, z, \alpha, t)$ telle que $f(x, y, z, \alpha, t)d\alpha$ représente la fraction du nombre total d'éléments (molécules) en circulation à l'instant t dans le volume $dV_R = dx\, dy\, dz$ avec un âge compris entre α et $\alpha + d\alpha$

I.2.3 La distribution des temps de séjours (DTS)

Plaçons-nous dans l'hypothèse 1,2 et 4.
La fonction la plus importante est la distribution des temps de séjour (DTS) que l'on note $\boldsymbol{E(t_s)}$. Elle est définie telle que $E(t_s)\, dt_s$ est la fraction du débit de fluide sortant composé de molécules qui ont passé un temps compris entre t_s et $t_s + dt_s$.
D'après cette définition, on peut exprimer $\boldsymbol{E(t_s)}$ en
fonction de **f** :

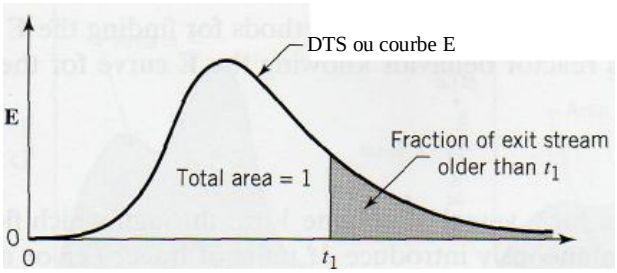
$$E(t_s) = \frac{\iint_S f\, u\, dS}{\iint_S u\, dS} = \bar{f}_S \qquad \text{(I.2)}$$

Où u est la vitesse du fluide en différents points de S



La fonction E(t_s) est par définition, une fonction **normée**. Ce qui implique que :

$$\int_0^\infty E(t_s)\, dt_s = 1$$



Remarques :

1. La quantité $\int_{t_1}^{\infty} E\,(t_s)dt_s$ représente la fraction de fluide ayant séjourné plus longtemps que t_1 dans le réacteur.
2. La quantité $\int_0^{t_1} E\,(t_s)dt_s = 1 - \int_{t_1}^{\infty} E\,(t_s)dt_s$ représente la fraction de fluide ayant un temps de séjour compris entre 0 et t_1.
3. E(t_s) a la dimension de t^{-1}.

I.2.4 La fonction de distribution des âges internes globale I

La distribution des âges internes globale $I(\alpha)$ est telle que $I(\alpha)d\alpha$ est la fraction du **volume interne** contenant des molécules d'âge compris entre α et $\alpha + d\alpha$.

Son expression en fonction de f est :

$$I(\alpha) = \frac{1}{V_R}\int_{V_R} f\, dV_R = \bar{f} \qquad \text{(I.3)}$$

La relation (I.3) signifie que $I(\alpha)$est la moyenne volumique de f.

$\int_0^{t_1} I\,(\alpha)d\alpha$ représente la fraction des molécules « plus jeunes » que t_1 dans le réacteur.

I.2.5 Les moments statistiques de la fonction E(t_s)

On peut définir des moments statistiques pour chacune des distributions définies précédemment. Ceux de la DTS ont une importance particulière. On les désigne par la lettre μ.

- Le moment d'ordre n autour de l'origine est défini par :

$$\mu_n = \int_0^\infty t_s^n \, E(t_s) \, dt_s \qquad \text{(I.4)}$$

En particulier, le moment d'ordre 1 : $\mu_1 = \bar{t}_s$ est la moyenne ou temps de séjour moyen dans le réacteur.

- Le moment d'ordre n autour de la moyenne, ou moment centré est défini par :

$$\nu_n = \int_0^\infty (t_s - \bar{t}_s) E(t_s) \, dt_s \qquad \text{(I.5)}$$

En particulier :

- $\nu_2 = \mu_2 - \mu_1^2 = \sigma^2$ est la variance de la distribution qui caractérise son étalement autour de la moyenne.
- ν_3 marque l'asymétrie de la distribution.
- ν_4 marque son aplatissement etc.

I.3 Détermination expérimentale de la DTS au moyen de traceurs. Le réacteur en tant que système linéaire.

