

Traitement Statistique et Approche Système

...

TD3 d'Approche Système

...

Modélisation et contrôle d'une station d'épuration

Benoît Marx

Centre de Recherche en Automatique de Nancy (CRAN)
Ecole Nationale Supérieure de Géologie (ENSG)

1. Station d'épuration à boues activées

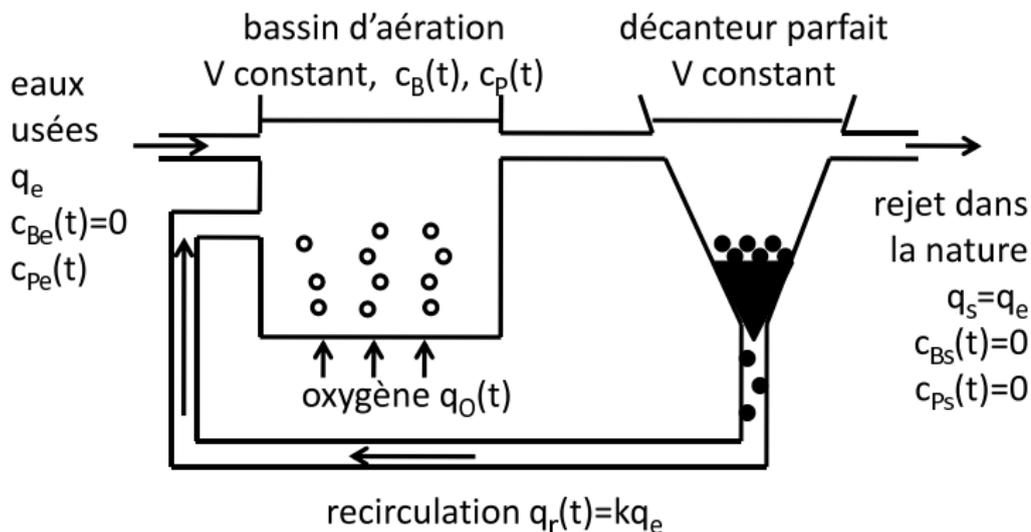
Objectifs :

- Dégrader les polluants P
- Limiter les rejets en sortie

3 composants :

- Bassin d'aération
- Décanteur
- Recirculation

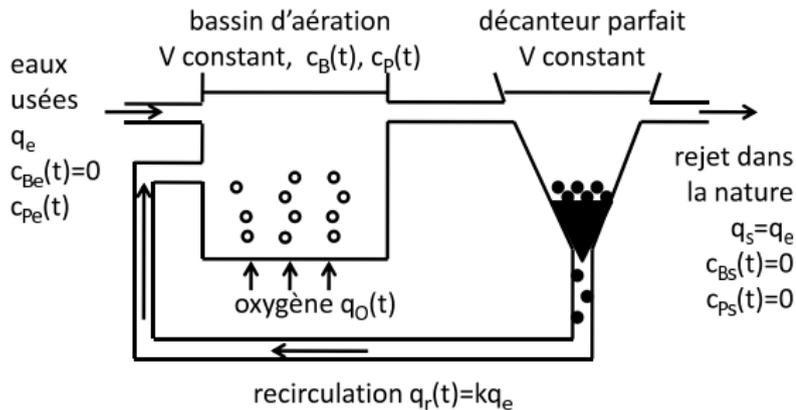
Procédé



1. Station d'épuration à boues activées

Hypothèses :

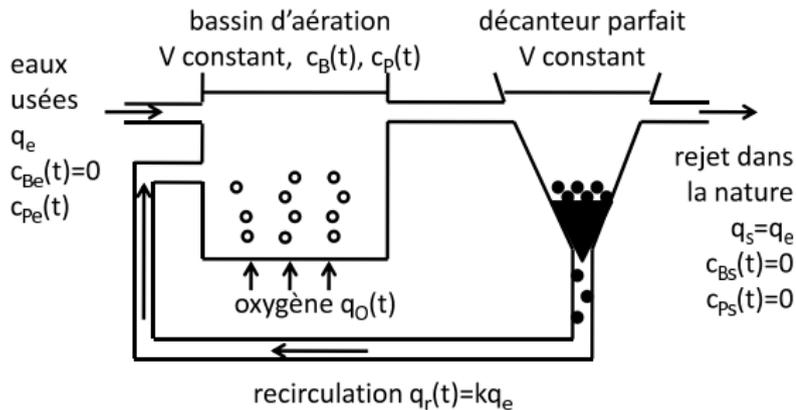
- Volume constant
- q_e constant
- Pas de bactérie en entrée
- Décanteur parfait
- Taux de mortalité M_b
- Vitesse de réaction
$$v(t) = k_v \frac{q_o(t)}{k_o + q_o(t)} C_B(t)$$



1. Station d'épuration à boues activées

Hypothèses :

- Volume constant
- q_e constant
- Pas de bactérie en entrée
- Décanteur parfait
- Taux de mortalité M_b
- Vitesse de réaction
$$v(t) = k_v \frac{q_o(t)}{k_o + q_o(t)} c_B(t)$$

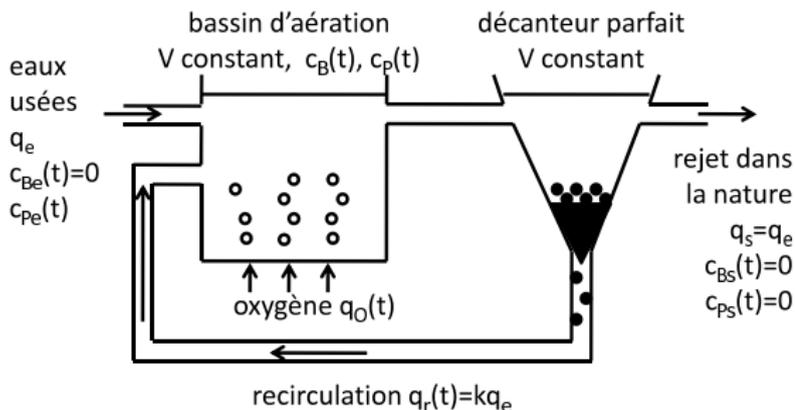


Faire les bilans matière en P et B dans le décanteur parfait

1. Station d'épuration à boues activées

Hypothèses :

- Volume constant
- q_e constant
- Pas de bactérie en entrée
- Décanteur parfait
- Taux de mortalité M_b
- Vitesse de réaction
 $v(t) = k_v \frac{q_o(t)}{k_o + q_o(t)} C_B(t)$



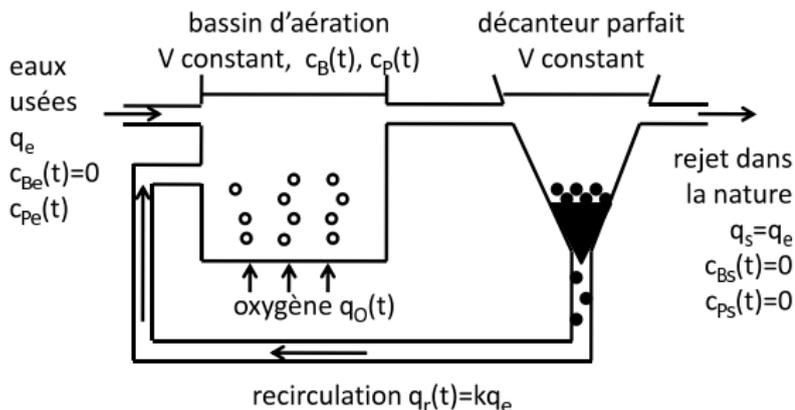
Faire les bilans matière en P et B dans le décanteur parfait

$$\begin{cases} (1 + k)q_e c_B(t) = kq_e c_{Br}(t) \\ (1 + k)q_e c_P(t) = kq_e c_{Pr}(t) \end{cases}$$

1. Station d'épuration à boues activées

Hypothèses :

- Volume constant
- q_e constant
- Pas de bactérie en entrée
- Décanteur parfait
- Taux de mortalité M_b
- Vitesse de réaction
 $v(t) = k_v \frac{q_o(t)}{k_o + q_o(t)} C_B(t)$



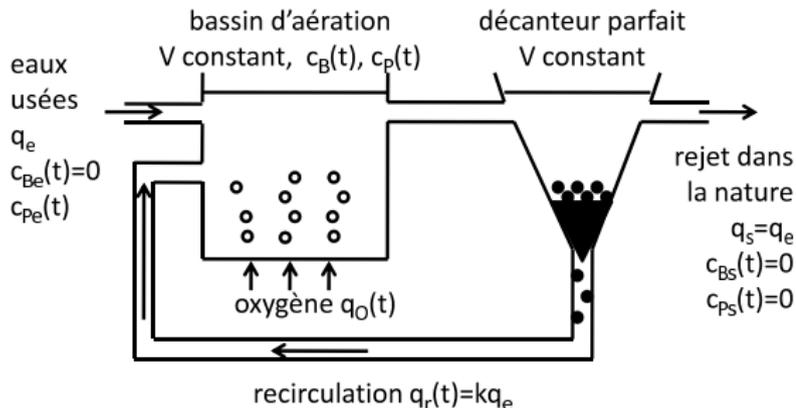
Faire les bilans matière en P et B dans le décanteur parfait

$$\begin{cases} (1+k)q_e C_B(t) = kq_e C_{Br}(t) \\ (1+k)q_e C_P(t) = kq_e C_{Pr}(t) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} C_{Br}(t) = \left(\frac{1+k}{k}\right) C_B(t) \\ C_{Pr}(t) = \left(\frac{1+k}{k}\right) C_P(t) \end{cases}$$

