

ÉTUDE DE LA RÉCUPÉRATION ET DE LA RÉUTILISATION DE CHALEUR DANS UN DATA CENTER.

TIPE 2025/2026

PLAN

PROBLEMATIQUE

DETAIL DE L'EXPÉRIENCE ET PROTOCOLE

EXPERIENCE A

EXPERIENCE B

EXPERIENCE C

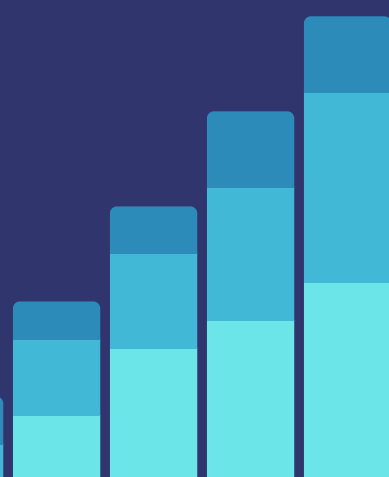
EXPERIENCE D

ANALYSE DES RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION

CONCLUSION

OUVERTURE ET UTILISATION

CONTEXTE

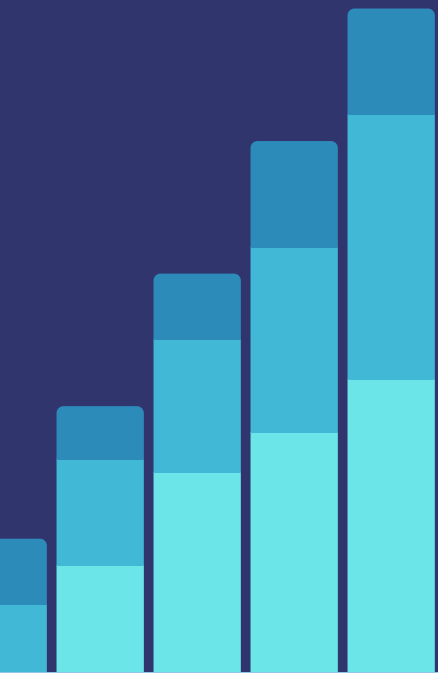


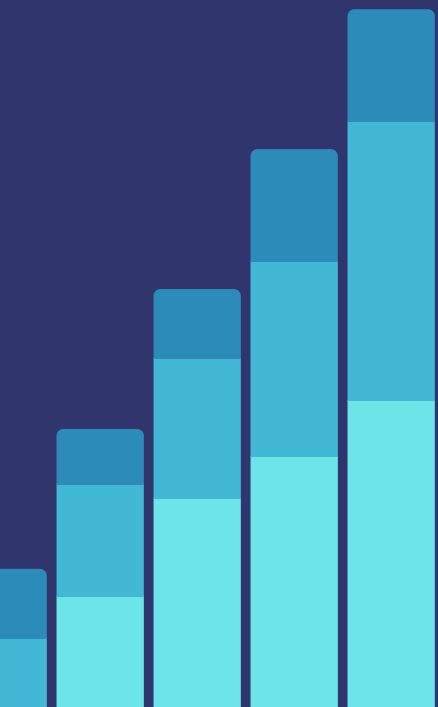
Les data centers représentent environ 1 à 2 % de la consommation électrique mondiale, dont une fraction significative est dissipée sous forme de chaleur fatale — non valorisée.

- Chaleur rejetée à 30–70 °C, exploitable pour le chauffage urbain
- Enjeu de sobriété énergétique majeur en contexte post-2022

PROBLÉMATIQUE

Comment récupérer un maximum de chaleur d'un data center tout en assurant son bon fonctionnement, et réutiliser cette chaleur dans un cycle urbain ?





L'objectif est de maximiser la chaleur récupérée en sortie tout en assurant un refroidissement efficace de la source — deux contraintes antagonistes à équilibrer.