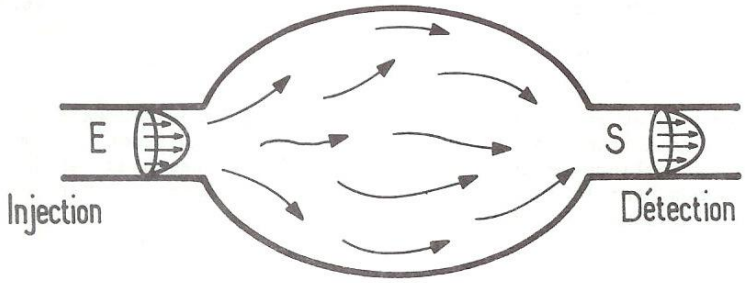
La méthode des traceurs consiste à marquer les molécules entrant dans le réacteur, et à suivre leur histoire jusqu'à la sortie, en particulier de les dénombrer dans le courant de sortie en fonction du temps. Pour cela, on utilise un traceur qui peut être un traceur radioactif, un colorant ou toute substance de même propriétés hydrodynamique que le fluide, mais décelable par une propriété physique caractéristique telle la conductibilité électrique, thermique, etc.

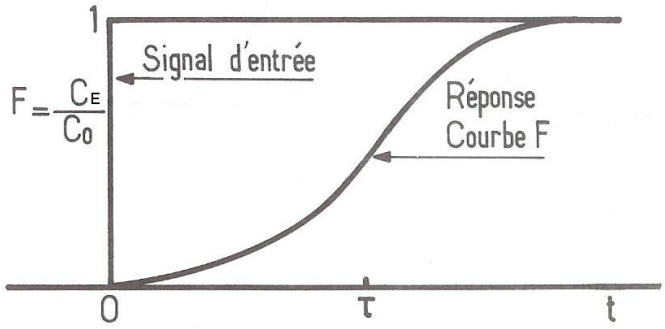
On applique à l'aide du traceur un certain signal à l'entrée du réacteur, de manière à ne pas perturber le régime d'écoulement, et on examine sa réponse à la sortie. On en déduit des enseignements sur le comportement interne du fluide.

Il est préférable d'injecter et de détecter le traceur dans des zones rétrécies où règne un fort critère de Reynolds donc une turbulence spontanée assurant la condition de mélange.

I.3.1 Injection-échelon ou Purge-échelon : <u>la courbe *F*</u>

Dans une <u>injection-échelon</u>, la concentration de traceur passe brusquement de 0 à C_0 dans l'alimentation à l'instant $t = 0$.





Dans une purge-échelon, l'injection permanente et établie de traceur est brusquement interrompue à l'instant $t = 0$.

- Expression de I en fonction de F

Supposons le fluide incompressible (hypothèse 3) et plaçons-nous à un instant t après une injection-échelon.

La fraction de volume interne occupé par du fluide marqué est celle qui est plus jeune que t soit :

$\int_0^t I\,(\alpha)d\alpha$

La fraction de débit marqué, dans le courant de sortie, est celle qui a un temps de séjour plus petit que t, soit : $\int_0^t E\,(t_s)dt_s$

Le bilan de matière du traceur s'écrit :

$$QC_0 = Qc + \frac{d}{dt}\left[\left(V_R \int_0^t I(\alpha)d\alpha\right) C_0\right] \qquad \text{(I.6)}$$

Ou encore :

$$C_0 = c + \frac{V_R}{Q}\frac{d}{dt}\left[C_0\left(\int_0^t I(\alpha)d\alpha\right)\right]$$

On obtient alors :

$1 = F + \tau\, I(t)$ (I.7) ou $I = \frac{(1-F)}{\tau}$ (I.8)

– Expression de E en fonction de F

On fait une injection-échelon à $t = 0$. Le fluide coloré remplace progressivement le fluide incolore. Ecrivons qu'à $t > 0$, la quantité de fluide coloré qui existe dans le réacteur est égale à la quantité de fluide incolore sortie depuis $t = 0$. On obtient :

$V_R \int_0^t I(\alpha) d\alpha = \int_0^t Q dt' \left[\int_{t'}^{\infty} E(t_s) dt_s\right]$

En dérivant par rapport à t, on obtient :