1. Station d'épuration à boues activées

Hypothèses :

- Volume constant
- q_e constant
- Pas de bactérie en entrée
- Décanteur parfait
- Taux de mortalité M_b
- Vitesse de réaction
$$v(t) = k_v \frac{q_o(t)}{k_o + q_o(t)} c_B(t)$$

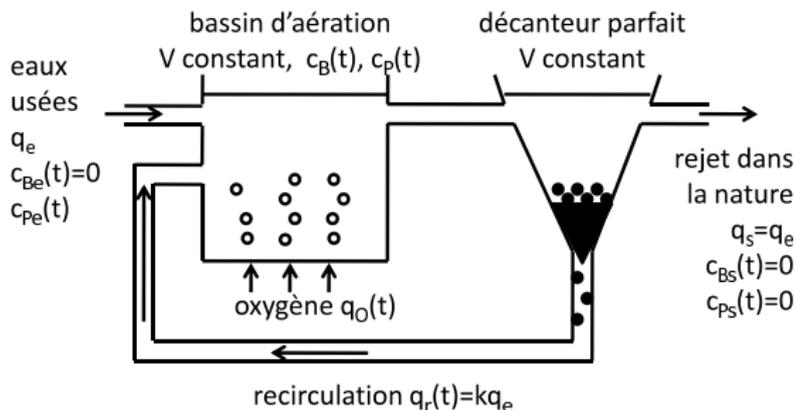


Faire les bilans matière en P et B dans le bassin d'aération

1. Station d'épuration à boues activées

Hypothèses :

- Volume constant
- q_e constant
- Pas de bactérie en entrée
- Décanteur parfait
- Taux de mortalité M_b
- Vitesse de réaction
 $v(t) = k_v \frac{q_o(t)}{k_o + q_o(t)} C_B(t)$



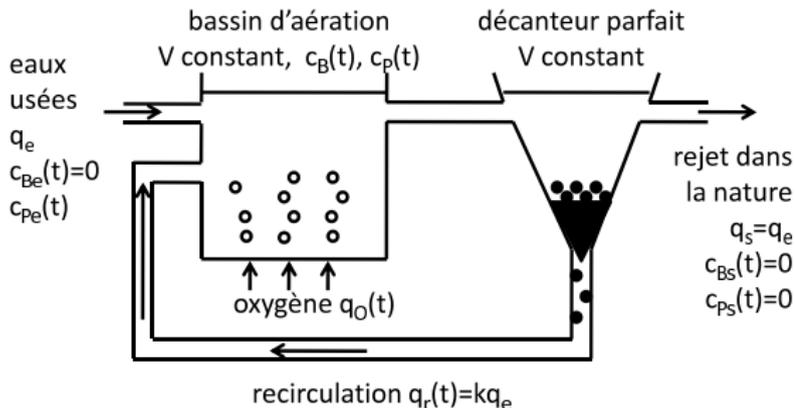
Faire les bilans matière en P et B dans le bassin d'aération

$$\begin{cases} V \dot{c}_P(t) = q_e c_{Pe}(t) + q_e k \frac{1+k}{k} c_P(t) - q_e (1+k) c_P(t) - k_v \frac{q_o(t)}{k_o + q_o(t)} C_B(t) c_P(t) V \\ V \dot{c}_B(t) = q_e k \frac{1+k}{k} c_B(t) - q_e (1+k) c_B(t) + k_v \frac{q_o(t)}{k_o + q_o(t)} C_B(t) c_P(t) V - VM_b C_B(t) \end{cases}$$

1. Station d'épuration à boues activées

Hypothèses :

- Volume constant
- q_e constant
- Pas de bactérie en entrée
- Décanteur parfait
- Taux de mortalité M_b
- Vitesse de réaction
 $v(t) = k_v \frac{q_o(t)}{k_o + q_o(t)} C_B(t)$



Faire les bilans matière en P et B dans le bassin d'aération

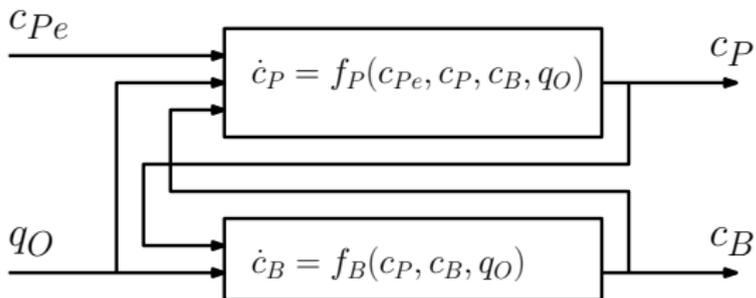
$$\begin{cases} \dot{c}_P(t) = \frac{q_e}{V} C_{Pe}(t) - k_v \frac{q_o(t)}{k_o + q_o(t)} C_B(t) C_P(t) \\ \dot{c}_B(t) = k_v \frac{q_o(t)}{k_o + q_o(t)} C_B(t) C_P(t) - M_b C_B(t) \end{cases}$$

Système de deux équations différentielles **non linéaires couplées**

1. Objectifs

Système de deux équations différentielles non linéaires couplées

$$\begin{cases} \dot{c}_P(t) = \frac{q_e}{V} c_{Pe}(t) - k_v \frac{q_O(t)}{k_0 + q_O(t)} c_B(t) c_P(t) = f_P(c_{Pe}, c_P, c_B, q_O) \\ \dot{c}_B(t) = k_v \frac{q_O(t)}{k_0 + q_O(t)} c_B(t) c_P(t) - M_b c_B(t) = f_B(c_P, c_B, q_O) \end{cases}$$



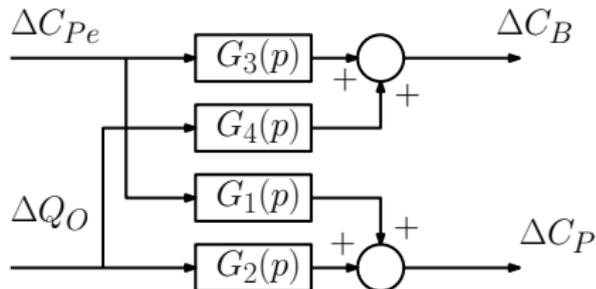
1. Objectifs

Système de deux équations différentielles non linéaires couplées

$$\begin{cases} \dot{c}_P(t) = \frac{q_e}{V} c_{Pe}(t) - k_v \frac{q_O(t)}{k_0 + q_O(t)} c_B(t) c_P(t) = f_P(c_{Pe}, c_P, c_B, q_O) \\ \dot{c}_B(t) = k_v \frac{q_O(t)}{k_0 + q_O(t)} c_B(t) c_P(t) - M_b c_B(t) = f_B(c_P, c_B, q_O) \end{cases}$$

→ Linéariser autour d'un point d'équilibre

→ Découpler le modèle

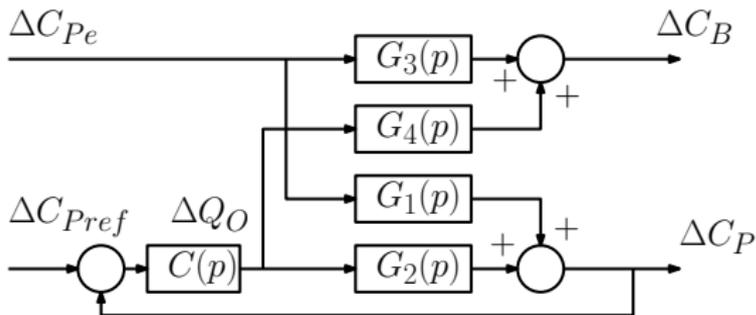


1. Objectifs

Système de deux équations différentielles non linéaires couplées

$$\begin{cases} \dot{c}_P(t) = \frac{q_e}{V} c_{Pe}(t) - k_v \frac{q_0(t)}{k_0 + q_0(t)} c_B(t) c_P(t) = f_P(c_{Pe}, c_P, c_B, q_0) \\ \dot{c}_B(t) = k_v \frac{q_0(t)}{k_0 + q_0(t)} c_B(t) c_P(t) - M_b c_B(t) = f_B(c_P, c_B, q_0) \end{cases}$$

- Linéariser autour d'un point d'équilibre
- Découpler le modèle
- Réguler le rejet de polluant en sortie



