

Exercice Long : Optimisation non-linéaire
Travail en binôme (ou monôme)

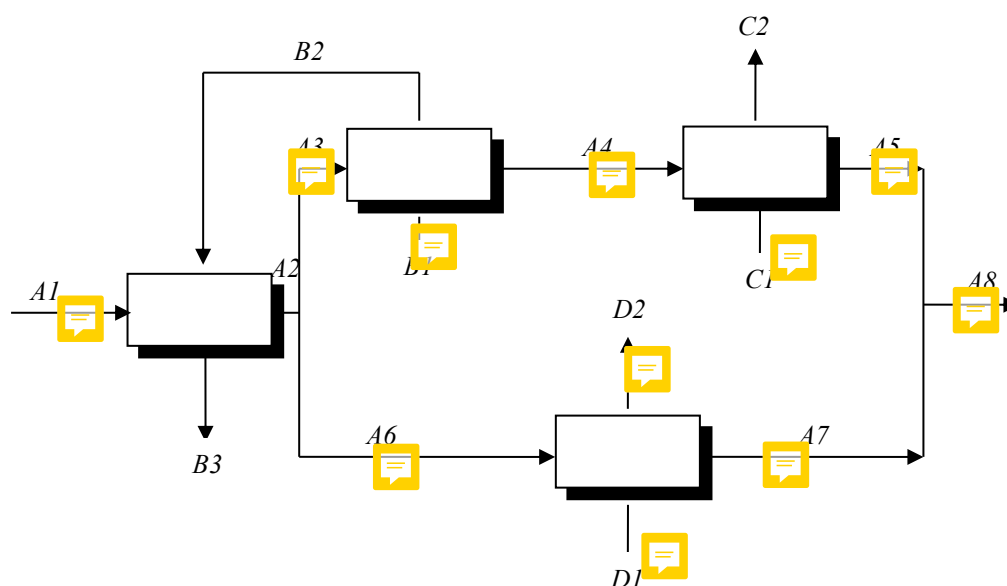
M1 – Novembre - Décembre 2020

Rendu attendu pour le 15 décembre 2020 (zone de dépôt sur campus)

Définition du problème

Vous êtes en charge d'analyser des problèmes de dysfonctionnement d'un procédé industriel. Parmi les différentes pistes envisagées, la plus probable serait que certains capteurs installés sur le procédé industriel puissent être défectueux. Sur la figure 1, est schématisée la partie du procédé où sont installés les capteurs suspectés.

Figure 1 : schéma du système de préchauffage du procédé industriel.



Sur le schéma, chaque rectangle correspond à un échangeur de chaleur et les différents flux de matière (A, B, C et D) sont représentés par des flèches. Dans le Tableau 1, sont donnés les relevés des capteurs installés. Ce sont soit des débits massiques (kg/h), soit des températures ($^{\circ}C$).

Pour détecter si des capteurs sont défectueux, des variables *reconstruites* (r_i) sont associées à chacune des mesures (m_i). Les variables *reconstruites* doivent prendre les valeurs numériques cohérentes d'un point de vue « physique », c'est à dire qui vérifient les lois de conservation. Si une valeur mesurée est « proche » de la valeur de la variable *reconstruite* associée alors on peut estimer que le capteur n'est pas défectueux ; la différence peut être expliquée par le bruit de mesure. Au contraire si la différence est importante, c'est peut-être que la mesure est fautive. La détermination des valeurs des variables *reconstruites* repose sur la solution d'un problème d'optimisation non linéaire : si on désigne par m_i , les mesures des N capteurs du procédé industriel, et par r_i , les variables *reconstruites* correspondantes, alors on va chercher à minimiser la fonction objectif suivante :

$$\min \sum_{i=1}^N \frac{(r_i - m_i)^2}{\sigma_i^2}$$

En effet, on cherche les valeurs reconstruites les plus proches des valeurs mesurées. Afin d'utiliser une information compatible avec la qualité des capteurs employés, chaque élément de la somme est pondéré par l'inverse de la variance du capteur employé.

Tableau 1 : Relevé des mesures sur le procédé industriel (températures en °C et débits en kg/h).

Courant	Variable	Mesure	Courant	Variable	Mesure
A1	Débit	1000,00	A8	Température	614,92
A1	Température	466,33	B1	Débit	253,20
A3	Débit	401,70	B1	Température	618,11
A3	Température	481,78	C1	Débit	308,10
A4	Température	530,09	C1	Température	694,99
A5	Température	616,31	D1	Température	667,84
A6	Débit	552,70	D2	Débit	680,10
A7	Température	619,00	D2	Température	558,34

D'autre part, dans la définition du problème d'optimisation, les variables *reconstruites* doivent vérifier les équations associées aux lois physiques que ce soit les lois de conservation de masse et de conservation d'énergie.

Objectif

Vous devez résoudre le problème d'optimisation associé à la réconciliation des données du procédé considéré. Les valeurs réconciliées doivent vérifier l'ensemble des équations de conservation. A partir des résultats, vous discuterez de l'éventuelle défaillance des capteurs.

Données techniques

Caractéristiques des capteurs :

Ecart-types des capteurs de débit : 2%

Ecart-types des capteurs de température : 0,75°

Hypothèses « physiques » retenues :

- en chaque nœud, il y a conservation de la matière, c'est à dire que la somme des débits massiques entrant est égale à la somme des débits massiques sortant, et un mélange parfait est supposé, c'est à dire que la somme des enthalpies en entrée est égale à la somme des enthalpies en sortie ;
- l'enthalpie d'un flux est égale au produit du débit massique par l'enthalpie massique (voir plus bas pour le calcul des enthalpies) ;
- au niveau des échangeurs, la variation d'enthalpie entre l'entrée et la sortie d'un flux de matière est égale à la variation d'enthalpie de l'autre flux de matière (en valeur absolue) ;

Données thermodynamiques des différents flux de matière :

Les enthalpies massiques de chaque courant, h_i en $J.kg^{-1}$, peuvent être calculées par l'expression suivante où la température est exprimée en °C :

$$h_i = \eta_{1i} + \eta_{2i} t_i + \eta_{3i} t_i^2, \quad i = A, B, C, D$$

avec les coefficients donnés par dans le tableau suivant :

Coefficient	A	B	C	D
η_1	-6,8909	-14,8538	-28,2807	-11,4172
η_2	0,0991	0,1333	0,1385	0,1229
η_3	$1,1081 \cdot 10^{-4}$	$0,7539 \cdot 10^{-4}$	$0,9043 \cdot 10^{-4}$	$0,7940 \cdot 10^{-4}$

Travail à rendre (1 seul rendu par binôme – bien indiquer les deux noms des membres du binôme sur le document)

Votre rendu sera constitué de vos codes MATLAB et d'un rapport de 5 pages maximum. Le rapport comportera :

- a) la définition du problème d'optimisation résolu,
- b) des commentaires sur le processus d'optimisation : itérations, convergence, respects des contraintes, algorithme, ...
- c) une analyse des résultats sur la fiabilité des différents capteurs.

Barème : 50% résultat trouvé (code MATLAB) ; 50% rapport dont 10% pour a), 20% pour b) et 20% pour c.