$V_R I(t) = Q(t) \int_t^{\infty} E(t_s)\, dt_s$

Ou encore : $V_R I(t) = Q\left[1 - \int_0^t E(t_s)\, dt_s\right]$

Ce qui donne : $\tau\, I(t) = 1 - \int_0^t E(t_s)\, dt_s$ ou encore $I(t) = \frac{\left(1-\int_0^t E(t_s) dt_s\right)}{\tau}$ (I.9)

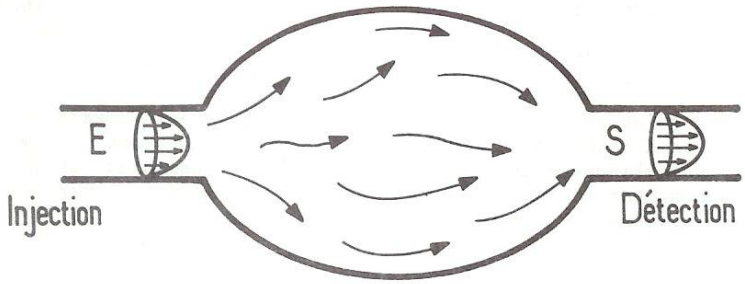
La combinaison des relations (I.8) et (I.9) donne : $F = \int_0^t E\,(t_s) dt_s$ (I.10)

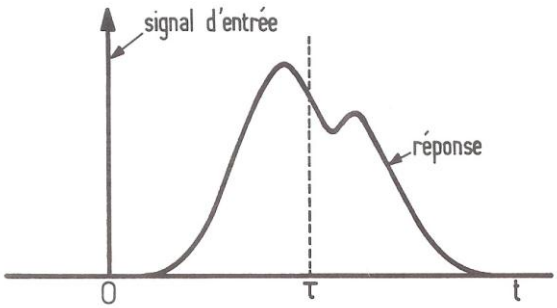
La réponse à une injection-échelon est **la courbe** $\boldsymbol{F = \frac{c(t)}{C_0}}$ mais donne aussi accès aux fonctions de distribution : $\boldsymbol{I = \frac{(1-F)}{\tau}}$ **, et** $\boldsymbol{E = \frac{dF}{dt}}$

La réponse à une purge-échelon dessine directement la forme de **I**

I.3.2 Injection-Impulsion (de type Dirac)

L'expérience consiste à injecter une quantité donnée de traceur (disons n moles) à l'entrée du réacteur, pendant un temps très court devant le temps de passage τ ($< 0{,}01\tau$).





- Expression de E en fonction de C

A l'instant t, la quantité de traceur qui est sortie du réacteur depuis le début de l'expérience est celle qui a un temps de séjour inférieur à t :

$$\int_0^t Qcdt = n\int_0^t E(t_s)\,dt_s \qquad \text{(I.11)}$$

On obtient :

$$Qc(t) = nE(t) \qquad \text{(I.12)}$$

Posons $C_0 = \frac{n}{V_R}$: concentration qu'aurait le traceur uniformément réparti dans tout le volume.

La relation (I.12) devient :

$\frac{1}{\tau}\frac{c(t)}{C_0} = E(t)$

On obtient la DTS : $\boxed{E(t) = \frac{1}{\tau}\, C(t)}$ avec la fonction $C(t) = \frac{c(t)}{C_0}$ (I.13)

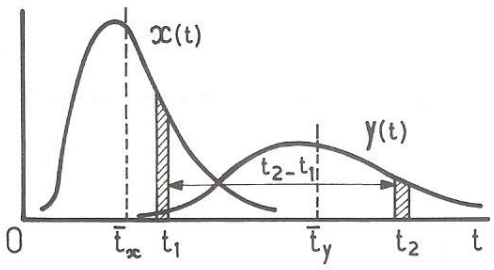
La DTS apparaît ainsi comme la réponse à une injection-impulsion de type Dirac

I.3.3 Injection de forme quelconque. Le réacteur en tant que système linéaire

Un système est dit **linéaire** lorsque les variables d'entrée et de sortie sont reliées par un ensemble d'équations différentielles ou aux dérivées partielles **linéaires**. On peut appliquer dans ce cas le principe de superposition habituel : la réponse à une somme de perturbations est égale à la somme des réponses à chaque perturbation agissant seule.

