

# Présentation de notre TIPE

( Travail d'Initiative Personnelle Encadré )

Élèves de CPGE 2ème année (MP)

HAUTBOIS Manon  
ISSA MOHAMED Soilha  
RAMAROLAHY Ary

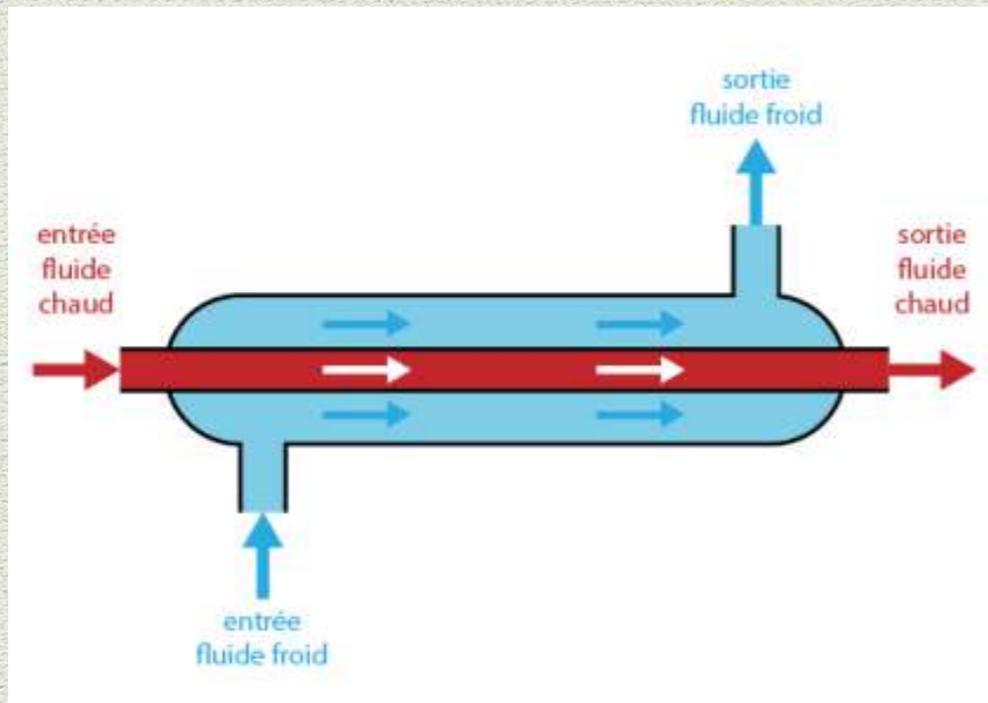
Professeur encadrant : Yves FRANCHINO



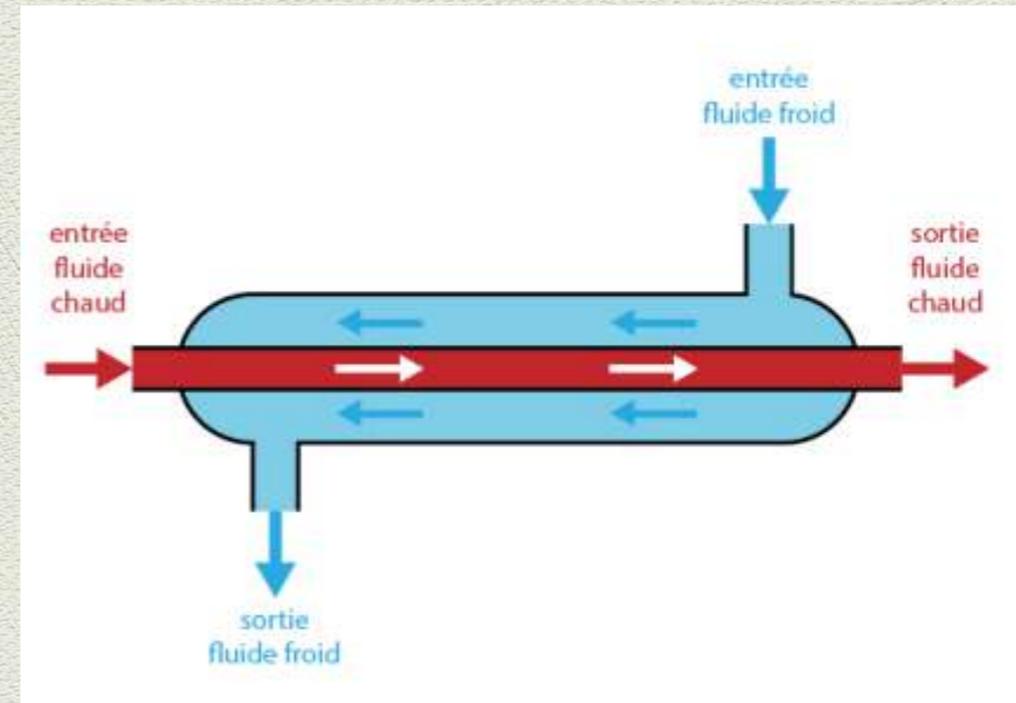
Échangeur thermique :  
le transport de chaleur à travers le  
SWAC  
( Sea Water Air Conditioning )

