

ANALYSE DE SENSIBILITÉ D'UN MODÈLE DESTINÉ À LA COMPARAISON DES FLUIDES DE TRAVAIL UTILISÉS DANS LES CYCLES ORC APPLICABLES À L'ÉNERGIE THERMIQUE DES MERS

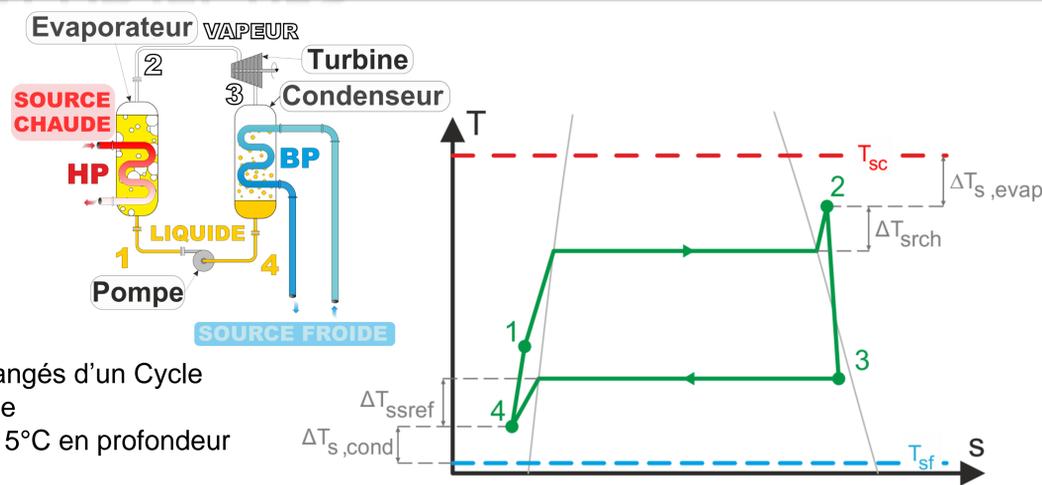


Alexandre Dijoux ^(12*), Bertrand Clauzade ⁽²⁾, Frantz Sinama ⁽¹⁾, Olivier Marc ⁽¹⁾ & Jean Castaing-Lasvignottes ⁽²⁾

CONTEXTE ET OBJECTIFS

LE CYCLE ORGANIQUE DE RANKINE(ORC)

- 1) Un fluide de travail à l'état liquide sous pression entre dans un évaporateur où il sera chauffé puis évaporé à l'aide d'une source chaude
- 2) Le gaz à haute pression ainsi obtenu est détendu dans une turbine, fournissant un travail mécanique convertible en électricité
- 3) La vapeur basse pression entre ensuite dans le condenseur pour revenir à l'état liquide grâce à une source froide
- 4) Le liquide en sortie du condenseur est ramené à l'état initial par une pompe



OBJECTIFS

- Développement d'une méthode pour comparer les fluides de travail purs ou mélangés d'un Cycle Organique de Rankine (ORC) avec un nombre limité d'hypothèses sur le système
- Application à l'Energie Thermique des Mers : eau de mer à 25,5°C en surface et 5°C en profondeur
- Analyse de sensibilité du modèle ainsi développé

METHODES

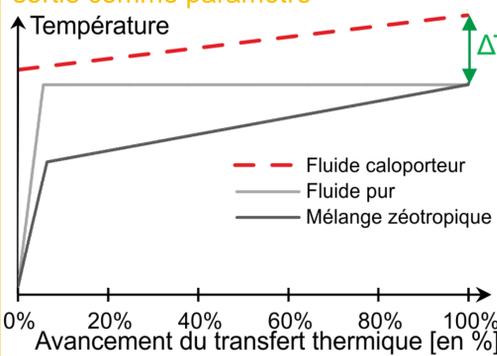
REPRESENTATION DES ECHANGEURS DE CHALEUR VIA LA DIFFERENCE DE TEMPERATURE ENTROPIQUE MOYENNE

La température entropique moyenne d'un fluide dans un échangeur est définie par le rapport entre sa variation d'enthalpie sur sa variation d'entropie.