Le signal de concentration de traceur à la sortie du réacteur suite à une injection de forme quelconque peut donc être considéré comme la réponse d'un système linéaire à une perturbation du signal d'entrée. Soient, un signal de concentration x(t) à l'entrée et la réponse correspondante y(t) en sortie. Nous considérons les signaux normés par$S = \frac{n}{Q}$ De sorte que :

$\int_0^\infty x(t)\, dt = \int_0^\infty y(t)\, dt = 1$



La contribution de l'impulsion élémentaire x (t_1) dt_1, à la réponse au temps t_2, est, par définition la réponse impulsionnelle : $dy = x(t_1)\, dt_1 . E(t_2 - t_1)$.

En sommant sur tous les temps t_1 de 0 à t_2, on obtient :

$y(t_2) = \int_0^{t_2} x(t_1) \cdot E(t_2 - t_1) \cdot dt_1$ (I.14)

Cette intégrale exprime que y est le **produit de convolution** de x par E : $y = x * E$

Introduisons les transformées de Laplace :

$X(s) = \int_0^\infty e^{-st} x(t)dt \quad , \quad Y(s) = \int_0^\infty e^{-st} y(t)dt \quad \text{et} \quad \int_0^\infty e^{-st} E(t)dt = G(s)$ (I.15)

$G(s)$ est la fonction de transfert du réacteur.

La relation (I.14) se traduit dans le domaine de Laplace par :

$Y(s) = X(s) \cdot G(s)$ (I.16)

Relation de Van der Laan :

Comparant la définition des moments (I.4) et celle de la fonction de transfert (I.15) et dérivons n fois cette dernière relation par rapport à s. En passant à la limite $s \to 0$, on établit la relation de Van der Lann :

$$\mu_n = (-1)^n \lim_{s \to 0} \frac{\partial^n G}{\partial s^n}$$ (I.17)

Cette relation est très utile car elle permet de trouver l'expression des moments de la DTS à partir d'un modèle mathématique sans revenir dans le domaine réel. Comme les premiers moments de la DTS sont accessibles à partir de l'expérience, on dispose ainsi d'une méthode d'identification des paramètres des modèles d'écoulement très utilisée dans la pratique.

Soient $\bar{t}_x, \bar{t}_y, \sigma_x^2 et \sigma_y^2$ les moyennes et les variances des signaux d'entrée et de sortie. En appliquant la relation de Van Der Laan à la relation (I.16), on établit les relations suivantes :

$\bar{t}_s = \bar{t}_y - \bar{t}_x \quad$ et $\quad \sigma^2 = \sigma_y^2 - \sigma_x^2$ (I.18)

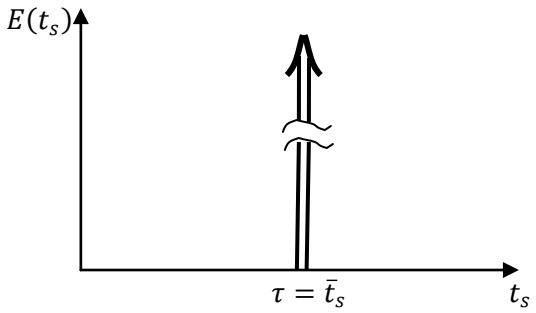
L'opération qui consiste à tirer $\boldsymbol{E(t)}$ d'un couple $(x\ , y)$ à partir de (I.14) ou (I.16) s'appelle une **déconvolution**.

I.4 Distribution des temps de séjour dans les réacteurs idéaux (fluide incompressible)

I.4.1 Réacteur piston

Un réacteur piston se comporte comme un retard pur. Toutes les molécules ont le même temps de séjour $\bar{t}_s = \tau = \frac{V_R}{Q}$. La DTS est un pic très étroit situé au temps τ, soit :

$$E(t_s) = \delta(t_s - \tau) \qquad \text{(I.19)}$$

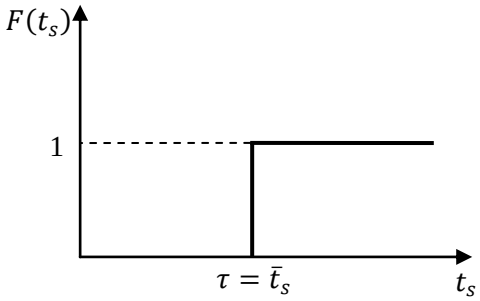


La réponse à un échelon-unité est un échelon-unité décalé de τ dans le temps, soit :

$$F(t_s) = H(t_s - \tau) \qquad \text{(I.20)}$$

Où H est la fonction échelon-unité de Heaviside.