# I / Présentation générale

## a - Principe de l'échangeur tubulaire



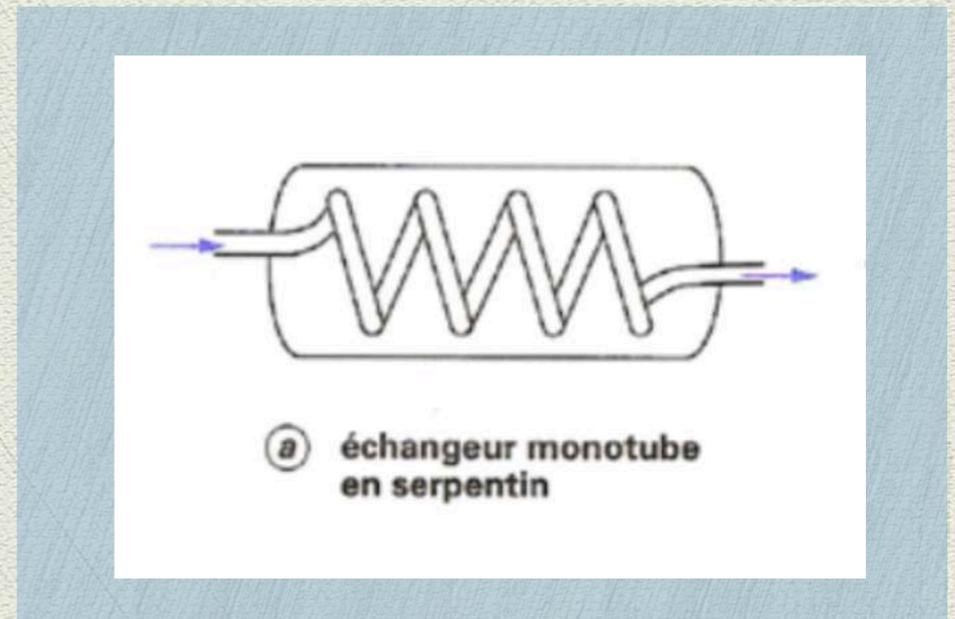
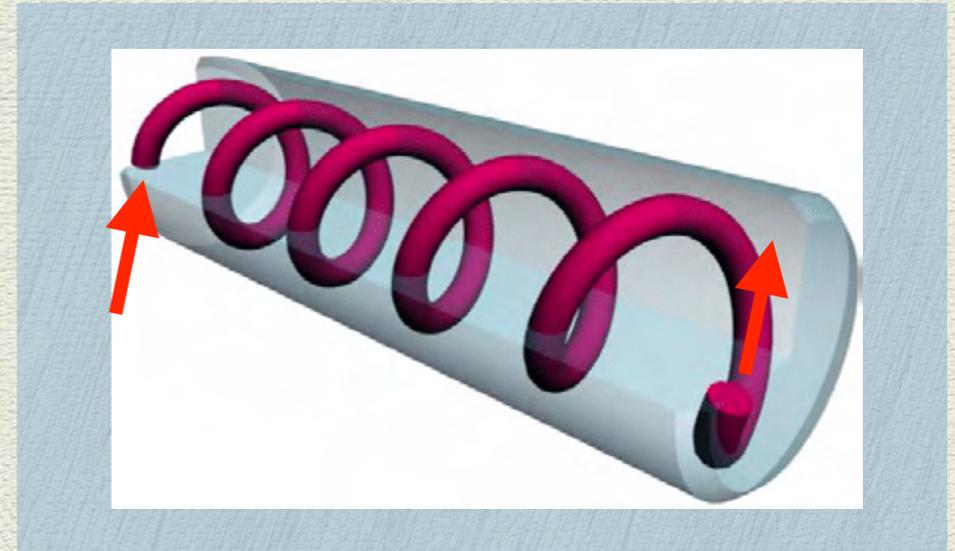
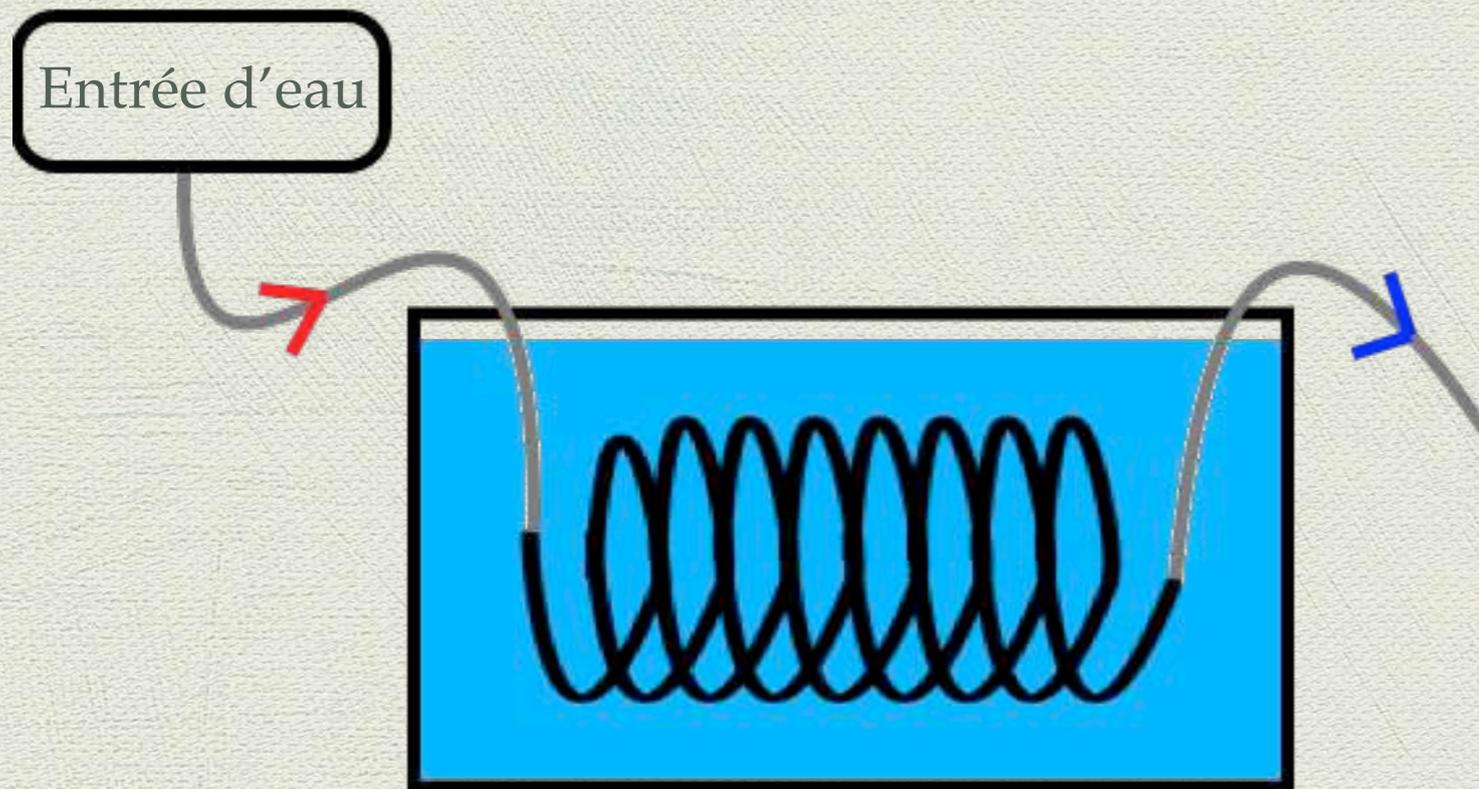
Co-courant



Contre-courant

# I / Présentation générale

## b - Échangeur étudié



# FORMULES

Formules utilisées :

$$P_c = D_{mc} * C_{eau} * (T_{ce} - T_{cs})$$

$$P = k * S * \Delta TLM$$

avec

$$\Delta TLM = \frac{((T_{cs} - T_{fe}) - (T_{ce} - T_{fs}))}{\ln\left(\frac{T_{cs} - T_{fe}}{T_{ce} - T_{fs}}\right)}$$

et

$$k = \frac{1}{\frac{1}{h_c} + \frac{1}{h_f} + \frac{e}{\lambda} + R_{the}}$$

$D_m$  : débit massique de l'eau (kg.s<sup>-1</sup>)

T : température (°C)

$C_{eau}$  : capacité thermique massique de l'eau (J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>)

S : surface d'échange (m<sup>2</sup>)

$\Delta TLM$  : Température logarithmique moyenne (°C)

k : coefficient global d'échange (W.m<sup>-2</sup>.K<sup>-1</sup>)

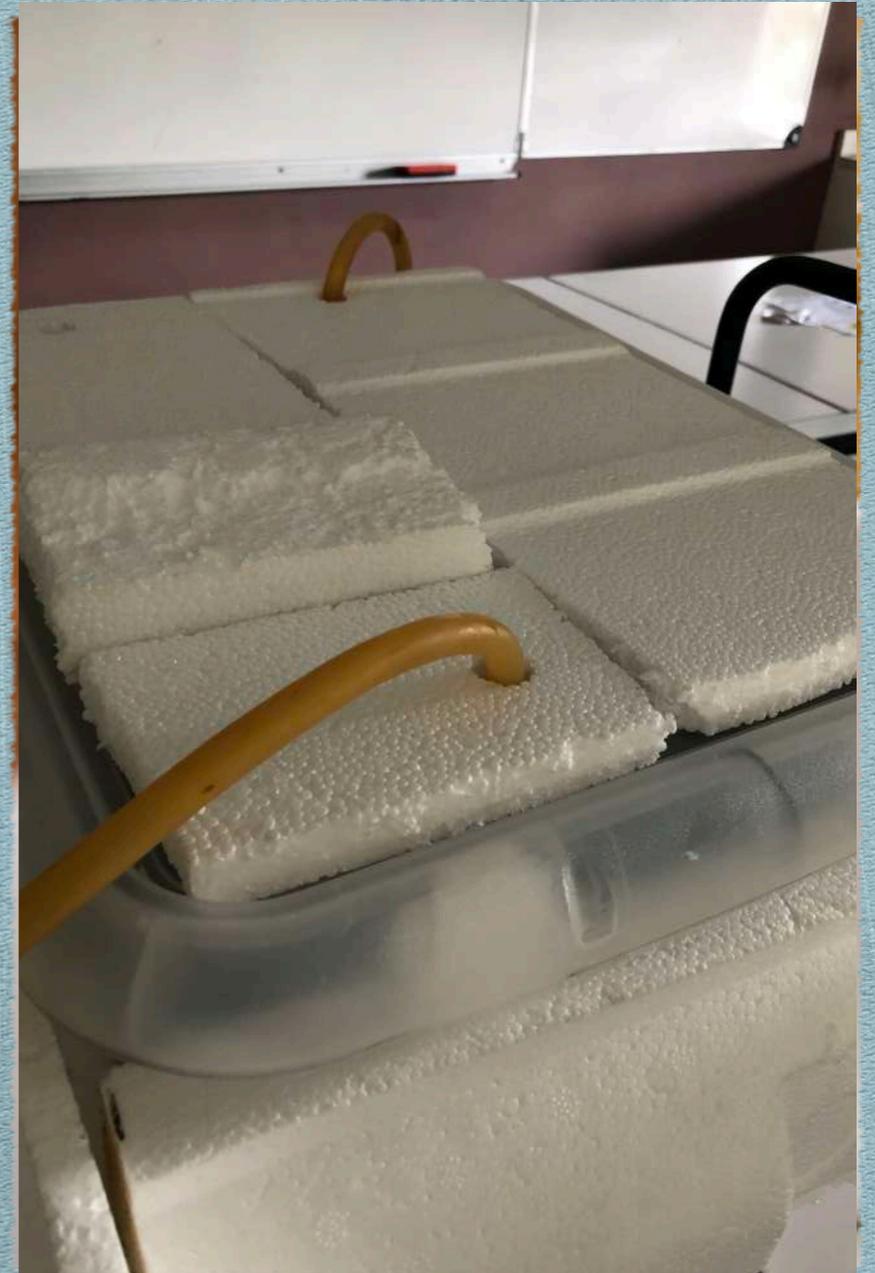
$h_c$  : coefficient de convection de l'eau chaude (W.m<sup>-2</sup>.K<sup>-1</sup>)

