

Étude de cas CondenSyn

Par l'Université de Liverpool

Sommaire

Par l'Université de Liverpool	1
Économies d'eau réalisées avec le système CondenSyn	2
Performance du CondenSyn	3
Solvants à faible point d'ébullition	3
Économies monétaires totales	4

L'Université de Liverpool a évalué les rendements et les temps de réaction pour diverses expériences menées dans l'ensemble du laboratoire de chimie. Les chercheurs ont utilisé ces paramètres pour déterminer la performance du CondenSyn, et les économies d'eau potentielles réalisées en remplaçant les condenseurs Liebig par le système CondenSyn.

Économies d'eau réalisées avec le système CondensSyn

Les essais initiaux réalisés par l'Université de Liverpool ont permis de découvrir que lorsqu'un chimiste expérimenté utilise les condenseurs Liebig le débit d'eau consommée est de 100 mL/minute, tandis que lorsqu'il s'agit d'un chimiste inexpérimenté, le débit d'eau consommée est de 700 mL/minute. Ces chiffres ont été utilisés pour calculer les économies d'eau totales réalisées sur une cohorte de 120 étudiants pour diverses expériences dans les deux scénarios.

Tableau 1 : Économies d'eau potentielles sur cinq expériences

N°	Expérience	Temps d'utilisation du condenseur Liebig (min.)	Volume minimum d'eau consommé par étudiant (L)	Volume maximum d'eau consommé par étudiant (L)	Volume minimum d'eau économisé par étudiant (L)	Volume maximum d'eau économisé par étudiant (L)
1.	Distillation de la cyclohexanone.	95	9,5	66,5	1.140	7.980
2.	Réduction par Sn/HCl de la 3-nitroacétophénone.	100	10	70	1.200	8.400
3.	Réduction par borohydrure de sodium de la 3-nitroacétophénone.	19	1,9	13,3	228	1.596
4.	Métathèse des alcènes	90	9	63	1.035	7.245
5.	Substitutions de ligand sur un complexe de molybdène (0)	201	20,1	140,7	2.312	16.181

Comme illustré dans le Tableau 1, les économies d'eau potentielles sur 5 expériences pourraient aller de 5 914 L à 41 402 L. Comme les trois premières expériences sont destinées à des étudiants de 1^{re} année suivant le module CHEM130, il est extrêmement probable que ces expériences seront réalisées avec des débits bien plus élevés, allant jusqu'à 700 mL/minute. Dans ces seules expériences, près de 17 976 L d'eau seraient utilisés par une cohorte de 120 étudiants. Les deux dernières expériences sont destinées à des étudiants de 3^e année suivant le module CHEM3X5, qui devraient utiliser un débit plus faible. La substitution de ligand sur un complexe de molybdène (0) est toutefois une expérience bien plus longue, plus compliquée, qui utilise 20,1 L d'eau minimum par étudiant, ce qui donne lieu à une perte de 2311 L pour l'ensemble des 120 étudiants.

À un tarif de 0,31 p par litre selon les indications des agences de l'eau britanniques en août 2022, cela pourrait permettre d'économiser jusqu'à 128 £ pour ces seules expériences. La conversion au système CondensSyn pour les trois expériences réalisées par les étudiants de 1^{re} année pourrait à elle seule conduire à une économie de 55 £ par an. CondensSyn permettrait de récupérer les coûts d'achat initiaux après environ 9 mois d'opération pendant les heures de travail dans un laboratoire de 1^{re} année. Au sein des laboratoires de chimistes plus expérimentés, le délai de rentabilité serait plus long, le temps maximum étant de plusieurs années.

Performance du CondenSyn

Tableau 2 : Comparaison de la performance réactionnelle entre les condenseurs Liebig et CondenSyn

N°	Expérience	Condenseur	Temps total (min.)	Rendement (%)	Pureté relative
1.	Distillation de la cyclohexanone.	Liebig	95	63	Identique
		CondenSyn	109	65	
2.	Réduction par Sn/HCl de la 3-nitroacétophénone.	Liebig	96	65	Moins d'impuretés avec CondenSyn
		CondenSyn	100	57	
3.	Réduction par borohydrure de sodium de la 3-nitroacétophénone.	Liebig	19	51	Pratiquement identique
		CondenSyn	26	42	
4.	Métathèse des alcènes	Liebig	90	93	Pratiquement identique avec le même taux d'impuretés dans l'eau
		CondenSyn	90	92	
5.	Substitutions de ligand sur un complexe de molybdène (0)	Liebig	201	58	Pratiquement identique
		CondenSyn	191	65	

Le Tableau 2 montre que même si la plupart des expériences étaient plus rapides avec le condenseur Liebig, le temps supplémentaire lié à l'utilisation du CondenSyn n'était que de 14 minutes, dans l'expérience 1. L'expérience 5 a montré que dans certains cas, le CondenSyn commence le reflux plus tôt que le condenseur Liebig, ce qui raccourcit la durée totale de l'expérience. Le CondenSyn peut également permettre de gagner du temps de configuration, car il faut moins de temps pour configurer l'alimentation des tubulures d'eau.