$$H(t) = \begin{cases} 0 \; pour \; t < 0 \\ 1 \; pour \; t \geq 0 \end{cases}$$



I.4.2 Réacteur parfaitement agité continu

Pour établir l'expression de E(t_s), cherchons la réponse à une injection-impulsion. Introduisons une quantité de traceur (n moles) dans le réacteur. La concentration monte instantanément à $C_0 = \frac{n}{V_R}$, puis évolue suivant l'équation :

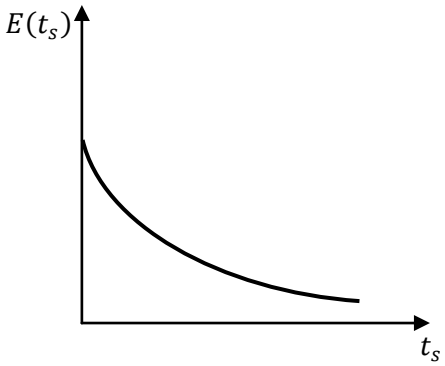
$$0 = Qc + V_R \frac{dc}{dt}$$

On en déduit facilement :

$$C(t) = \frac{c}{c_0} = exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)$$

D'où l'on établit d'après (I.13) la DTS

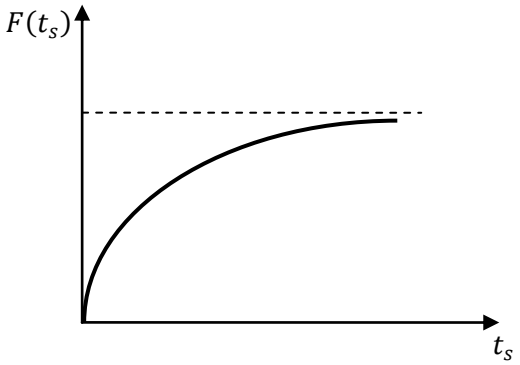
$$E(t_s) = \frac{1}{\tau} exp\left(-\frac{t_s}{\tau}\right) \qquad \text{(I.21)}$$

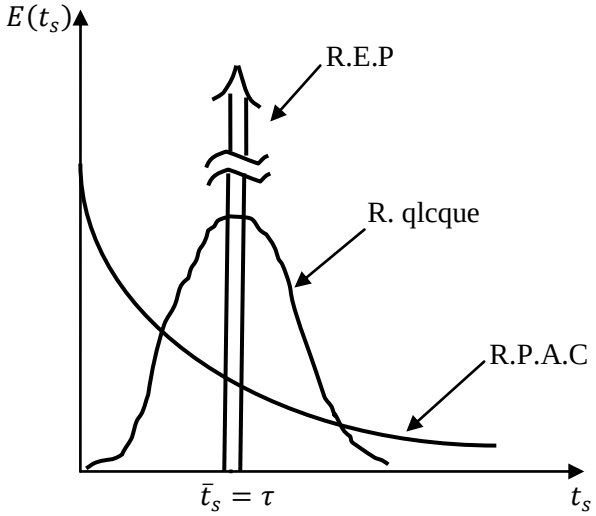


Et la fonction F (la fonction intégrale) :

$F(t_s) = \int_0^{t_s} E(t)\, dt$

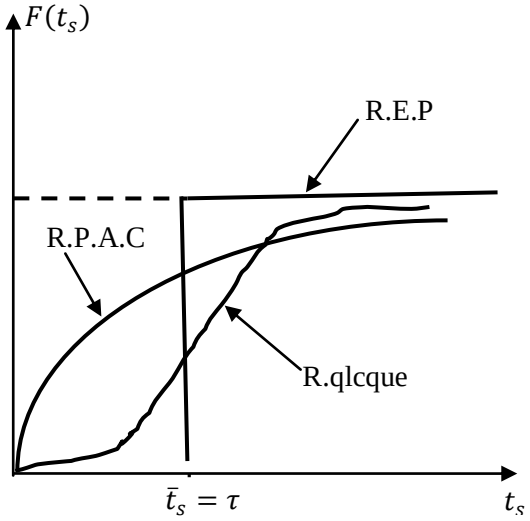
$$F = 1 - exp\left(-\frac{t_s}{\tau}\right) \quad \text{(I.22)}$$





Distribution des temps de séjour.