$h_f$  : coefficient de convection de l'eau froide (W.m<sup>-2</sup>.K<sup>-1</sup>)

e : l'épaisseur du cuivre (m)

$\lambda$  : conductivité thermique du cuivre (W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>)

$R_{the}$  : Résistance thermique d'encrassement



# EXPÉRIMENTATION

CONSTRUCTION DU PROTOTYPE DE L'ÉCHANGEUR  
À SERPENTIN

## II / Construction du prototype de l'échangeur à serpentin

a - Pièce principale : le serpentin

Coefficient de transfert thermique  
avantageux



Cintrage du fil de cuivre

# II / Construction du prototype de l'échangeur à serpentin

b - Système contenant le serpentin

Polyester



Bac en plastique



Colle



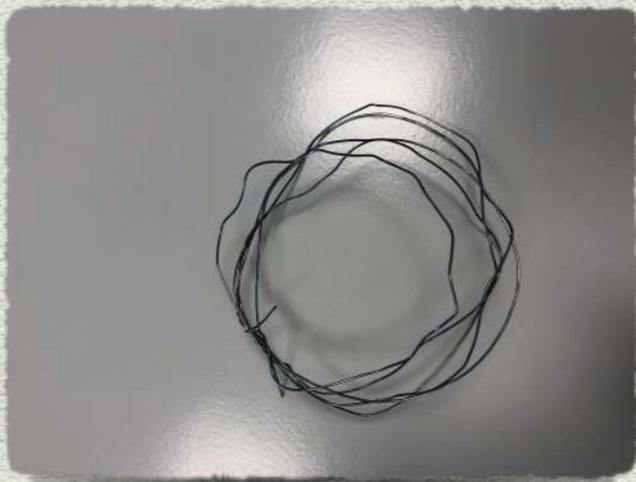
Mousse



## II / Construction du prototype de l'échangeur à serpentin

c - Principe de fonctionnement