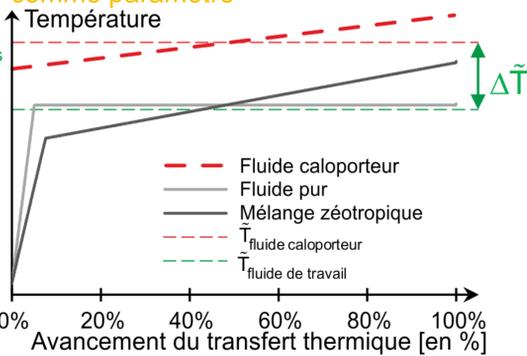
$$\tilde{T} = \frac{\Delta h}{\Delta s} = \frac{\int \delta q}{\int \frac{\delta q}{T}}$$

L'utilisation de la différence de température entropique moyenne dans les échangeurs $\Delta \tilde{T}$ est utile pour comparer des fluides purs avec des mélanges dans des situations similaires de fonctionnement.

Profil des températures dans un évaporateur avec utilisation du ΔT_s en sortie comme paramètre



Profil des températures dans un évaporateur avec utilisation du $\Delta \tilde{T}$ comme paramètre



COMPARAISON MULTICRITERE DES FLUIDES

La comparaison des fluides de travail se fait suivant plusieurs critères :

La technicité :

- Pressions opératoires de fonctionnement (idéalement entre 1 et 24 bars)
- Titre en sortie de la turbine limité pour éviter l'endommagement par formation de gouttelettes

La sécurité (indicateur de l'ASHRAE) :

- Toxicité (de A à B)
- Inflammabilité (de 1 à 3)

Les impacts environnementaux :

- GWP : Réchauffement climatique
- ODP : Destruction de la couche d'ozone
- ALT : Durée de vie atmosphérique

Les performances thermodynamiques :

- Rendement thermique : $\eta_{th} = \frac{|w_{turb} + w_{pompe}|}{q_{evap}}$
- Travail net volumique (représentatif de la taille de la turbine) : $w_{net,vol} = w_{net} \times \rho$

ANALYSE DE SENSIBILITE PARAMETRIQUE

- Génération de jeux de paramètres aléatoires (distribution uniforme sur le domaine de variation)
- Calcul des résultats pour chaque jeu de paramètres η_{th} et $w_{net,vol}$
- Décomposition sur une base de polynôme de Legendre multidimensionnels :

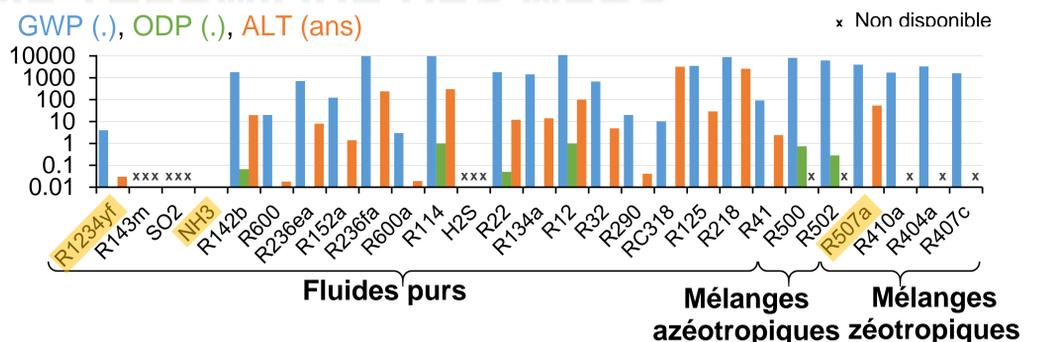
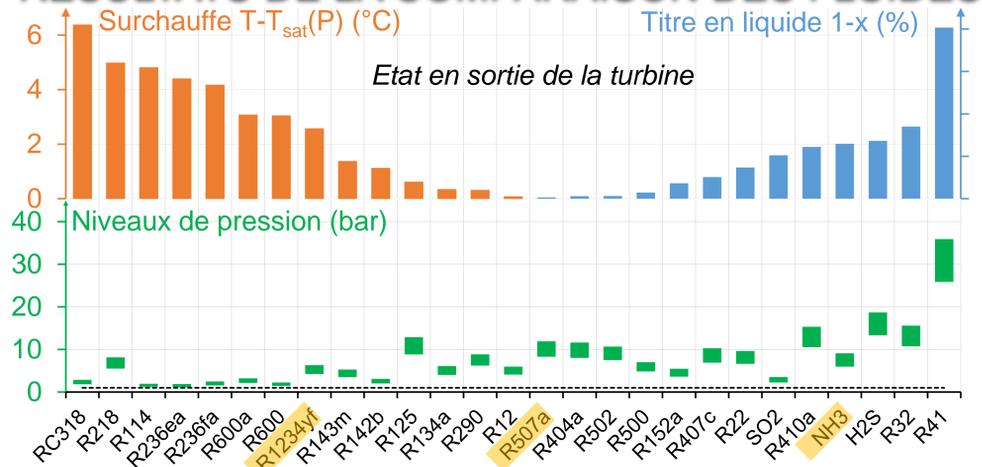
$$Y(X_1, \dots, X_p) = \sum_{\alpha_1, \dots, \alpha_p \in \mathbb{N}^s} a_{\alpha_1, \dots, \alpha_p} P_{\alpha_1, \dots, \alpha_p}(X_1, \dots, X_p)$$