2.a. Détermination du point d'équilibre

Système de deux équations différentielles non linéaires couplées

$$\begin{cases} \dot{c}_P(t) = \frac{q_e}{V} c_{Pe}(t) - k_v \frac{q_O(t)}{k_0 + q_O(t)} c_B(t) c_P(t) = f_P(c_{Pe}, c_P, c_B, q_O) \\ \dot{c}_B(t) = k_v \frac{q_O(t)}{k_0 + q_O(t)} c_B(t) c_P(t) - M_b c_B(t) = f_B(c_P, c_B, q_O) \end{cases}$$

Déterminer le point d'équilibre pour $c_{Pe}(t) = c_{Pe0}$ et $q_O(t) = q_{O0}$

2.a. Détermination du point d'équilibre

Systeme de deux équations différentielles non linéaires couplées

$$\begin{cases} \dot{c}_P(t) = \frac{q_e}{V} c_{Pe}(t) - k_v \frac{q_O(t)}{k_0 + q_O(t)} c_B(t) \\ \dot{c}_B(t) = k_v \frac{q_O(t)}{k_0 + q_O(t)} c_B(t) - M_b c_B(t) \end{cases} \begin{matrix} c_P(t) = f_P(c_{Pe}, c_P, c_B, q_O) \\ c_P(t) = f_B(c_P, c_B, q_O) \end{matrix}$$

Déterminer le point d'équilibre pour $c_{Pe}(t) = c_{Pe0}$ et $q_O(t) = q_{O0}$

$$\begin{cases} f_B(eq) = 0 \\ f_P(eq) + f_B(eq) = 0 \end{cases}$$

2.a. Détermination du point d'équilibre

Systeme de deux équations différentielles non linéaires couplées

$$\begin{cases} \dot{c}_P(t) = \frac{q_e}{V} c_{Pe}(t) - k_v \frac{q_O(t)}{k_0 + q_O(t)} c_B(t) \\ \dot{c}_B(t) = k_v \frac{q_O(t)}{k_0 + q_O(t)} c_B(t) - M_b c_B(t) \end{cases} \begin{matrix} c_P(t) = f_P(c_{Pe}, c_P, c_B, q_O) \\ c_B(t) = f_B(c_P, c_B, q_O) \end{matrix}$$

Déterminer le point d'équilibre pour $c_{Pe}(t) = c_{Pe0}$ et $q_O(t) = q_{O0}$

$$\begin{cases} f_B(eq) = 0 \\ f_P(eq) + f_B(eq) = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} c_{P0} = \frac{M_b(q_{O0} + k_0)}{k_v q_{O0}} \\ c_{B0} = \frac{q_e c_{Pe0}}{VM_b} \end{cases}$$

2.a. Détermination du point d'équilibre

Système de deux équations différentielles non linéaires couplées

$$\begin{cases} \dot{c}_P(t) = \frac{q_e}{V} c_{Pe}(t) - k_v \frac{q_O(t)}{k_0 + q_O(t)} c_B(t) & c_P(t) = f_P(c_{Pe}, c_P, c_B, q_O) \\ \dot{c}_B(t) = k_v \frac{q_O(t)}{k_0 + q_O(t)} c_B(t) - M_b c_B(t) & c_B(t) = f_B(c_P, c_B, q_O) \end{cases}$$

Déterminer le point d'équilibre pour $c_{Pe}(t) = c_{Pe0}$ et $q_O(t) = q_{O0}$

$$\begin{cases} f_B(eq) = 0 \\ f_P(eq) + f_B(eq) = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} c_{P0} = \frac{M_b(q_{O0} + k_0)}{k_v q_{O0}} \\ c_{B0} = \frac{q_e c_{Pe0}}{VM_b} \end{cases}$$

On définit les petites variations par :

$$\delta c_{Pe}(t) = c_{Pe}(t) - c_{Pe0}$$

$$\delta c_P(t) = c_P(t) - c_{P0}$$

$$\delta q_O(t) = q_O(t) - q_{O0}$$

$$\delta c_B(t) = c_B(t) - c_{B0}$$

2.a. Linéarisation autour du point d'équilibre

Système de deux équations différentielles non linéaires couplées

$$\begin{cases} \dot{c}_P(t) = \frac{q_e}{V} c_{Pe}(t) - k_v \frac{q_O(t)}{k_0 + q_O(t)} c_B(t) c_P(t) = f_P(c_{Pe}, c_P, c_B, q_O) \\ \dot{c}_B(t) = k_v \frac{q_O(t)}{k_0 + q_O(t)} c_B(t) c_P(t) - M_b c_B(t) = f_B(c_P, c_B, q_O) \end{cases}$$

2.a. Linéarisation autour du point d'équilibre

Système de deux équations différentielles non linéaires couplées

$$\begin{cases} \dot{c}_P(t) = \frac{q_e}{V} c_{Pe}(t) - k_v \frac{q_O(t)}{k_0 + q_O(t)} c_B(t) c_P(t) = f_P(c_{Pe}, c_P, c_B, q_O) \\ \dot{c}_B(t) = k_v \frac{q_O(t)}{k_0 + q_O(t)} c_B(t) c_P(t) - M_b c_B(t) = f_B(c_P, c_B, q_O) \end{cases}$$

Développement de Taylor autour du point d'équilibre de f_P et f_B

2.a. Linéarisation autour du point d'équilibre

Système de deux équations différentielles non linéaires couplées

$$\begin{cases} \dot{c}_P(t) = \frac{q_e}{V} c_{Pe}(t) - k_v \frac{q_O(t)}{k_0 + q_O(t)} c_B(t) & c_P(t) = f_P(c_{Pe}, c_P, c_B, q_O) \\ \dot{c}_B(t) = k_v \frac{q_O(t)}{k_0 + q_O(t)} c_B(t) - M_b c_B(t) & c_B(t) = f_B(c_P, c_B, q_O) \end{cases}$$

Développement de Taylor autour du point d'équilibre de f_P et f_B

$$\begin{cases} f_P(c_{Pe}, \dots) = f_P(c_{Pe0}, \dots) + \frac{\partial f_P}{\partial c_{Pe}} \delta c_{Pe}(t) + \frac{\partial f_P}{\partial c_P} \delta c_P(t) + \frac{\partial f_P}{\partial c_B} \delta c_B(t) + \frac{\partial f_P}{\partial q_O} \delta q_O(t) \\ f_B(c_{Pe}, \dots) = f_B(c_{P0}, \dots) + \frac{\partial f_B}{\partial c_P} \delta c_P(t) + \frac{\partial f_B}{\partial c_B} \delta c_B(t) + \frac{\partial f_B}{\partial q_O} \delta q_O(t) \end{cases}$$

2.a. Linéarisation autour du point d'équilibre

Système de deux équations différentielles non linéaires couplées

$$\begin{cases} \dot{c}_P(t) = \frac{q_e}{V} c_{Pe}(t) - k_v \frac{q_O(t)}{k_0 + q_O(t)} c_B(t) \\ \dot{c}_B(t) = k_v \frac{q_O(t)}{k_0 + q_O(t)} c_B(t) - M_b c_B(t) \end{cases} \begin{matrix} c_P(t) = f_P(c_{Pe}, c_P, c_B, q_O) \\ c_B(t) = f_B(c_P, c_B, q_O) \end{matrix}$$

Développement de Taylor autour du point d'équilibre de f_P et f_B

$$\begin{cases} f_P(c_{Pe}, \dots) = f_P(c_{Pe0}, \dots) + \frac{\partial f_P}{\partial c_{Pe}} \delta c_{Pe}(t) + \frac{\partial f_P}{\partial c_P} \delta c_P(t) + \frac{\partial f_P}{\partial c_B} \delta c_B(t) + \frac{\partial f_P}{\partial q_O} \delta q_O(t) \\ f_B(c_{Pe}, \dots) = f_B(c_{P0}, \dots) + \frac{\partial f_B}{\partial c_P} \delta c_P(t) + \frac{\partial f_B}{\partial c_B} \delta c_B(t) + \frac{\partial f_B}{\partial q_O} \delta q_O(t) \end{cases}$$

Equations différentielles linéaires en les petites variations

2.a. Linéarisation autour du point d'équilibre

Système de deux équations différentielles non linéaires couplées

$$\begin{cases} \dot{c}_P(t) = \frac{q_e}{V} c_{Pe}(t) - k_v \frac{q_O(t)}{k_O + q_O(t)} c_B(t) & c_P(t) = f_P(c_{Pe}, c_P, c_B, q_O) \\ \dot{c}_B(t) = k_v \frac{q_O(t)}{k_O + q_O(t)} c_B(t) - M_b c_B(t) & c_B(t) = f_B(c_P, c_B, q_O) \end{cases}$$

Développement de Taylor autour du point d'équilibre de f_P et f_B

$$\begin{cases} f_P(c_{Pe}, \dots) = f_P(c_{Pe0}, \dots) + \frac{\partial f_P}{\partial c_{Pe}} \delta c_{Pe}(t) + \frac{\partial f_P}{\partial c_P} \delta c_P(t) + \frac{\partial f_P}{\partial c_B} \delta c_B(t) + \frac{\partial f_P}{\partial q_O} \delta q_O(t) \\ f_B(c_{Pe}, \dots) = f_B(c_{P0}, \dots) + \frac{\partial f_B}{\partial c_P} \delta c_P(t) + \frac{\partial f_B}{\partial c_B} \delta c_B(t) + \frac{\partial f_B}{\partial q_O} \delta q_O(t) \end{cases}$$