**Fil de fer**

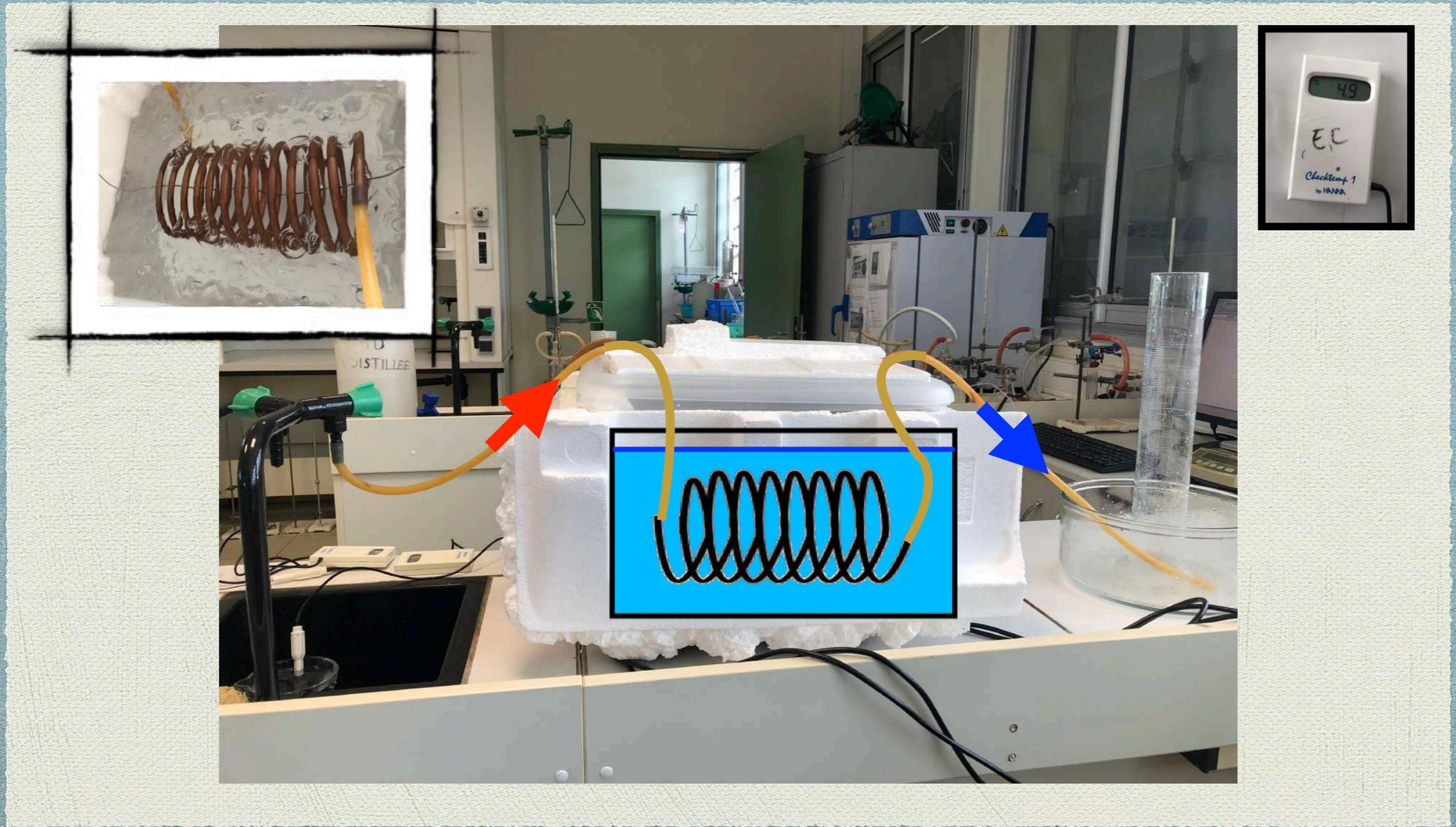


**Glaçons**



# II / Construction du prototype de l'échangeur à serpentin

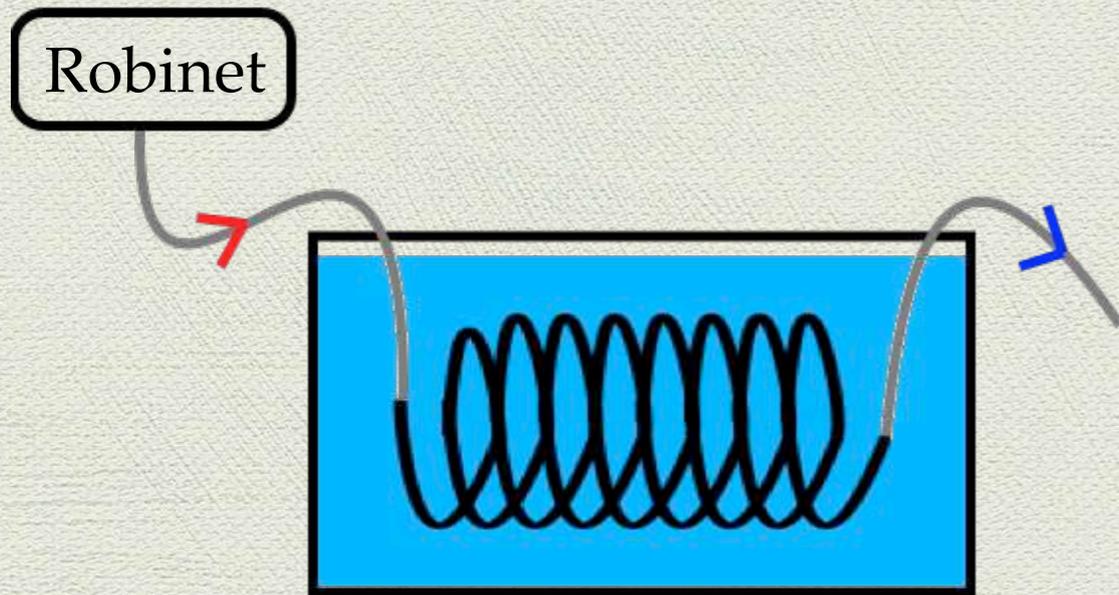
c - Principe de fonctionnement



# III / Étude des résultats

## a - Influence du débit

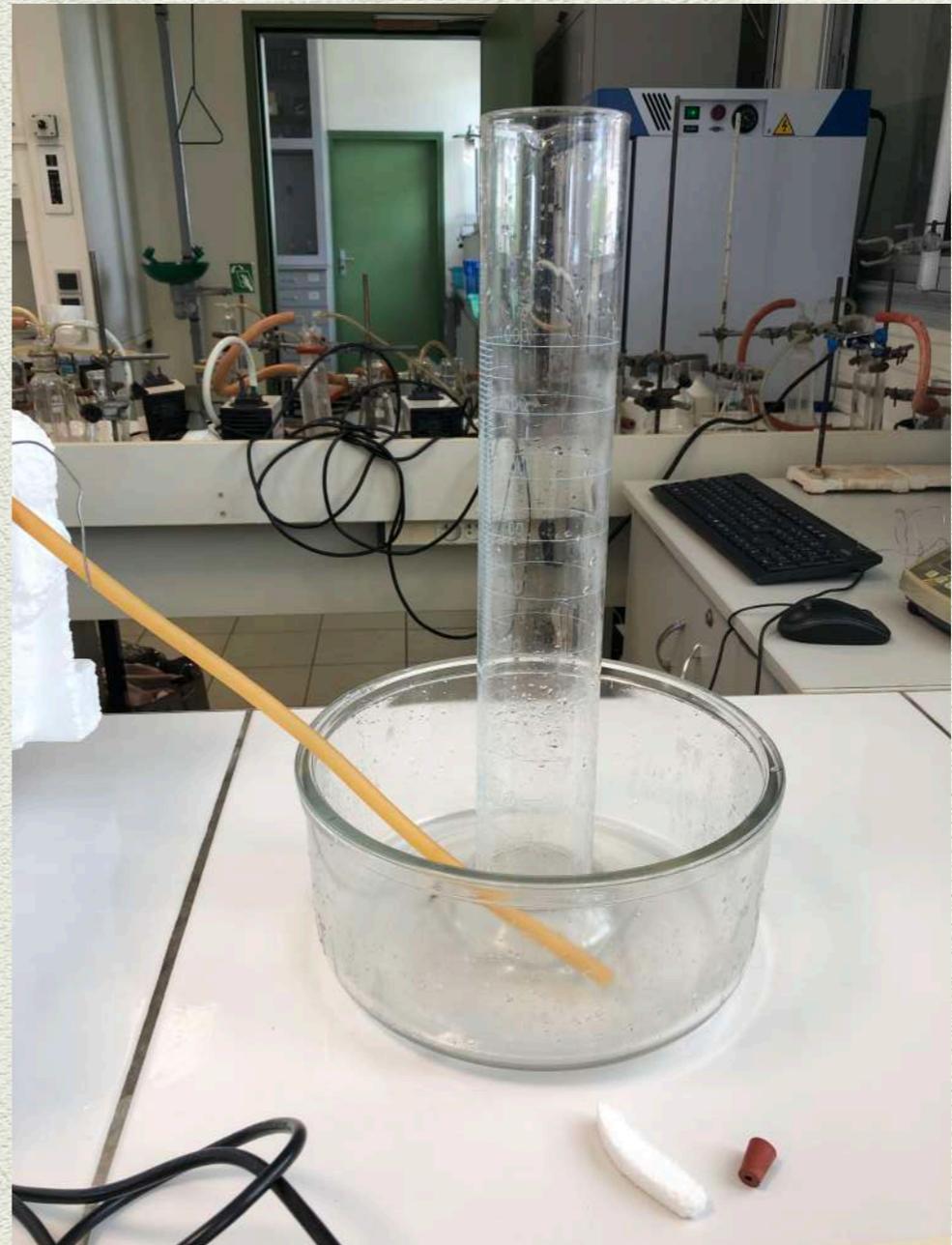
*Mesure du débit*



Chronomètre



Volume



# III / Étude des résultats

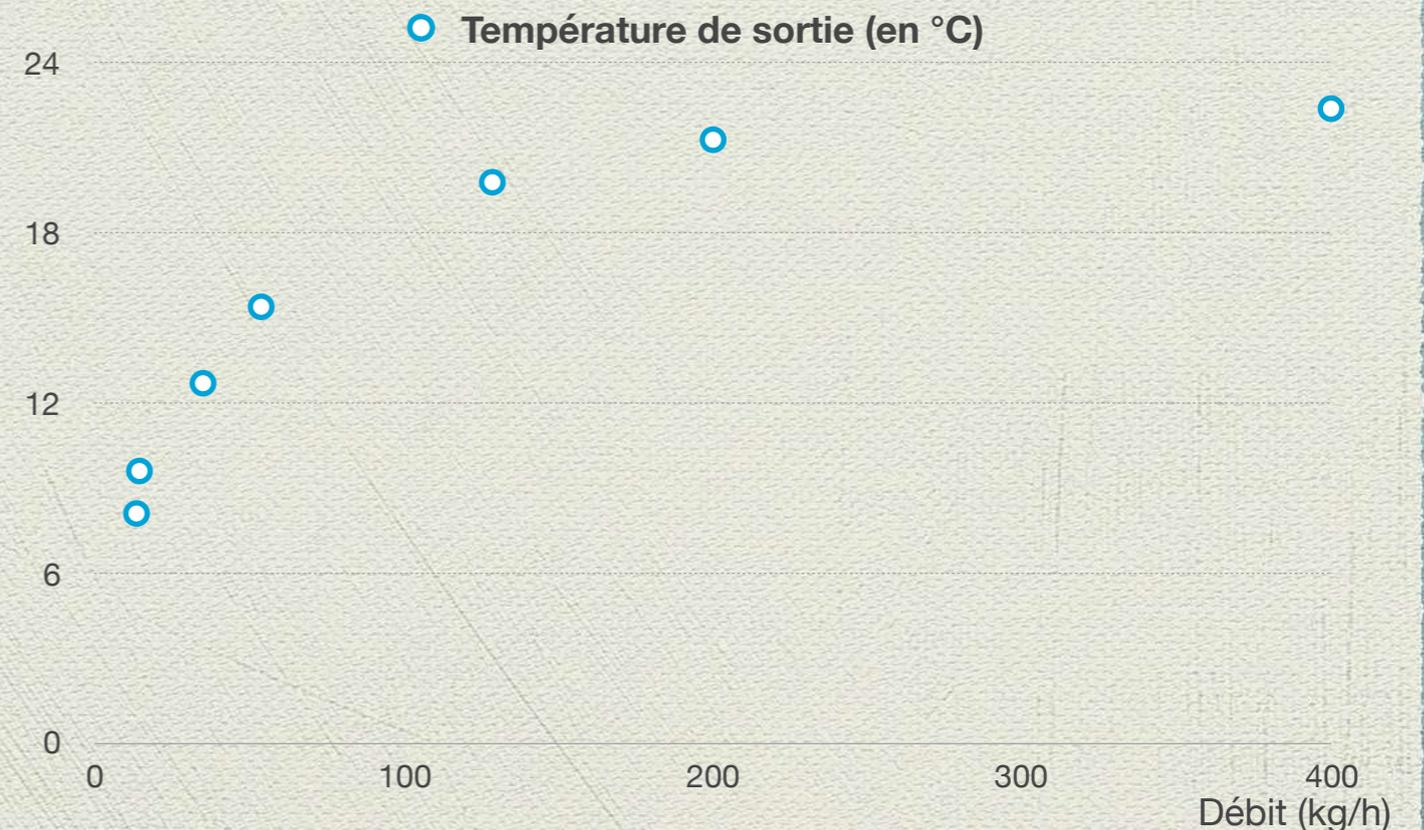
## a - Influence du débit

*Résultats obtenus pour différents débits*

◆ Température de l'eau à refroidir (en entrée) : 27,1 °C

◆ Température de l'eau à l'intérieur du bac comprise entre : 5,2 °C et 6,2 °C

Volume (L)	Temps (s)	Débit (kg/h)	Température en sortie (en °C)
1,03	276	13,43	8,1
0,87	218	14,37	9,6
1	103	34,95	12,7
1	67	53,76	15,4
1	28	128,57	19,8
1	18	200	21,3
1	9	400	22,4



