Approche couplant analyse exergétique et analyse pincement pour l'optimisation d'un procédé de production de méthanol issu du gaz naturel et de CO_2 valorisé

Noha-Lys SENOUSSAOUI, Raphaële THERY HETREUX, Gilles HETREUX

Laboratoire de Génie Chimique, Département PSI – 4 allée Emile Monso, 31400 Toulouse, France

Objectifs de l'étude

D'après le très récent rapport du GIEC [4], la capture et la réutilisation du CO_2 (CCU) issu des énergies fossiles apparaît comme un des leviers majeurs qui permettra d'assurer la mutation de notre Société, encore fortement dépendante des énergies fossiles vers une Société totalement décarbonée. Aujourd'hui, le vaporeformage du méthane, principale voie de production du gaz de synthèse, génère encore près de 11 $kgCO_2/kg\ H_2$ [1]. Afin de réduire ces émissions, des procédés innovants proposent une valorisation du CO_2 produit. Parmi les voies prometteuses, citons l'intégration directe de CO_2 dans les procédés de fabrication de méthanol issus du gaz naturel [5]. Afin de contribuer au développement de ces filières de production plus durables et plus sobres, il apparaît essentiel de mettre en œuvre des approches conceptuelles innovantes concourant à la conception de procédés, faisant d'emblée état d'excellentes performances énergétiques. Depuis quelques années, l'analyse exergétique suscite un intérêt croissant pour répondre à ces objectifs. Sa capacité à identifier et à caractériser les inefficacités thermodynamiques du procédé en font une approche de choix pour assister l'ingénieur dans le développement de procédés innovants [2][3]. Lorsqu'elle est couplée à l'analyse pincement elle permet alors de concevoir des procédés à la fois sobres et économiquement rentables [2]. Dans cette contribution, l'approche COOPERE (« **CO**mbiner **O**ptimisation des **P**rocéd**E**s, **R**écupération énergétique et analyse **E**xergetique ») développée au Laboratoire de Génie Chimique [3] est appliquée au procédé de production de méthanol à partir de gaz naturel et de CO2 valorisé [5].

Le procédé étudié

Le procédé considéré est une unité de production de méthanol, dont l'alimentation en gaz de synthèse provient d'un procédé de reformage faiblement émetteur en CO_2 (6 t_{CO2}/h contre 32 t_{CO2}/h pour un procédé classique de production de MeOH). Le pôle de reformage est constitué de deux réacteurs mettant en jeu respectivement le vaporeformage du méthane, et le reformage à sec (Figure 1).

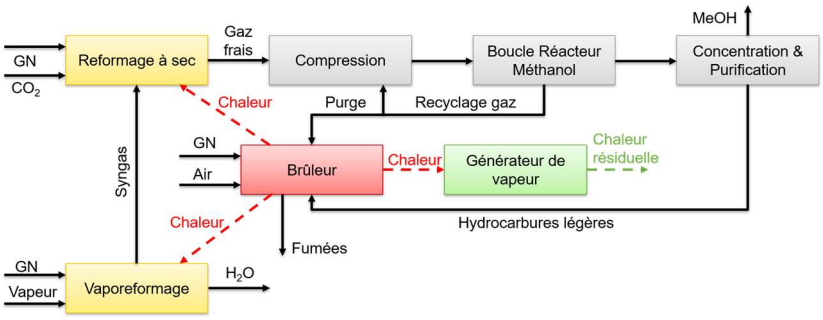

Figure 1 : Schéma de principe du procédé de reformage valorisant le CO_2

Ces derniers sont placés dans une configuration dite *parallèle-série* : chaque réacteur est alimenté indépendamment en réactifs (partie *parallèle*). Le gaz de synthèse produit dans le premier réacteur est ensuite injecté dans le second en plus de l'alimentation (partie *série*). Ce type de configuration, permet d'améliorer le taux de conversion du CO_2 en méthanol lors des réactions de reformage, et ainsi

d'en réduire les émissions. Les performances énergétiques de l'installation globale n'ayant toutefois pas fait l'objet d'une analyse exergétique approfondie, il convient ainsi d'étudier les potentielles irréversibilités du système au-delà des économies effectuées en émissions de CO_2.