Les rendements avec les deux types de condenseurs étaient assez similaires globalement. Deux des expériences avaient des différences négligeables en termes de rendement (expériences 1 et 4), tandis que les expériences 2 et 3 ont affiché des baisses de rendement de respectivement 8 % et 11 % lorsqu'on passait du Liebig au CondenSyn. L'expérience 5 a toutefois montré une augmentation du rendement de 7 % avec le CondenSyn. Cela pourrait suggérer que le condenseur optimal est susceptible de varier d'une réaction à l'autre. Globalement, le rendement moyen obtenu n'était que de 9 % en moins pour le CondenSyn, ce qui montre que dans l'ensemble, les deux condenseurs sont relativement égaux en termes des rendements réalisables.

Solvants à faible point d'ébullition

Le DCM (dichlorométhane) a été utilisé comme solvant pour l'expérience 4, qui a donné lieu à des rendements très égaux entre les résultats obtenus avec les condenseurs Liebig et le CondenSyn. Cela montre que les solvants ayant un point d'ébullition plus bas, comme le DCM, dont le point d'ébullition

est de 39,6 °C, peuvent être utilisés avec le CondenSyn. Cela demande toutefois un contrôle minutieux de la température de réaction pour éviter le claquage du solvant, et CondenSyn peut être moins adapté aux solvants ayant un point d'ébullition inférieur à celui du DCM. Les expériences de reflux ont été réalisées à l'aide de THF (tétrahydrofurane), un solvant ayant un point d'ébullition de 66 °C, en vue d'évaluer plus avant la performance du CondenSyn avec des solvants à bas point d'ébullition. Le taux de récupération le plus faible a été obtenu lorsque le reflux était effectué à 66 °C, et il a été attribué à une étanchéité incomplète du manchon PTFE aux températures plus basses. Toutefois, la récupération du solvant était meilleure lorsque la température était augmentée, et à 26 °C au-dessus du point d'ébullition, la perte de solvant était négligeable. Cela montre que pour le THF, un excès de température de jusqu'à 40 % au-dessus du point d'ébullition produit des résultats acceptables.

Économies monétaires totales

Tableau 3 : La valeur monétaire totale des économies réalisées sur quatre modules de chimie, sur la base des tarifs indiqués par les agences de l'eau britanniques en août 2022.

Module	Économies d'eau – par étudiant (L)	Somme économisée - par étudiant (£)	Somme économisée - cohorte (£)/an
CHEM130	12 – 86	4 – 27	796 – 5.573
CHEM3X5	29 – 204	9 – 63	1.038 – 7.262
CHEM245	42 – 291	13 – 90	1.544 – 10.807
CHEM356	72 - 504	22 – 156	1.339 – 9.374
Total	155 – 1.085	48 – 336	4.717 – 33.016

La valeur potentielle des économies d'eau réalisées sur un total de quatre modules de chimie a été estimée en utilisant les temps de réaction approximatifs, en plus des deux modules où les économies d'eau ont été déterminées expérimentalement. Comme illustré dans le Tableau 3, les modules supplémentaires CHEM245 et CHEM356 présentaient chacun des variations importantes au niveau des économies d'eau potentielles par étudiant. Il convient cependant de noter que, alors que la cohorte du module CHEM245 était composée de 120 étudiants, la cohorte du module CHEM356 ne comptait que 60 étudiants. Par conséquent, pour CHEM245, la somme potentiellement économisée par cohorte par an est comprise entre 1 544 £ et 10 807 £, mais pour CHEM356, les économies potentiellement réalisées sont comprises entre 1 339 £ et 9 374 £. De ce fait, les économies totales potentielles annuelles réalisées sur l'ensemble des quatre modules seraient comprises entre 4 717 £ et 33 016 £. Si l'on prend en compte l'économie la plus basse, le temps nécessaire pour récupérer le coût d'achat de 120 CondenSyn serait de 4,6 ans ; toutefois, si l'on prend en compte, l'économie d'eau la plus importante, ce temps pourrait être réduit à 0,7 an seulement, soit 8,4 mois.