# III / Étude des résultats

## a - Influence du débit *Puissance*

Formules utilisées :

$$P_f = D_{mf} * C_{eau} * (T_{fs} - T_{fe})$$

$$P_c = D_{mc} * C_{eau} * (T_{ce} - T_{cs})$$

$D_m$  : débit massique de l'eau ( $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$ )

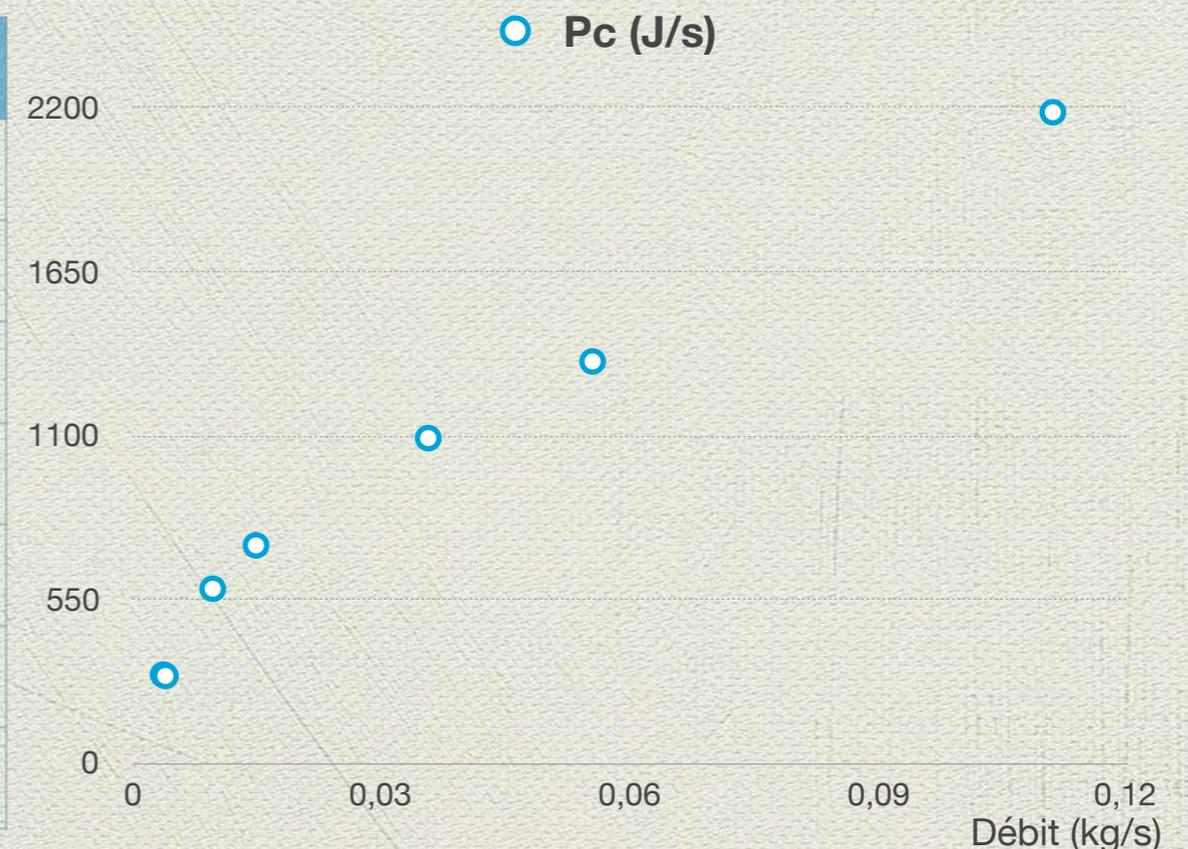
T : température ( $^{\circ}\text{C}$ )

$C_{eau}$  : capacité thermique massique de l'eau ( $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ )

Valeur utile :

$$C_{eau} = 4185 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$$

$D_{mc}$ (en kg/s)	$P_c$ (W)	$T_{cs}$ (en $^{\circ}\text{C}$ )	$T_{cs}$ (en K)	$T_{ce}$ (en K)
0,0037	297	8,1	281,25	300,25
0,0040	292	9,6	282,75	300,25
0,0097	585	12,7	285,85	300,25
0,0149	731	15,4	288,55	300,25
0,0357	1091	19,8	292,95	300,25
0,0556	1349	21,3	294,45	300,25
0,1111	2186	22,4	295,55	300,25