Equations différentielles linéaires en les petites variations

$$\begin{cases} \delta c'_P(t) = \left(\frac{q_e}{V}\right) \delta c_{Pe}(t) + \left(\frac{-k_v q_{O0} c_{P0}}{k_O + q_{O0}}\right) \delta c_B(t) + \left(\frac{-k_v k_O c_{P0} c_{B0}}{(k_O + q_{O0})^2}\right) \delta q_O(t) + \left(\frac{-k_v q_{O0} c_{B0}}{k_O + q_{O0}}\right) \delta c_P(t) \\ \delta c'_B(t) = \left(\frac{k_v q_{O0} c_{P0}}{k_O + q_{O0}} - M_b\right) \delta c_B(t) + \left(\frac{k_v k_O c_{P0} c_{B0}}{(k_O + q_{O0})^2}\right) \delta q_O(t) + \left(\frac{k_v q_{O0} c_{B0}}{k_O + q_{O0}}\right) \delta c_P(t) \end{cases}$$

2.b. Mise sous forme de fonction de transfert

Equations différentielles linéaires en les petites variations

$$\begin{cases} \delta c'_P(t) = \left(\frac{q_e}{V}\right) \delta c_{Pe}(t) + \left(\frac{-k_v q_{O0} c_{P0}}{k_O + q_{O0}}\right) \delta c_B(t) + \left(\frac{-k_v k_O c_{P0} c_{B0}}{(k_O + q_{O0})^2}\right) \delta q_O(t) + \left(\frac{-k_v q_{O0} c_{B0}}{k_O + q_{O0}}\right) \delta c_P(t) \\ \delta c'_B(t) = \left(\frac{k_v q_{O0} c_{P0}}{k_O + q_{O0}} - M_b\right) \delta c_B(t) + \left(\frac{k_v k_O c_{P0} c_{B0}}{(k_O + q_{O0})^2}\right) \delta q_O(t) + \left(\frac{k_v q_{O0} c_{B0}}{k_O + q_{O0}}\right) \delta c_P(t) \end{cases}$$

Avec la transformée de Laplace et *C.l.* = eq les eq. diff. donnent

2.b. Mise sous forme de fonction de transfert

Equations différentielles linéaires en les petites variations

$$\begin{cases} \delta c'_P(t) = \left(\frac{q_e}{V}\right) \delta c_{Pe}(t) + \left(\frac{-k_v q_{O0} c_{P0}}{k_O + q_{O0}}\right) \delta c_B(t) + \left(\frac{-k_v k_O c_{P0} c_{B0}}{(k_O + q_{O0})^2}\right) \delta q_O(t) + \left(\frac{-k_v q_{O0} c_{B0}}{k_O + q_{O0}}\right) \delta c_P(t) \\ \delta c'_B(t) = \left(\frac{k_v q_{O0} c_{P0}}{k_O + q_{O0}} - M_b\right) \delta c_B(t) + \left(\frac{k_v k_O c_{P0} c_{B0}}{(k_O + q_{O0})^2}\right) \delta q_O(t) + \left(\frac{k_v q_{O0} c_{B0}}{k_O + q_{O0}}\right) \delta c_P(t) \end{cases}$$

Avec la transformée de Laplace et *C.l.* = eq les eq. diff. donnent

$$\begin{cases} \Delta C_P(p) = H_1(p) \Delta C_{Pe}(p) + H_2(p) \Delta C_B(p) + H_3(p) \Delta Q_O(p) \\ \Delta C_B(p) = H_4(p) \Delta C_P(p) + H_5(p) \Delta Q_O(p) \end{cases}$$

2.c. Mise sous forme de schéma-blocs

Les relations entrée/sortie sont :

$$\begin{cases} \Delta C_P(p) = H_1(p)\Delta C_{Pe}(p) + H_2(p)\Delta C_B(p) + H_3(p)\Delta Q_O(p) \\ \Delta C_B(p) = H_4(p)\Delta C_P(p) + H_5(p)\Delta Q_O(p) \end{cases}$$

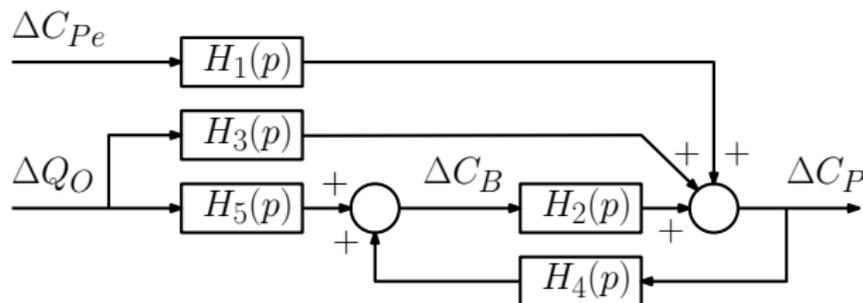
Donner le schéma bloc équivalent

2.c. Mise sous forme de schéma-blocs

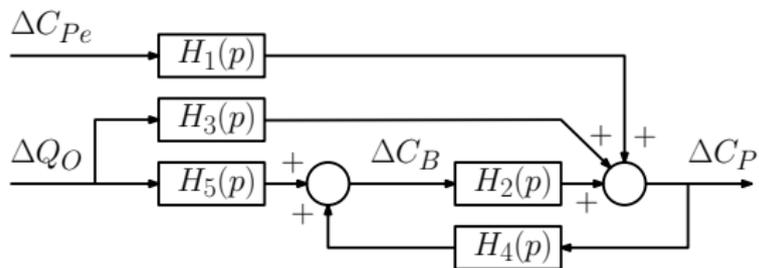
Les relations entrée/sortie sont :

$$\begin{cases} \Delta C_P(p) = H_1(p)\Delta C_{Pe}(p) + H_2(p)\Delta C_B(p) + H_3(p)\Delta Q_O(p) \\ \Delta C_B(p) = H_4(p)\Delta C_P(p) + H_5(p)\Delta Q_O(p) \end{cases}$$

Donner le schéma bloc équivalent

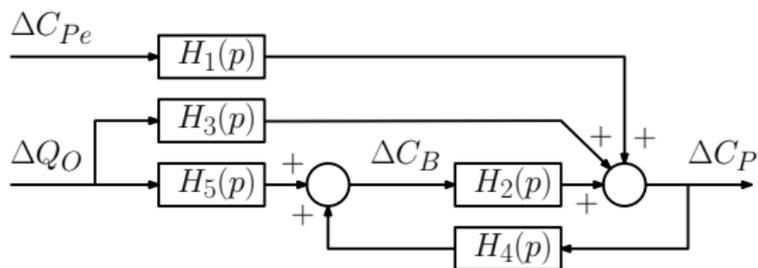


2.d. Découplage du modèle linéaire pour $\Delta C_P(p)$



Donner les fonctions de transfert entrées/sorties découplées

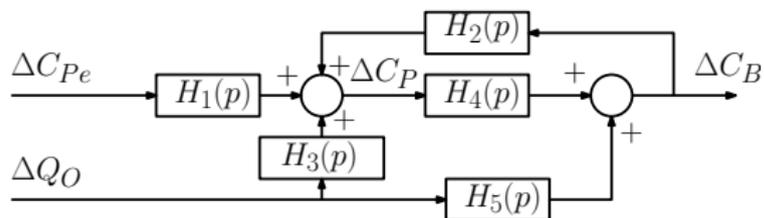
2.d. Découplage du modèle linéaire pour $\Delta C_P(p)$



Donner les fonctions de transfert entrées/sorties découplées

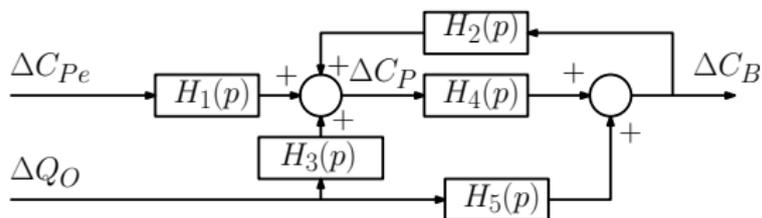
$$\Delta C_P(p) = \left(\frac{H_1(p)}{1 - H_2(p)H_4(p)} \right) \Delta C_{Pe}(p) + \left(\frac{H_3(p) + H_2(p)H_5(p)}{1 - H_2(p)H_4(p)} \right) \Delta Q_O(p)$$