Fonction de fréquence



Distribution des temps de séjour.

Répartition intégrale

I.4.3 Réacteur quelconque

Dans un réacteur réel où l'écoulement est de type quelconque, on observe en général des courbes intermédiaires entre les deux comportements limites (R.E.P et R.P.A.C).

I.4.4 Exemple : Réacteur tubulaire en écoulement laminaire établi

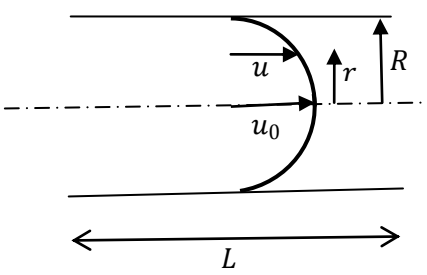
On suppose que l'écoulement est purement convectif en l'absence de toute diffusion. Le profil de vitesse sur la section du réacteur est parabolique : $u = u_0(1 - y^2)$

Où $y = \frac{r}{R}$ est la distance radiale à l'axe du tube, de rayon R. u_0 est la vitesse maximale au centre du tube.

La vitesse moyenne du fluide est $\bar{u} = \frac{u_0}{2}$.

Soit *L* la longueur du tube. Le temps de passage dans le tube est :

$$\tau = \frac{V}{Q} = \frac{\Omega L}{\Omega \bar{u}}$$ avec Ω la section du tube



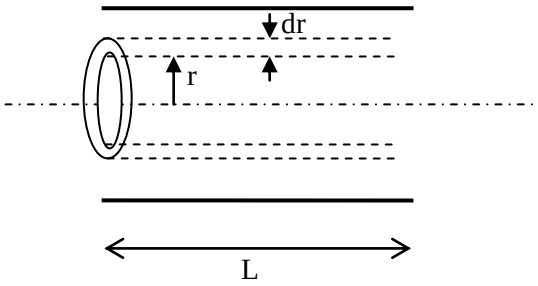
D'où : $\tau = \frac{L}{\bar{u}}$

Le temps de séjour du filet de fluide situé à la distance relative "y" de l'axe du tube est :

$$t_s = \frac{dV_R}{dQ} = \frac{2\pi r\, dr\, L}{u\, 2\pi r\, dr}$$

$$t_s = \frac{L}{u} = \frac{L}{u_0(1-y^2)} = \frac{L}{2\bar{u}(1-y^2)}$$

D'où : $t_s = \frac{\tau}{2(1-y^2)}$



Par définition de la DTS :

$$E(t_s)dt_s = \frac{dQ}{Q} = \frac{u \cdot 2\pi r dr}{\bar{u} \cdot \pi R^2} = \frac{u_0(1-y^2)2r dr}{\bar{u} R^2} = 4y(1-y^2)dy \quad \text{(I.23)}$$

D'autre part, de l'expression de t_s, on tire : $(1-y^2) = \frac{\tau}{2t_s}$ et donc $y = \left(1 - \frac{\tau}{2t_s}\right)^{\frac{1}{2}}$

D'où : $dy = \frac{1}{2}\left(1 - \frac{\tau}{2t_s}\right)^{-\frac{1}{2}}\left(+\frac{\tau}{2t_s^2}\right)dt_s$

En reprenant la relation (I.23), il vient :

$$E(t_s)\,dt_s = 4\left(1-\frac{\tau}{2t_s}\right)^{\frac{1}{2}}\left(\frac{\tau}{2t_s}\right)\times\frac{1}{2}\left(1-\frac{\tau}{2t_s}\right)^{-\frac{1}{2}}\left(\frac{\tau}{2t_s^2}\right)dt_s$$

On obtient enfin :