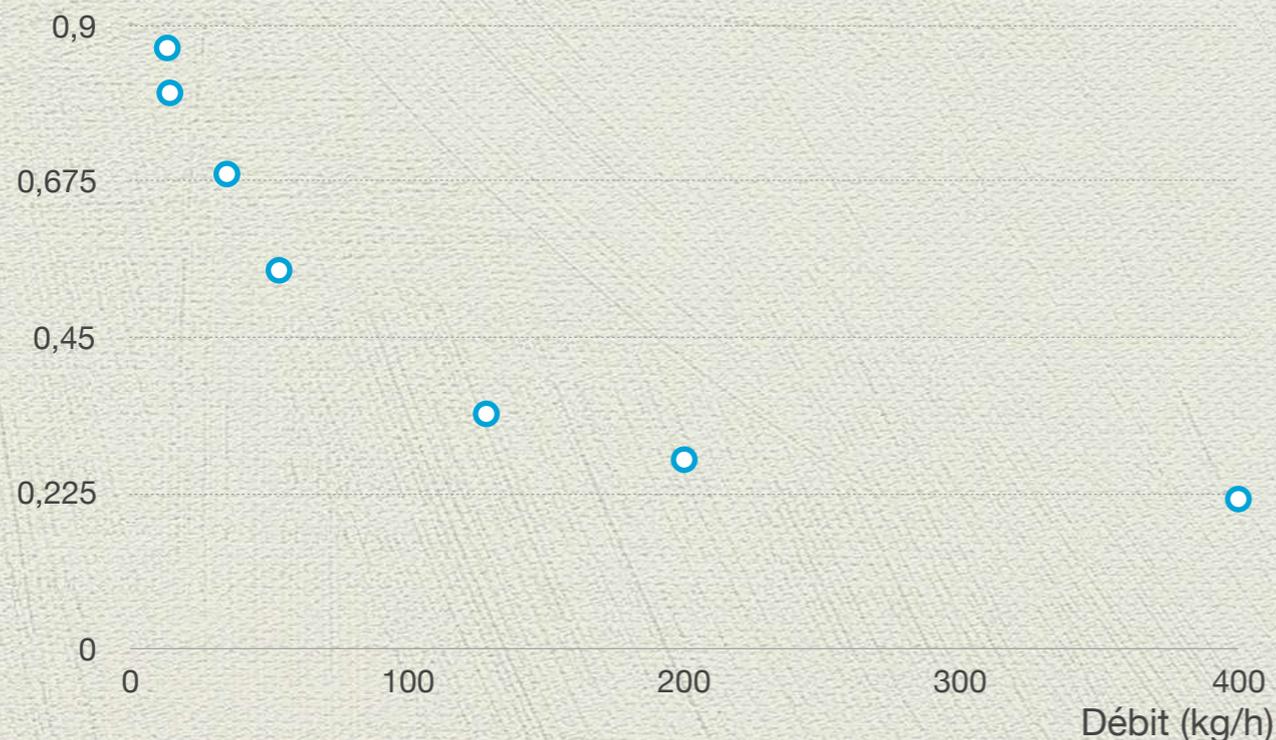
# III / Étude des résultats

## a - Influence du débit *Efficacité de l'échangeur*

$$e = \frac{P}{P_{max}} = \begin{cases} \frac{T_{ce} - T_{cs}}{T_{ce} - T_{fe}} & \text{si } P_f > P_c \\ \frac{T_{fs} - T_{fe}}{T_{ce} - T_{fe}} & \text{si } P_f < P_c \end{cases}$$

avec  $P_{max}$  la puissance de l'échangeur si celui-ci était de longueur « infini »

○ Efficacité de l'échangeur

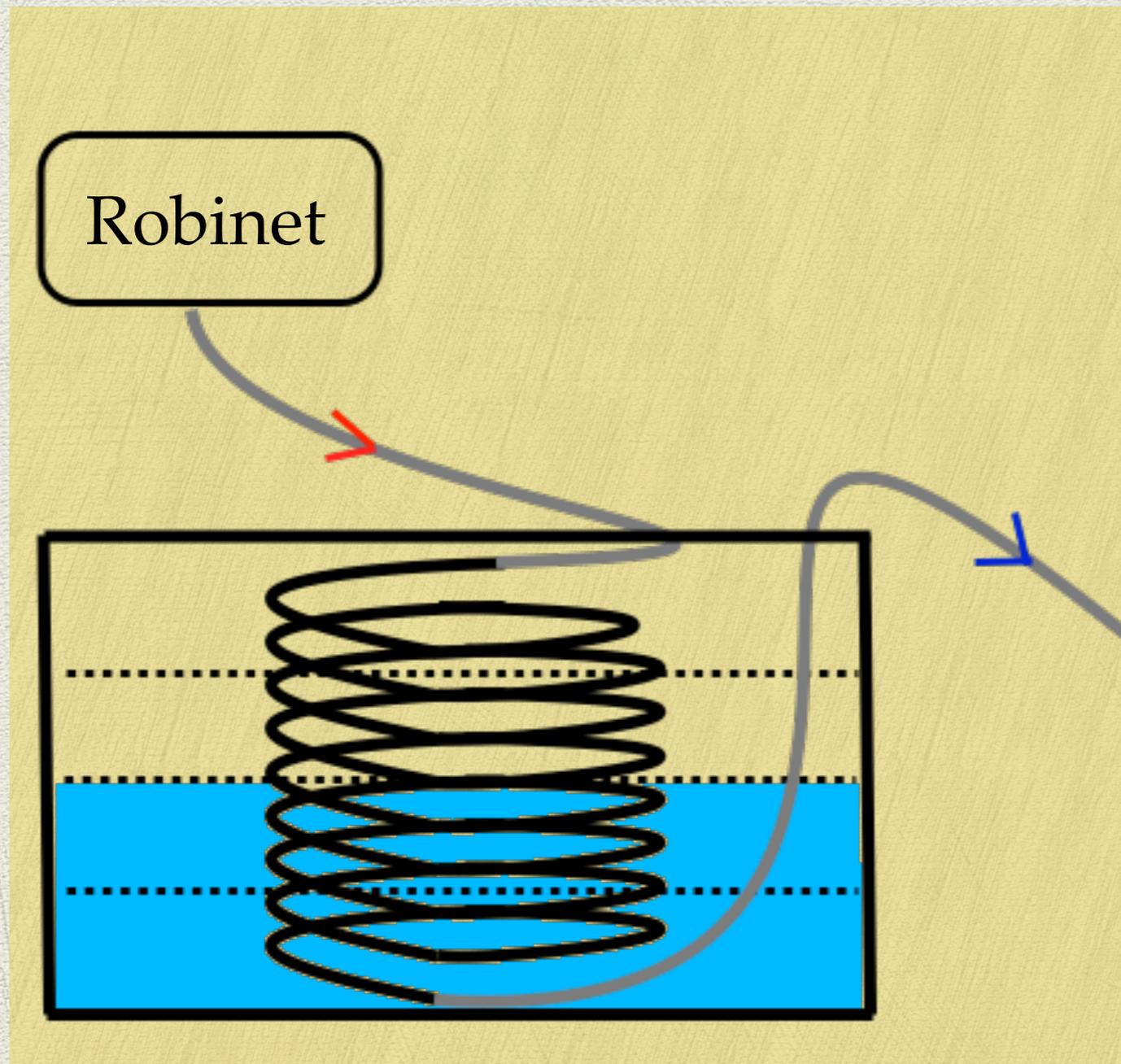


Débit (kg/h)	P (W)	$P_{max}$ (W)	e
13	19	21,9	0,87
14	17,5	21,8	0,80
35	14,4	21	0,69
54	11,7	21,4	0,55
129	7,3	21,5	0,34
200	5,8	21,2	0,27
400	4,7	21,7	0,22

# III / Étude des résultats

## b - Influence de la surface d'échange

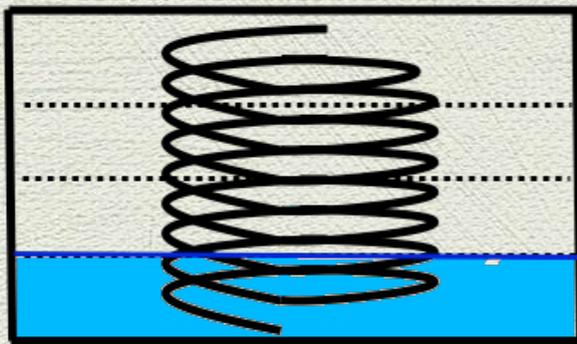
*Longueur de l'échangeur : expérience réalisée*