2.d. Découplage du modèle linéaire pour $\Delta C_B(p)$



Donner les fonctions de transfert entrées/sorties découplées

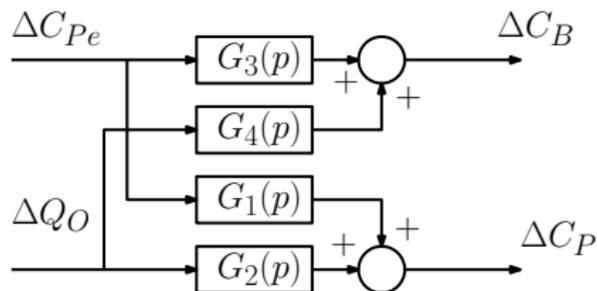
2.d. Découplage du modèle linéaire pour $\Delta C_B(p)$



Donner les fonctions de transfert entrées/sorties découplées

$$\Delta C_B(p) = \left(\frac{H_1(p)H_4(p)}{1 - H_2(p)H_4(p)} \right) \Delta C_{Pe}(p) + \left(\frac{H_5(p) + H_3(p)H_4(p)}{1 - H_2(p)H_4(p)} \right) \Delta Q_O(p)$$

2.e. Modèle linéaire découplé



Fonctions de transfert entrées/sorties découplées

$$\begin{cases} \Delta C_P(p) = G_1(p)\Delta C_{Pe}(p) + G_2(p)\Delta Q_O(p) \\ \Delta C_B(p) = G_3(p)\Delta C_{Pe}(p) + G_4(p)\Delta Q_O(p) \end{cases}$$

$$G_1(p) = \frac{H_1(p)}{1 - H_2(p)H_4(p)}$$

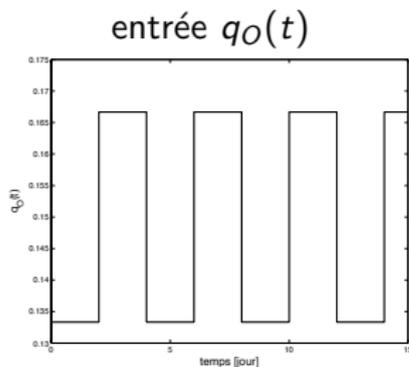
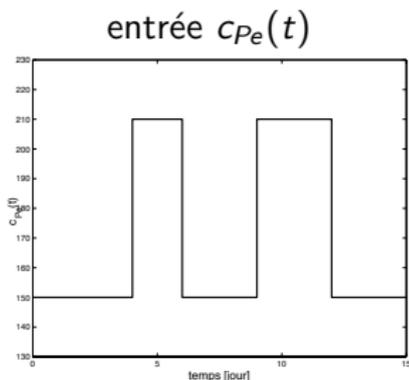
$$G_2(p) = \frac{H_3(p) + H_2(p)H_5(p)}{1 - H_2(p)H_4(p)}$$

$$G_3(p) = \frac{H_1(p)H_4(p)}{1 - H_2(p)H_4(p)}$$

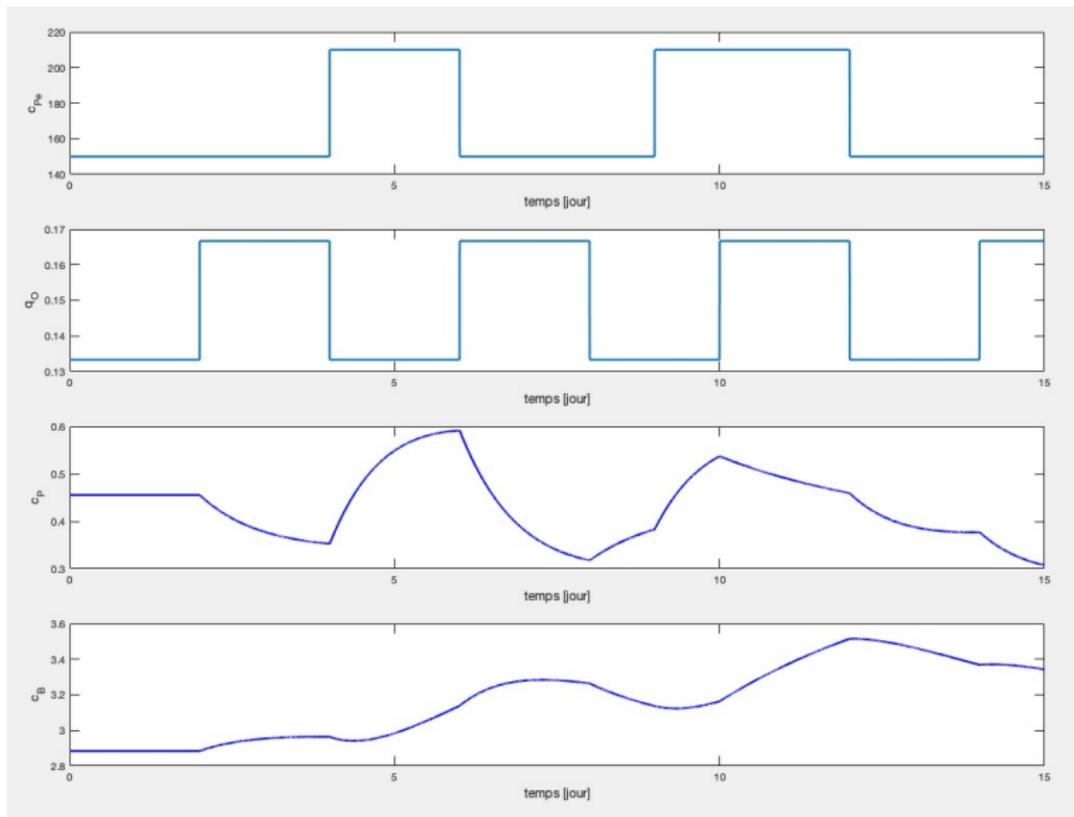
$$G_4(p) = \frac{H_5(p) + H_3(p)H_4(p)}{1 - H_2(p)H_4(p)}$$

3.a. et 3.b. Simulation du modèle linéaire en BO

- Télécharger (clic droit+enregistrer la cible ...) le programme du TD3
- Compléter le programme
- Simuler le modèle de la station d'épuration

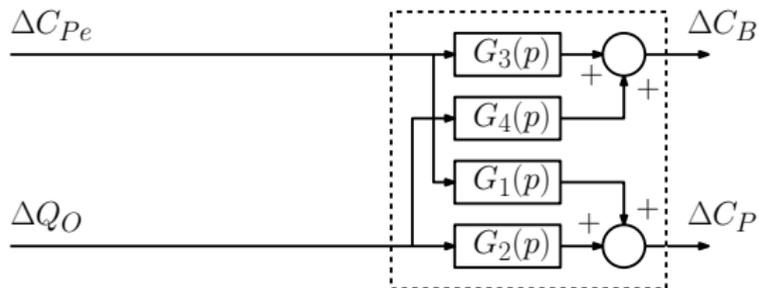


3.b. Simulation du modèle linéaire en BO



4.a. Contrôle par rejet de l'influence de $c_{Pe}(t)$

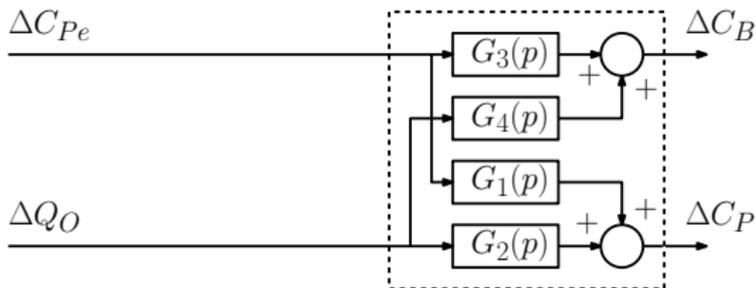
Comment rendre $c_P(t)$ insensible à $c_{Pe}(t)$?



4.a. Contrôle par rejet de l'influence de $c_{Pe}(t)$

Comment rendre $c_P(t)$ insensible à $c_{Pe}(t)$?

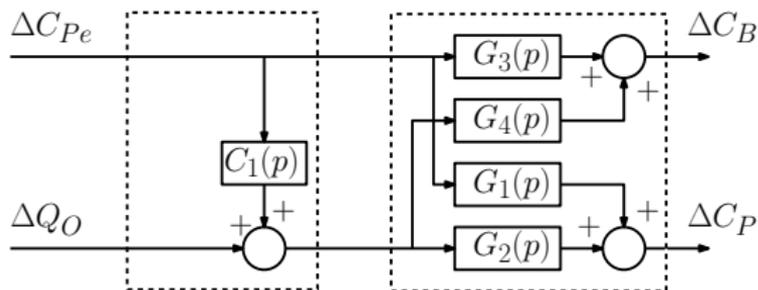
- Ajouter un capteur de concentration en entrée de la station
- Adapter $\delta q_O(t)$ en fonction de $\delta c_{Pe}(t)$ mesuré
- Annuler la fonction de transfert de $\Delta C_{Pe}(p)$ vers $\Delta C_P(p)$



4.a. Contrôle par rejet de l'influence de $c_{Pe}(t)$

Comment rendre $c_P(t)$ insensible à $c_{Pe}(t)$?