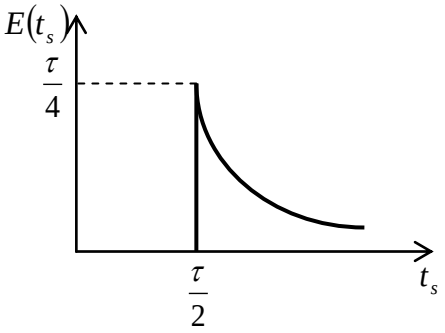
$$E(t_s)=\frac{\tau^2}{2t_s^3}$$

Mais il faut se rendre compte que <u>le plus petit temps de séjour possible</u> est $t_s=\frac{\tau}{2}$ correspondant au filet central, on obtient ainsi :

$$\boxed{E(t_s)=\frac{\tau^2}{2t_s^3}\,H\left(t_s-\frac{\tau}{2}\right)} \quad \text{(I.24)} \qquad \text{avec} \quad H\left(t_s-\frac{\tau}{2}\right) \begin{cases} =0 & t_s<\frac{\tau}{2} \\ =1 & t_s\geq\frac{\tau}{2} \end{cases}$$

La DTS est constituée par un front raide à $t_s=\frac{\tau}{2}$

suivi d'une décroissance en t_s^{-3}



On peut également obtenir F (t) :

$$\boxed{F(t)=\int_{\frac{\tau}{2}}^{t}E(t)dt=1-\frac{1}{4}\left(\frac{t}{\tau}\right)^{-2}}$$

I.5 Interprétation hydrodynamique des mesures de DTS. Diagnostic de mauvais fonctionnement

Supposons que les 5 hypothèses énoncées précédemment soient vérifiées.

Si tout le volume interne V_R est accessible au fluide, il est simple de monter que le temps de passage $\tau = \frac{V_R}{Q}$ est égal au temps de séjour moyen $\bar{t}_s$:

Démonstration :

Le temps de séjour d'un filet (modèle des filets parallèles) est : $t_s = \frac{dV_R}{dQ}$

Et comme $E(t_s)\, dt_s = \frac{dQ}{Q}$, il en résulte que : $\frac{dV_R}{Q} = t_s E(t_s)\, dt_s$, en intégrant sur tous les filets :

$\int_0^\infty \frac{dV_R}{Q} = \int_0^\infty t_s E(t_s)\, dt_s$ soit : $\frac{V_R}{Q} = \tau = \bar{t}_s$ (I.25)

Considérons maintenant une injection-impulsion dans un réacteur (fermé à la diffusion) et parcouru en régime permanent par un fluide incompressible.

Soit $y(t)$ le relevé expérimental de la courbe $C(t)$ en *unités arbitraire*, par exemple sur une bande d'enregistrement.

Plusieurs renseignements peuvent être obtenus à partir d'une telle mesure, suivant la richesse des informations (données) dont on dispose :

1. On ne connaît ni la quantité de traceur injectée, ni la concentration absolue à la sortie. On ne dispose que de $\boldsymbol{y(t)}$.

   On calcule la surface S sous la courbe : $S = \int_0^\infty y(t)$

   La DTS est obtenue par normation : $E(t) = \frac{y(t)}{S}$ (I.26)

   On peut en déduire le temps de séjour moyen : $\bar{t}_s = \frac{1}{S}\int_0^\infty t\, y(t) dt$ (I.27)

2. on connaît de plus la quantité $\boldsymbol{n}$ de traceur injectée et le détecteur de sortie est **étalonné en concentration absolue** $\boldsymbol{y(t) = C(t)}$.

   On déduit le débit volumique de l'expression de n : $n = \int_0^\infty Q\, c\, dt = Q \int_0^\infty c\, dt = Q\, S$

   d'où : $Q = \frac{n}{S}$ (I.28)