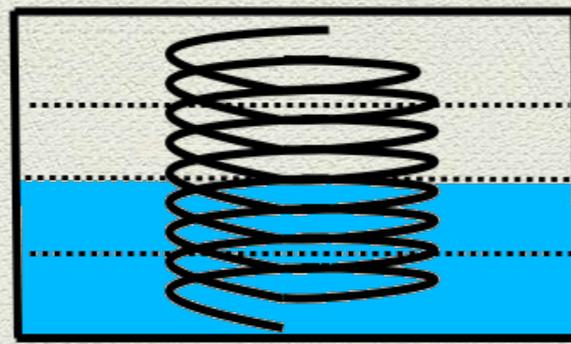
# III / Étude des résultats

## b - Influence de la surface d'échange *Étapes de l'expérience*

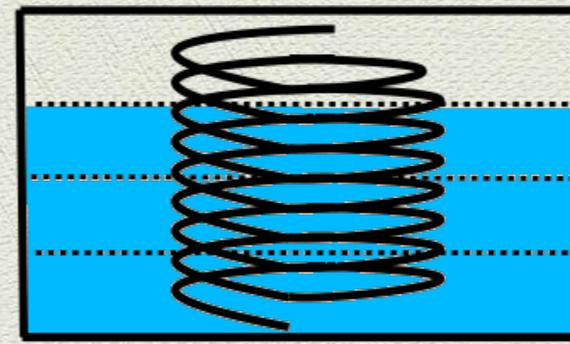
Différents niveaux



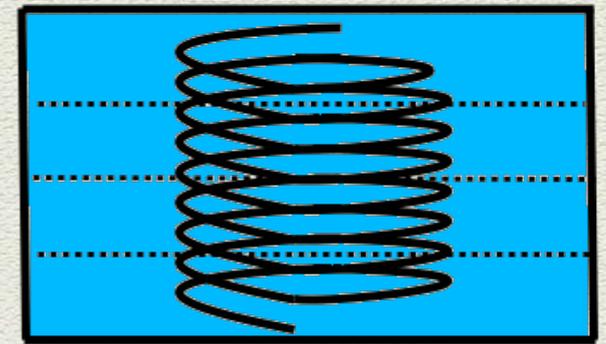
25 %



50 %



75 %



100 %

# III / Étude des résultats

## b - Influence de la surface d'échange

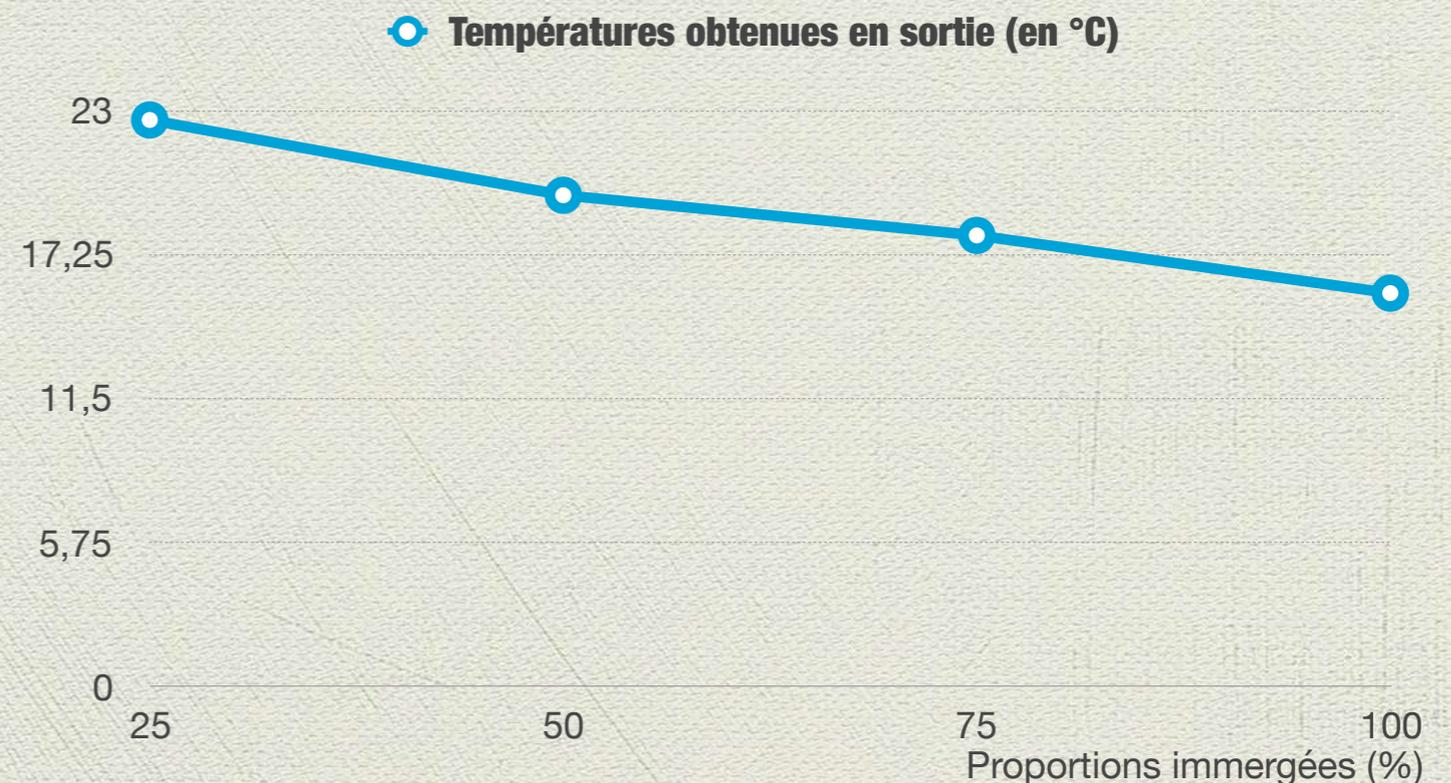
*Résultats obtenus pour différentes longueurs*

◆ Débit :  $0,019 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$   
 $0,0679245 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$

◆ Température de l'eau à refroidir (en entrée) :  $25,3^\circ\text{C}$

◆ Température de l'eau à l'intérieur du bac comprise entre  $6^\circ\text{C}$  et  $10^\circ\text{C}$

Proportions immergées (en %)	Températures obtenues en sortie (en °C)	Températures à l'intérieur du bac (en °C)
25	22,6	9,6
50	19,6	9,2
75	18	8,9
100	15,7	6,9



# III / Étude des résultats

## b - Influence de la surface d'échange Puissance

Formules utilisées :

$$P_c = D_{mc} * C_{eau} * (T_{ce} - T_{cs})$$

$$P = k * S * \Delta TLM$$

$$\text{avec } \Delta TLM = \frac{((T_{cs} - T_{fe}) - (T_{ce} - T_{fs}))}{\ln\left(\frac{T_{cs} - T_{fe}}{T_{ce} - T_{fs}}\right)}$$

$D_{mc}$  : débit massique de l'eau chaude ( $\text{kg.s}^{-1}$ )

$C_{eau}$  : capacité thermique massique de l'eau ( $\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ )

T : température ( $^{\circ}\text{C}$ )

k : coefficient global d'échange ( $\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ )

S : surface d'échange ( $\text{m}^2$ )

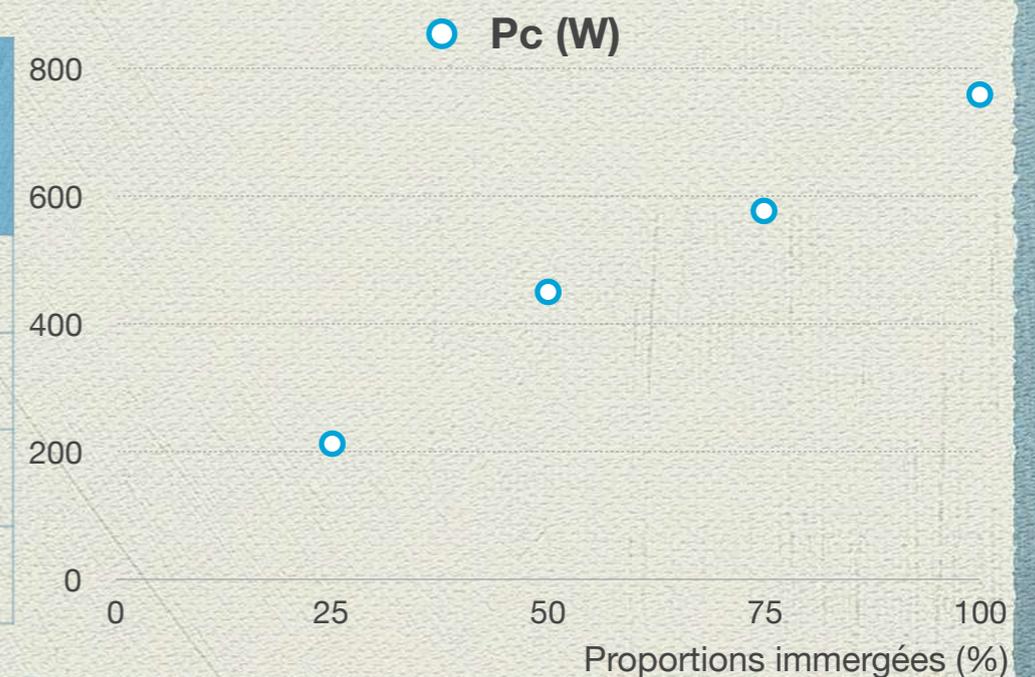
$\Delta TLM$  : Température logarithmique moyenne ( $^{\circ}\text{C}$ )