- Ajouter un capteur de concentration en entrée de la station
- Adapter $\delta q_O(t)$ en fonction de $\delta c_{Pe}(t)$ mesuré
- Annuler la fonction de transfert de $\Delta C_{Pe}(p)$ vers $\Delta C_P(p)$

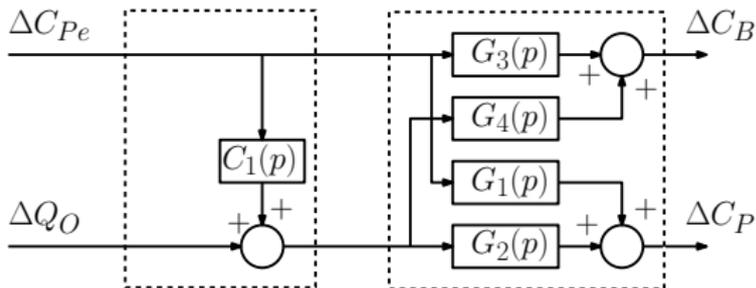


Nouvelles fonctions de transfert des entrées vers les sorties

4.a. Contrôle par rejet de l'influence de $c_{Pe}(t)$

Comment rendre $c_P(t)$ insensible à $c_{Pe}(t)$?

- Ajouter un capteur de concentration en entrée de la station
- Adapter $\delta q_O(t)$ en fonction de $\delta c_{Pe}(t)$ mesuré
- Annuler la fonction de transfert de $\Delta C_{Pe}(p)$ vers $\Delta C_P(p)$



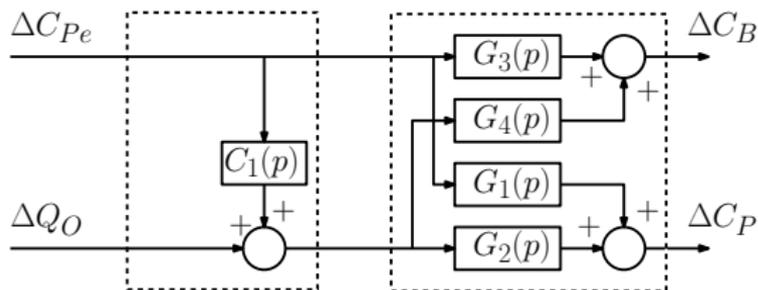
Nouvelles fonctions de transfert des entrées vers les sorties

$$\begin{cases} \Delta C_P(p) = (G_1(p) + C_1(p)G_2(p))\Delta C_{Pe}(p) + G_2(p)\Delta Q_O(p) \\ \Delta C_B(p) = (G_3(p) + C_1(p)G_4(p))\Delta C_{Pe}(p) + G_4(p)\Delta Q_O(p) \end{cases}$$

4.a. Contrôle par rejet de l'influence de $c_{Pe}(t)$

Comment rendre $c_P(t)$ insensible à $c_{Pe}(t)$?

- Ajouter un capteur de concentration en entrée de la station
- Adapter $\delta q_O(t)$ en fonction de $\delta c_{Pe}(t)$ mesuré
- Annuler la fonction de transfert de $\Delta C_{Pe}(p)$ vers $\Delta C_P(p)$

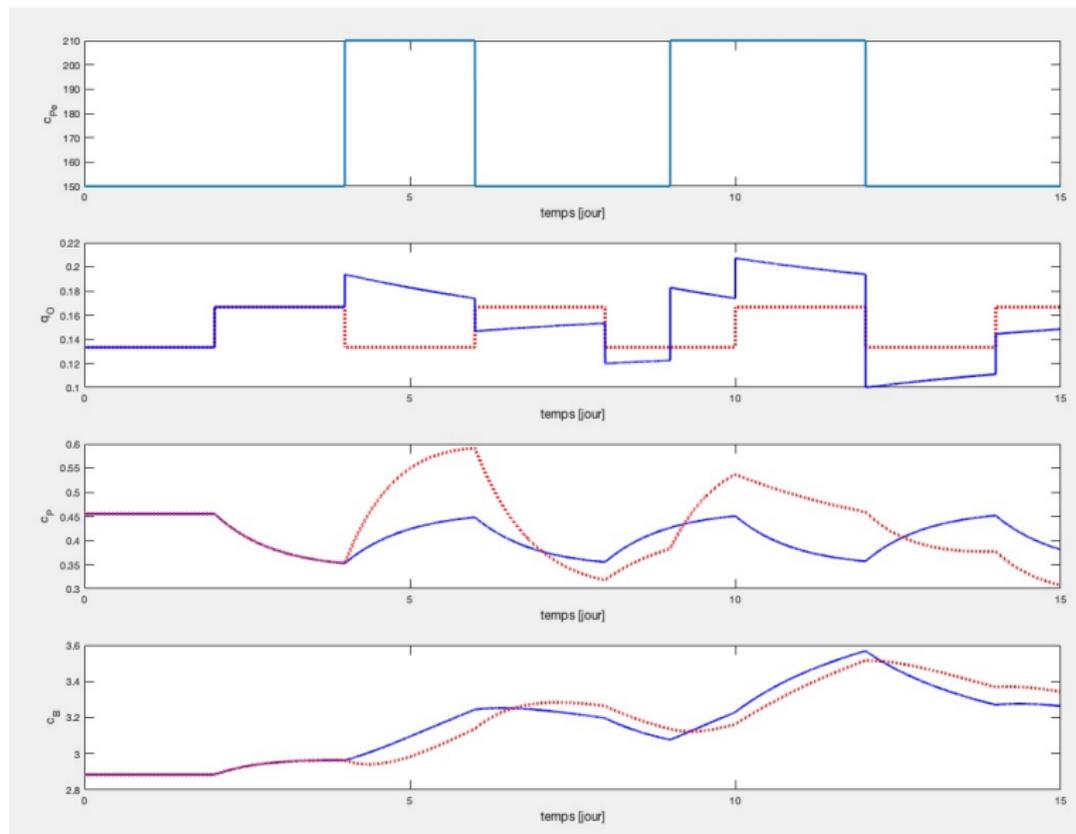


Nouvelles fonctions de transfert des entrées vers les sorties

$$\begin{cases} \Delta C_P(p) = (G_1(p) + C_1(p)G_2(p))\Delta C_{Pe}(p) + G_2(p)\Delta Q_O(p) \\ \Delta C_B(p) = (G_3(p) + C_1(p)G_4(p))\Delta C_{Pe}(p) + G_4(p)\Delta Q_O(p) \end{cases}$$

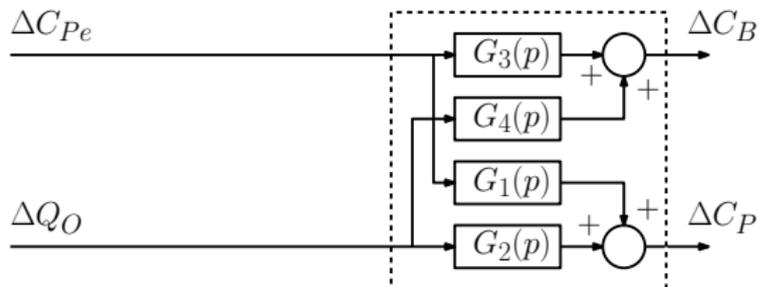
$$\text{avec } C_1(p) = -\frac{G_1(p)}{G_2(p)}$$

4.a. Simulation du rejet de l'influence de $c_{Pe}(t)$



4.b. Régulation de $c_P(t)$

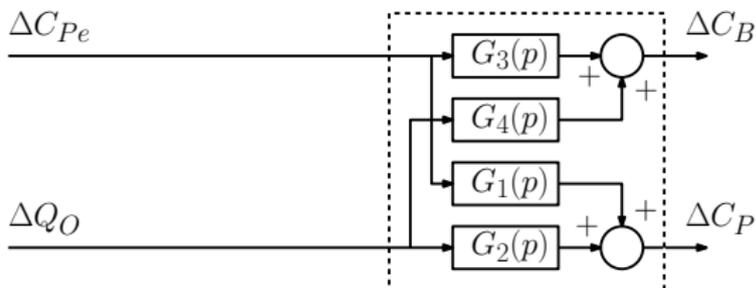
Comment faire suivre $c_{Pref}(t)$ à $c_P(t)$?



4.b. Régulation de $c_P(t)$

Comment faire suivre $c_{Pref}(t)$ à $c_P(t)$?

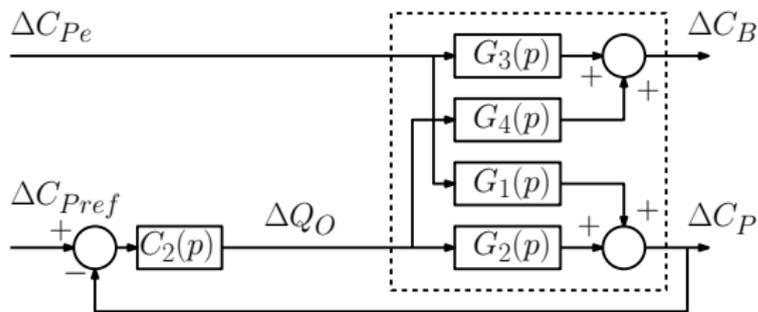
- Ajouter un capteur de concentration en sortie de la station
- Adapter $\delta q_O(t)$ en fonction de l'écart entre $\delta c_{Pref}(t)$ et $\delta c_{Pe}(t)$ mesuré



4.b. Régulation de $c_P(t)$

Comment faire suivre $c_{Pref}(t)$ à $c_P(t)$?