- Calcul des indices de sensibilité de Sobol :

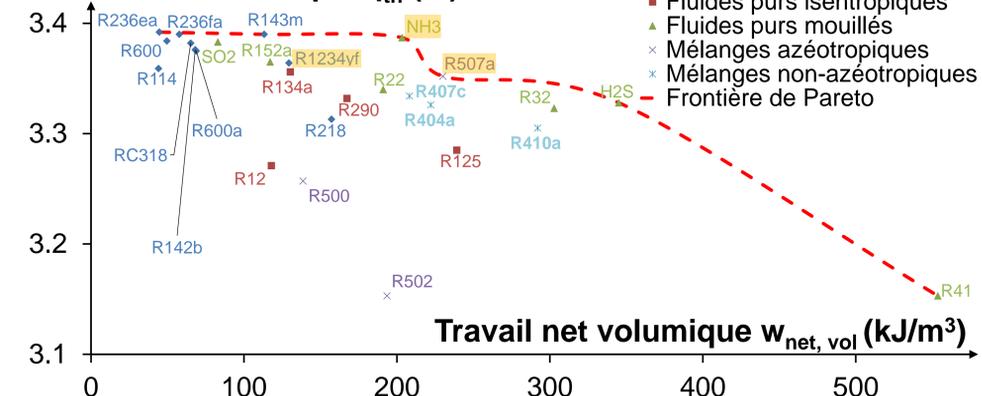
➤ principal : $S_i = \frac{Var_{X_i}(E_{X_{-i}}(Y | X_i))}{VAR(Y)}$ ➤ Total : $ST_i = \frac{E_{X_{-i}}(VAR_{X_i}(Y | X_{-i}))}{VAR(Y)}$

APPLICATION A L'ENERGIE THERMIQUE DES MERS

RESULTATS DE LA COMPARAISON DES FLUIDES

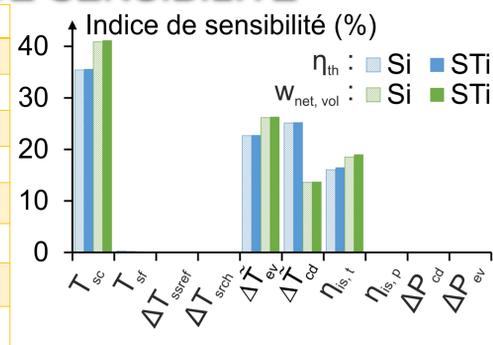


Rendement thermique η_{th} (%)



RESULTATS DE L'ANALYSE DE SENSIBILITE

Unité	Valeur	Intervalle de variation
T_{sc}	°C 25,5	[23 ; 28]
T_{sf}	°C 5	[4,8 ; 5,2]
ΔT_{ssref}	°C 1	[0,5 ; 1,5]
ΔT_{srch}	°C 1	[0,5 ; 1,5]
ΔT_{evap}	°C 4	[2 ; 6]
ΔT_{cond}	°C 4	[2 ; 6]
$\eta_{is,t}$	% 0,8	[0,7 ; 0,9]
$\eta_{is,p}$	% 0,8	[0,7 ; 0,9]



INTERPRETATION ET CONCLUSION

Les fluides les plus pertinents pour une application à l'ETM sont l'ammoniac (B2L), le R507a (A1) et le R1234yf (A2L), en considérant tous les critères simultanément. L'analyse de sensibilité révèle plusieurs faits intéressants :

- Le modèle est additif (s'écrit comme une somme de fonctions univariées) car $S_i \approx ST_i$
- La différence de température entropique moyenne est le paramètre des échangeurs qui agit directement sur les indicateurs choisis pour la performance du cycle, d'où la pertinence de ce paramètre pour la comparaison des fluides