Valeurs utiles :

$$S = 0,14 \text{ m}^2$$

$$D_{mc} = 0,019 \text{ kg.s}^{-1}$$

Proportions immergées (en %)	Surfaces d'échange (en $\text{m}^2$ )	$\Delta TLM$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$P_c$ (W)	k
25	0,035	14,26	213	427
50	0,07	12,87	450	500
75	0,098	12,27	576	479
100	0,14	12,21	758	444



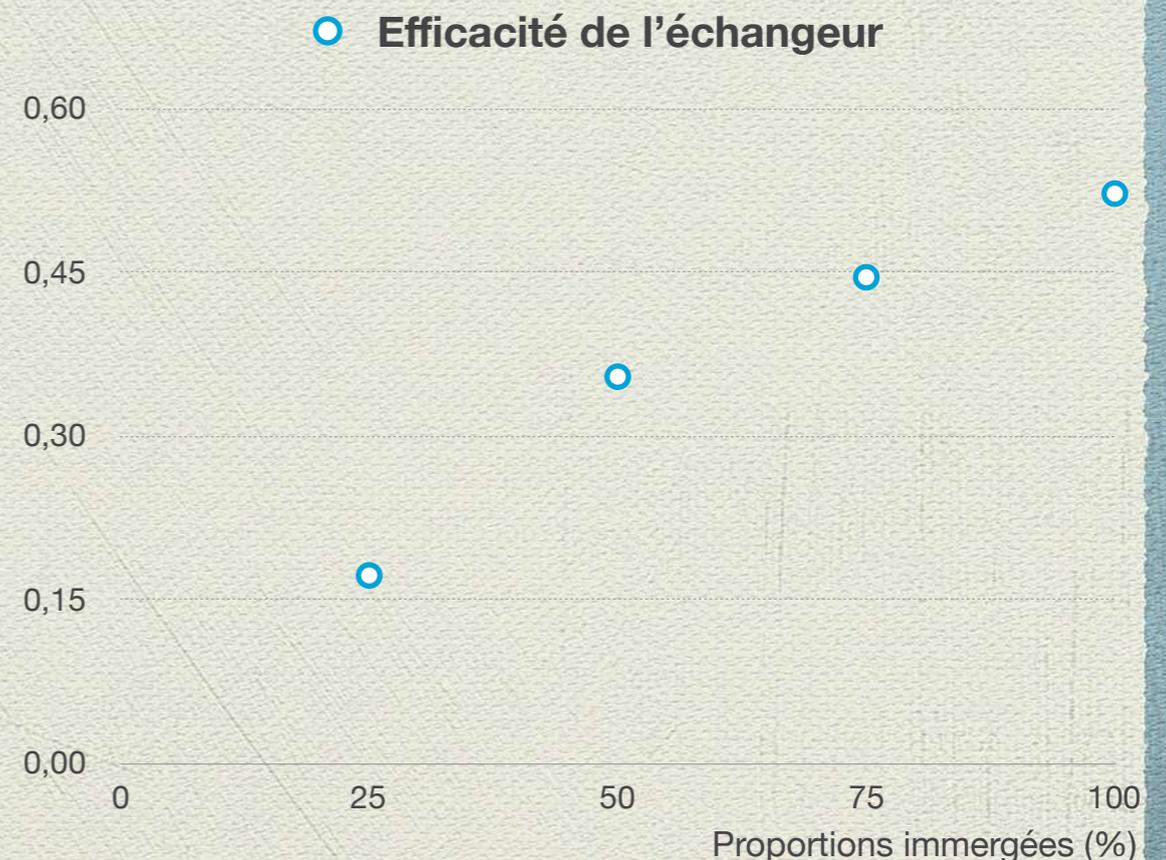
# III / Étude des résultats

## b - Influence de la surface d'échange *Efficacité de l'échangeur*

$$e = \frac{P}{P_{max}} = \begin{cases} \frac{T_{ce} - T_{cs}}{T_{ce} - T_{fe}} & \text{si } P_f > P_c \\ \frac{T_{fs} - T_{fe}}{T_{ce} - T_{fe}} & \text{si } P_f < P_c \end{cases}$$

avec  $P_{max}$  la puissance de l'échangeur si celui-ci était de longueur « infini »

Proportions immergées (en %)	P (W)	Pmax (W)	e
25	2,7	15,7	0,17
50	5,7	16,1	0,35
75	7,3	16,4	0,45
100	9,6	18,4	0,52



# CONCLUSION

## OPTIMISATION DES ÉCHANGES

DÉBIT DE L'EAU À  
REFROIDIR

SURFACE DE L'ÉCHANGEUR

Utiliser une pompe  
afin de gérer le débit

Forme de l'échangeur  
afin d'optimiser sa longueur

# ANNEXE 1

Formules utilisées :

$$P_c = D_{mc} * C_{eau} * (T_{ce} - T_{cs})$$

$$P = k * S * \Delta TLM$$

avec

$$\Delta TLM = \frac{((T_{cs} - T_{fe}) - (T_{ce} - T_{fs}))}{\ln\left(\frac{T_{cs} - T_{fe}}{T_{ce} - T_{fs}}\right)}$$

et

$$k = \frac{1}{\frac{1}{h_c} + \frac{1}{h_f} + \frac{e}{\lambda} + R_{the}}$$

$D_m$  : débit massique de l'eau ( $\text{kg.s}^{-1}$ )

$T$  : température ( $^{\circ}\text{C}$ )

$C_{eau}$  : capacité thermique massique de l'eau ( $\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ )

$S$  : surface d'échange ( $\text{m}^2$ )

$\Delta TLM$  : Température logarithmique moyenne ( $^{\circ}\text{C}$ )

$k$  : coefficient global d'échange ( $\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ )

$h_c$  : coefficient de convection de l'eau chaude ( $\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ )

$h_f$  : coefficient de convection de l'eau froide ( $\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ )

$e$  : l'épaisseur du cuivre (m)

$\lambda$  : conductivité thermique du cuivre ( $\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ )

$R_{the}$  : Résistance thermique d'encrassement

# ANNEXE 2

$$k = \frac{1}{\frac{1}{hc} + \frac{1}{hf} + \frac{e}{\lambda} + Rthe}$$



Ceau

	UNITES	J / g / K	J / kg / K	Wh / kg / °C
EAU ETAT LIQUIDE		4,185	4185	1,1625
EAU ETAT SOLIDE (0°C)		2,060	2060	0,5722
EAU ETAT GAZEUX		1,850	1850	0,5138
AIR SEC		1,005	1005	0,2791
AZOTE		1,040	1040	0,2888
CUIVRE		0,385	385	0,1069
FER		0,449	449	0,1247
LAITON		0,377	377	0,1047

Matériau	Conductivité thermique (W/m°C)	$h_p$ (W/m²C)	
		pour 1mm	pour 5mm
Fer	70	70000	14000
Acier carbone			
Inox 316	17	17000	3400
Hastelloy	12	12000	2400
Monel	20	20000	4000
Inconel	13	13000	2600
Nickel	80	80000	16000
Titane	20	20000	4000
Cuivre	390	390000	78000
Aluminium	240	240000	48000
Plomb	35	35000	7000
Verre Pyrex	1,5	1500	300
PTFE	2,3	2300	460
Graphite	7	7000	1400