matériel utilisé

bain thermostaté : serveurs

serpentin : circuit de refroidissement

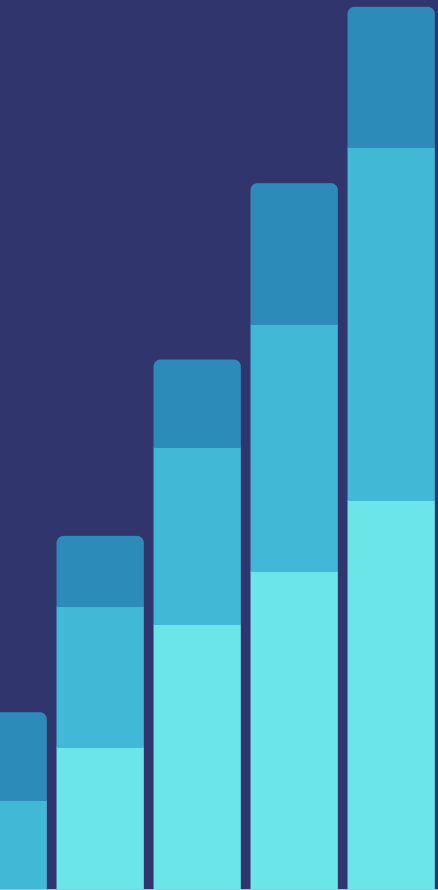
robinet : eau en entrée

pompe : homogénéisation

bécher : débit

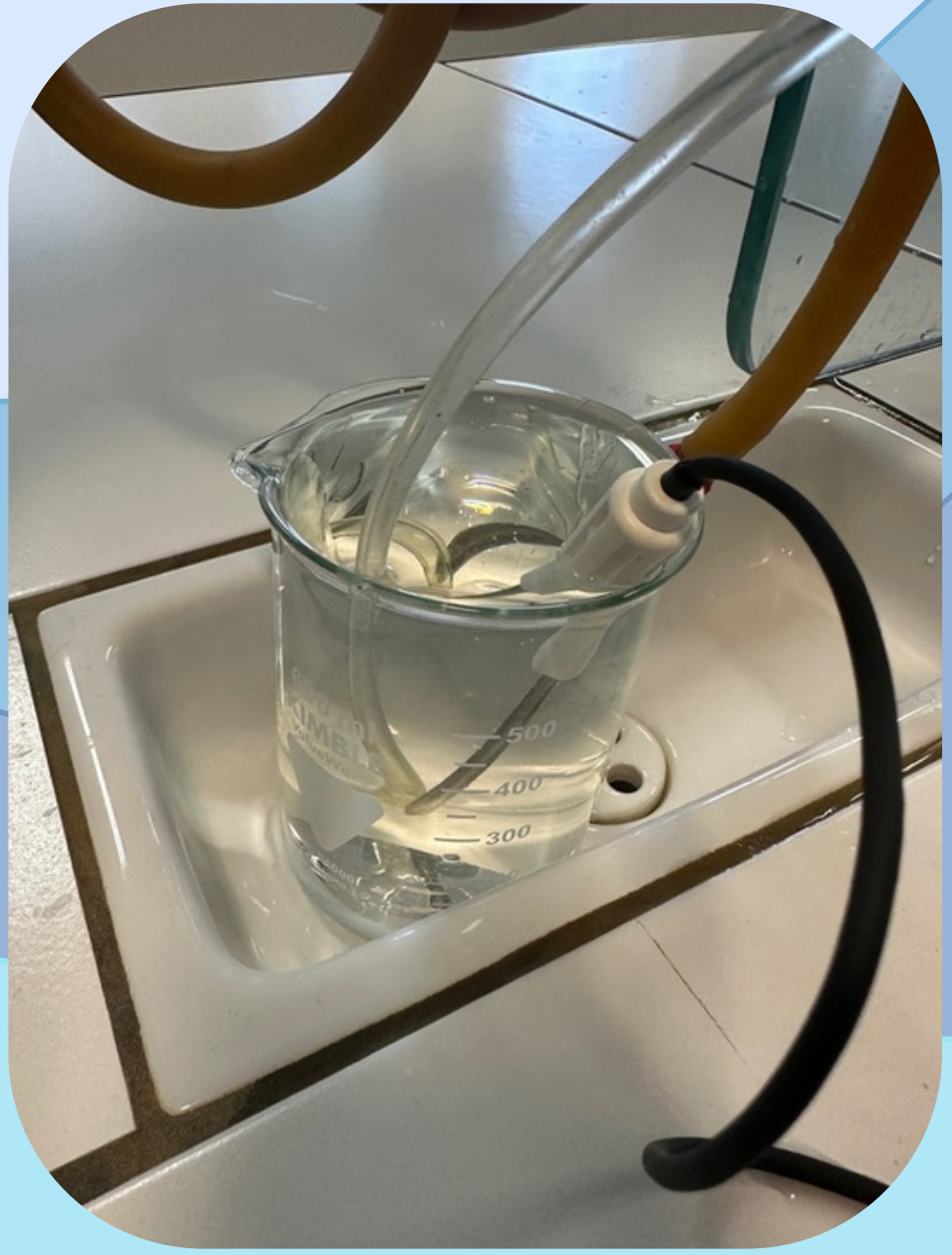


Modèle simplifié du data center



maquette
représentant le
data center





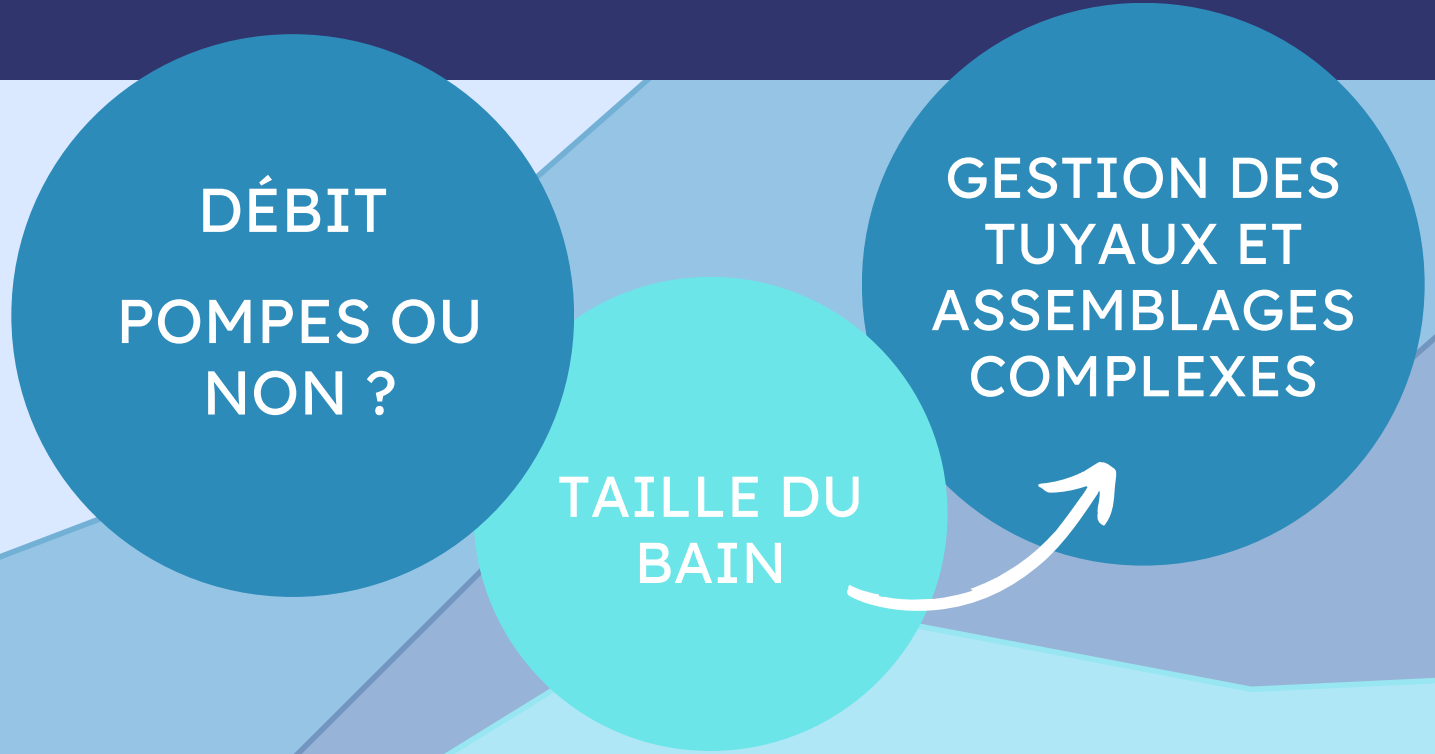