- Ajouter un capteur de concentration en sortie de la station
- Adapter $\delta q_O(t)$ en fonction de l'écart entre $\delta c_{Pref}(t)$ et $\delta c_{Pe}(t)$ mesuré

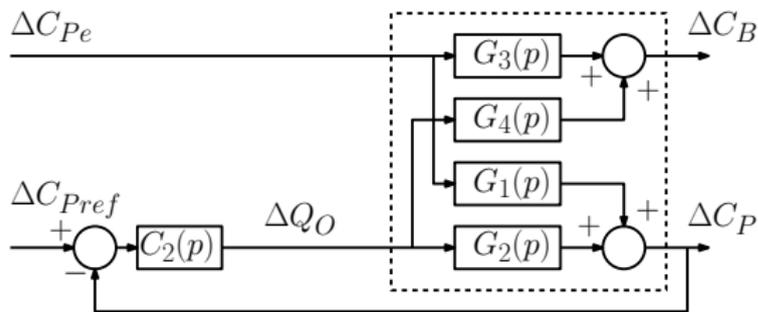


Calculer les fonctions de transfert en BF avec $C_2(p)$

4.b. Régulation de $c_P(t)$

Comment faire suivre $c_{P_{ref}}(t)$ à $c_P(t)$?

- Ajouter un capteur de concentration en sortie de la station
- Adapter $\delta q_O(t)$ en fonction de l'écart entre $\delta c_{P_{ref}}(t)$ et $\delta c_{P_e}(t)$ mesuré



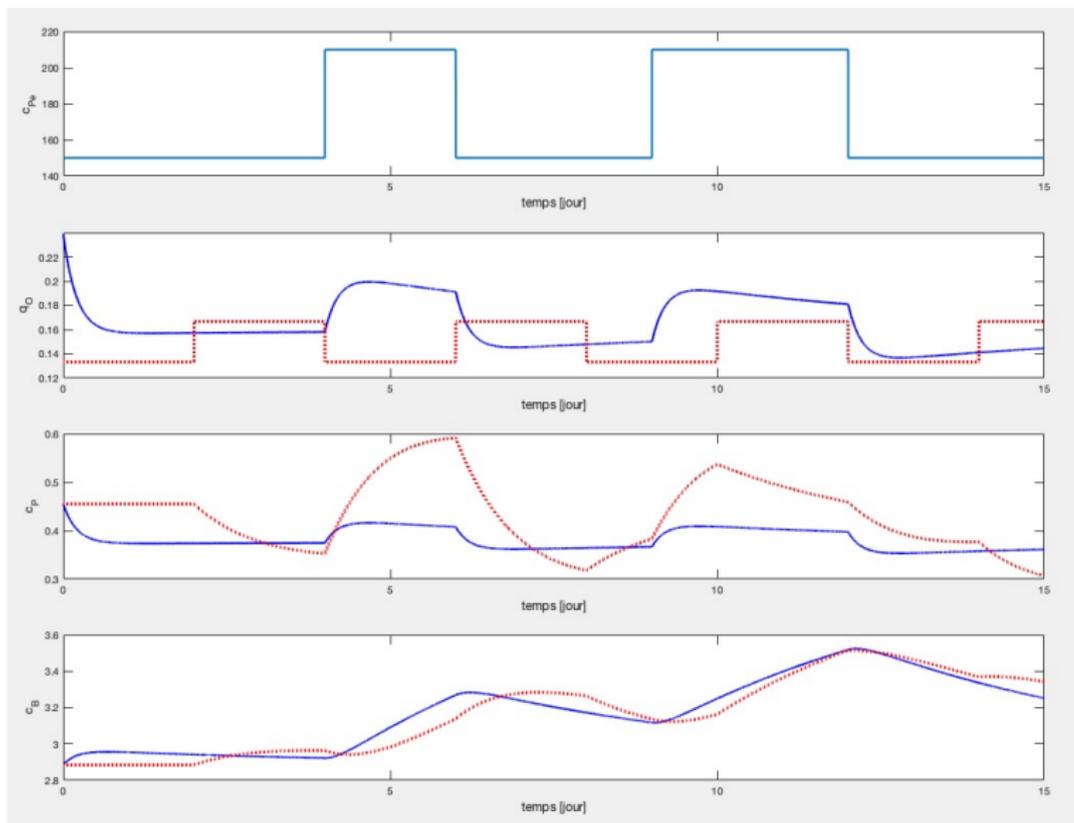
Calculer les fonctions de transfert en BF avec $C_2(p)$

$$\Delta C_P(p) = \left(\frac{G_1(p)}{1 + C_2(p)G_2(p)} \right) \Delta C_{Pe}(p) + \left(\frac{C_2(p)G_2(p)}{1 + C_2(p)G_2(p)} \right) \Delta C_{Pref}(p)$$

$$\Delta C_B(p) = \left(G_3(p) - \frac{G_1(p)C_2(p)G_4(p)}{1 + C_2(p)G_2(p)} \right) \Delta C_{Pe}(p) + \left(\frac{C_2(p)G_4(p)}{1 + C_2(p)G_2(p)} \right) \Delta C_{Pref}(p)$$

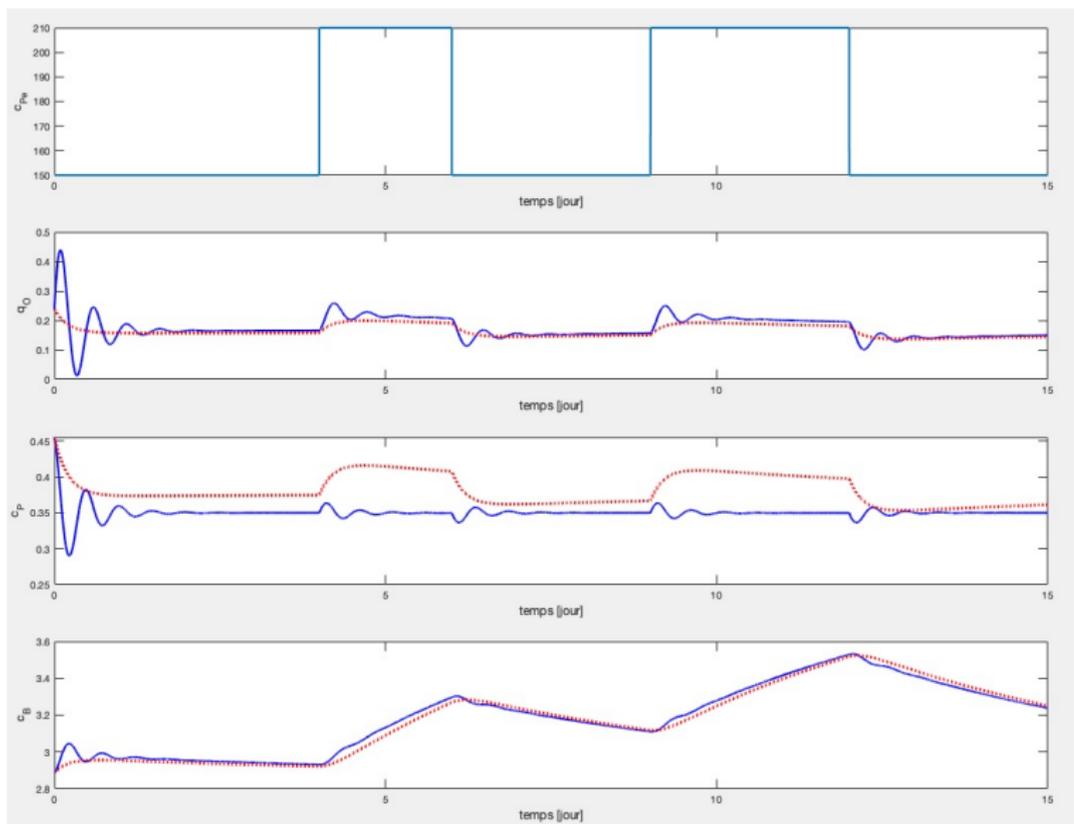
4.c. Simulation en BF avec un correcteur P