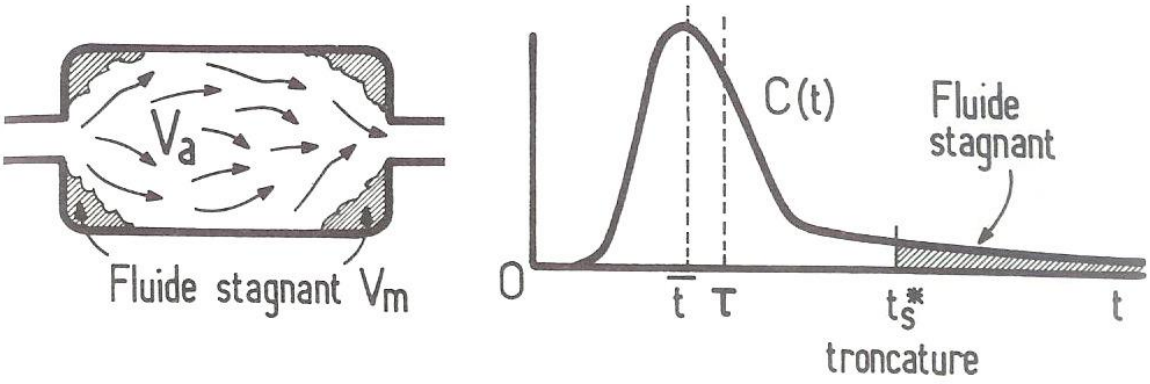
   On calcule ensuite le volume accessible au fluide V_a à partir du temps de séjour moyen déterminé comme suit : $V_a = Q\, \bar{t}_s$ (I.29)

   Cette méthode s'avère très précieuse dans l'étude d'appareils industriels ou de milieux naturels où il n'y a parfois pas d'autre moyen d'accéder à ces grandeurs.

3. On connaît en outre le volume géométrique V_R du réacteur et le débit par des mesures directes. On peut ainsi calculer $\tau = \frac{V_R}{Q_0}$ et le comparer à $\bar{t}_s$.

   - Si $\bar{t}_s < \tau$, ceci peut être l'indice de l'existence d'un volume mort ou stagnant V_m tel que $V_R = V_a + V_m$ d'où : $\frac{V_m}{V_R} = 1 - \frac{\bar{t}_s}{\tau}$ (I.30)

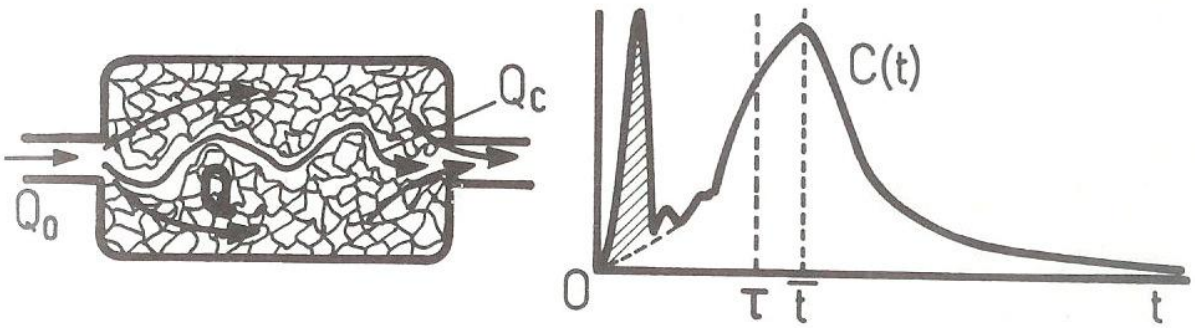
     S'il y a un lent échange de fluide entre le volume accessible et le volume stagnant, la courbe $y(t)$ présente **une traînée**.



   - Si $\bar{t}_s > \tau$, ceci peut signifier qu'il existe un court-circuit, et que le pic initial correspondant au débit de court -circuit Q_c a échappé à l'enregistrement :

     $Q_0 = Q + Q_c$ et $\frac{Q_c}{Q_0} = 1 - \frac{\tau}{\bar{t}_s}$ (I.31)

     Il faut alors refaire l'injection en portant son attention sur les tous premiers instants de la réponse. S'il s'agit d'une injection-impulsion, on observe un pic de court-circuit sortant immédiatement. La surface rapportée à la surface totale sous la courbe donne $\frac{Q_c}{Q_0}$



Enfin ces quelques indications montrent que les mesures de DTS à l'aide de traceurs constituent un outil de diagnostic très précieux, qui donne accès à des paramètres difficiles à mesurer par des méthodes directes. Industriellement, lorsque l'état du mélange réactionnel interdit les mesures physico-chimiques in-situ (suspension, bouillie agressives, etc.), on a recours à des traceurs radioactifs (à des doses compatibles avec les normes de sécurité). Les **émetteurs γ** se prêtent en particulier à une détection à travers les parois du réacteur ou des canalisations.