L'approche COOPERE

Reposant sur une utilisation combinée de la méthode de pincement de de l'analyse exergétique, l'approche COOPERE [3] s'appuie sur un modèle du procédé (développé dans ProSimPlus) pour :

1. Procéder à un **diagnostic exergétique** du procédé : le ternaire exergétique, représentation originale introduite par Gourmelon [3] permet, à ce niveau, de caractériser les pertes exergétiques identifiées sur chaque zone du procédé.
2. Exploiter un **raisonnement à partir de cas** pour construire une superstructure du procédé qui intègre des améliorations structurelles pour pallier aux inefficacités identifiées à l'étape 1. A l'issue de cette étape, plusieurs procédés alternatifs minimisant les cibles de consommations en énergie thermique et électrique sont proposés.
3. Exploiter **l'analyse pincement** pour concevoir la configuration définitive des alternatives esquissées à l'étape 2 et intégrant un réseau d'échangeurs de chaleur performant et viable.

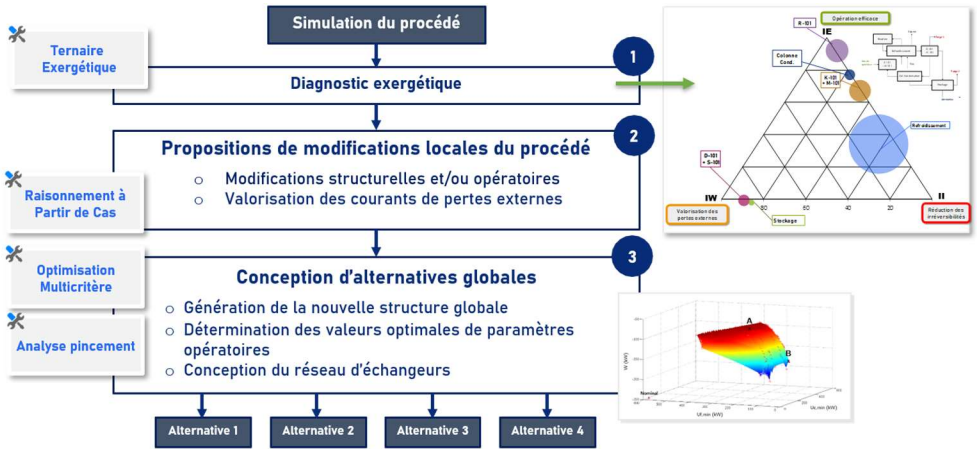

Figure 2 : Approche COOPERE pour l'amélioration de l'efficacité énergétique

Conclusion

De par sa dimension méthodologique et son application à des procédés d'avenir, cette contribution s'inscrit dans une démarche globale visant à promouvoir une chimique du Futur qui se veut sobre énergétiquement, mais aussi techniquement et économiquement viable.

Références bibliographiques

[1] ADEME ; Sphera ; Gingko21, Analyse du Cycle de Vie relative à la mobilité hydrogène. 2020.

[2] Dincer, I. ; Rosen, M.A. ; Exergy and energy analyses. *Exergy (third Edition),* 2021.

[3] Gourmelon, S., Méthodologie d'analyse et de rétro-conception pour l'amélioration énergétique des procédés industriels. Thèse, 2015.

[4] Shukla, P.R. ; Skea, J. ; Slade, R. ; Al Khourdajie, A. ; Van Diemen, R. ; McCollum, D. ; Pathak, M. ; Some, S. ; Vyas, P. ; Fradera, R. ; Belkacemi, M. ; Hasija, A. ; Lisboa, G. ; Luz, S. ; Malley, J., Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *IPCC*, 2022.

[5] Yang, Y.; Liu, J.; Shen, W.; Li, J.; Chien, I. L., High-efficiency utilization of CO2 in the methanol production by a novel parallel-series system combining steam and dry methane reforming. *Energy*, 2018, 158, 820-829.