On prend $C(p) = K$ avec $K = -1$



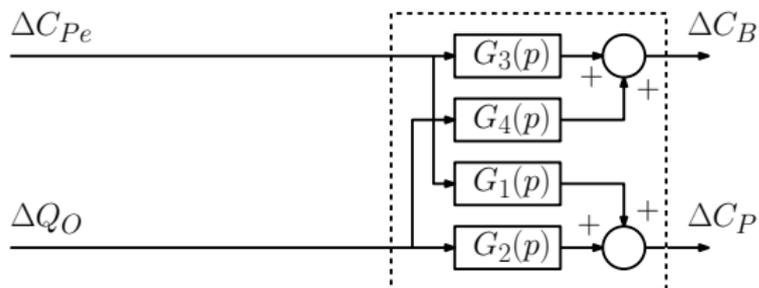
4.d. Simulation en BF avec un correcteur PI

On prend $C(p) = K \left(\frac{1+T_p}{T_p} \right)$ avec $K = -1$ et $T = 2000$



4.e. Régulation de $c_P(t)$ et rejet de $c_{Pe}(t)$

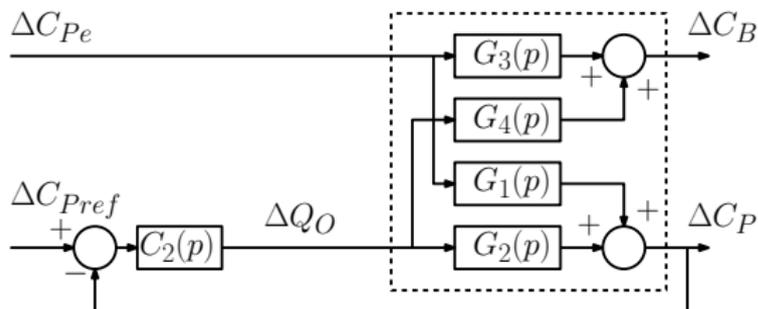
Comment faire suivre $c_{P_{ref}}(t)$ à $c_P(t)$ et rejeter $c_{Pe}(t)$?



4.e. Régulation de $c_P(t)$ et rejet de $c_{Pe}(t)$

Comment faire suivre $c_{P_{ref}}(t)$ à $c_P(t)$ et rejeter $c_{Pe}(t)$?

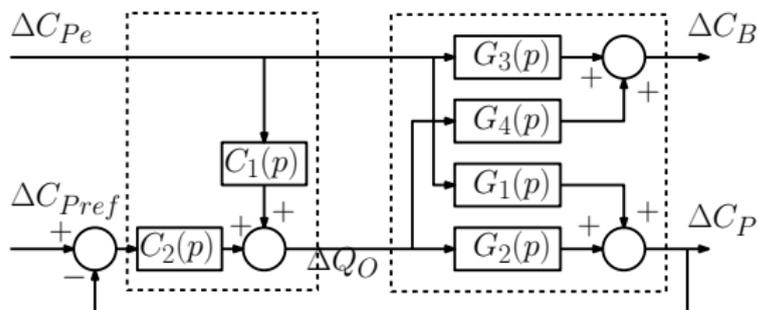
- Ajouter un capteur de concentration en entrée de la station
- Adapter $\delta q_O(t)$ en fonction de l'écart entre $\delta c_{P_{ref}}(t)$ et $\delta c_{Pe}(t)$ mesuré



4.e. Régulation de $c_P(t)$ et rejet de $c_{Pe}(t)$

Comment faire suivre $c_{P_{ref}}(t)$ à $c_P(t)$ et rejeter $c_{Pe}(t)$?

- Ajouter un capteur de concentration en entrée de la station
- Adapter $\delta q_O(t)$ en fonction de l'écart entre $\delta c_{P_{ref}}(t)$ et $\delta c_{Pe}(t)$ mesuré
- Ajouter un capteur de concentration en sortie de la station
- Adapter $\delta q_O(t)$ en fonction de $\delta c_{Pe}(t)$ mesuré

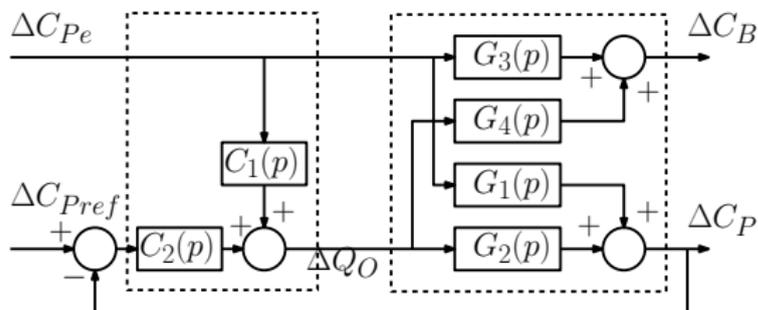


Calculer les fonctions de transfert en BF avec $C_1(p)$ et $C_2(p)$

4.e. Régulation de $c_P(t)$ et rejet de $c_{Pe}(t)$

Comment faire suivre $c_{P_{ref}}(t)$ à $c_P(t)$ et rejeter $c_{Pe}(t)$?

- Ajouter un capteur de concentration en entrée de la station
- Adapter $\delta q_O(t)$ en fonction de l'écart entre $\delta c_{P_{ref}}(t)$ et $\delta c_{Pe}(t)$ mesuré
- Ajouter un capteur de concentration en sortie de la station
- Adapter $\delta q_O(t)$ en fonction de $\delta c_{Pe}(t)$ mesuré

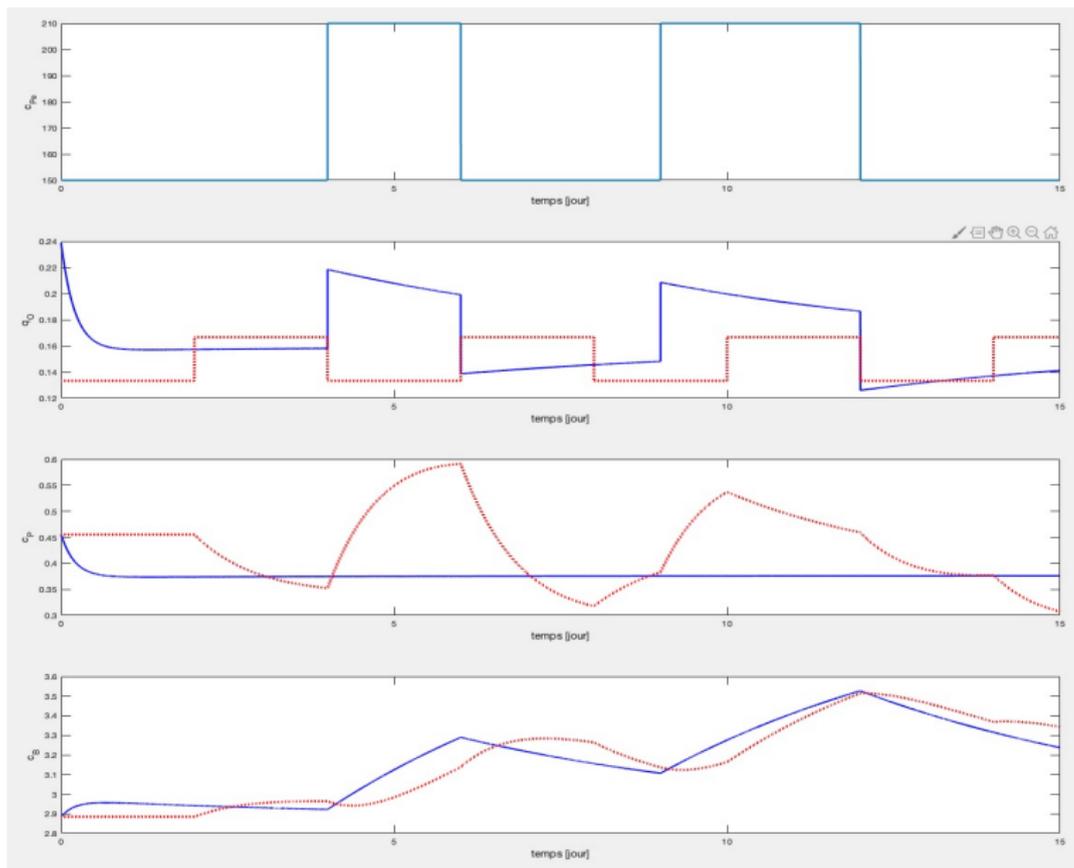


Calculer les fonctions de transfert en BF avec $C_1(p)$ et $C_2(p)$

$$\Delta C_P(p) = \left(\frac{G_1(p) + C_1(p)G_2(p)}{1 + C_2(p)G_2(p)} \right) \Delta C_{Pe}(p) + \left(\frac{C_2(p)G_2(p)}{1 + C_2(p)G_2(p)} \right) \Delta C_{P_{ref}}(p)$$

$$\Delta C_B(p) = \left(G_3(p) + \frac{C_1(p)G_4(p) - G_1(p)C_2(p)G_4(p)}{1 + C_2(p)G_2(p)} \right) \Delta C_{Pe}(p) + \left(\frac{C_2(p)G_4(p)}{1 + C_2(p)G_2(p)} \right) \Delta C_{P_{ref}}(p)$$

4e. Simulation en BF avec correcteur P et $C_1(p)$



4e. Simulation en BF avec correcteur PI et $C_1(p)$