manipulation et eau en sortie

PROBLÈMES

DÉBIT
POMPES OU
NON ?

TAILLE DU
BAIN

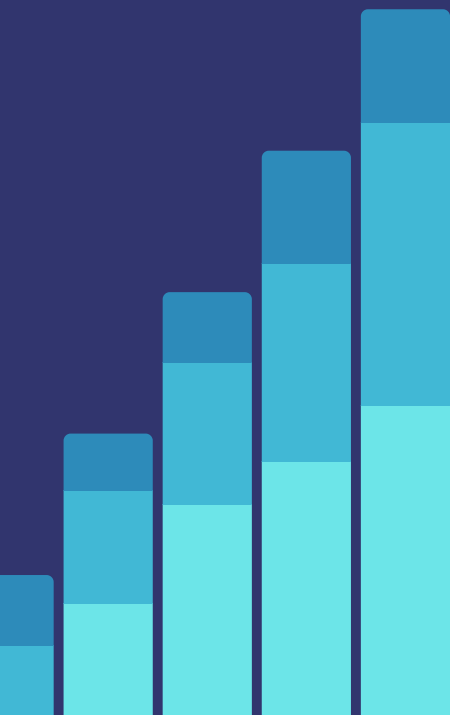
GESTION DES
TUYAUX ET
ASSEMBLAGES
COMPLEXES



paramètres étudiés et hypothèses :

- Débit
- Température du bain
- Température de sortie
- Puissance récupérée

indicateur principal d'efficacité énergétique



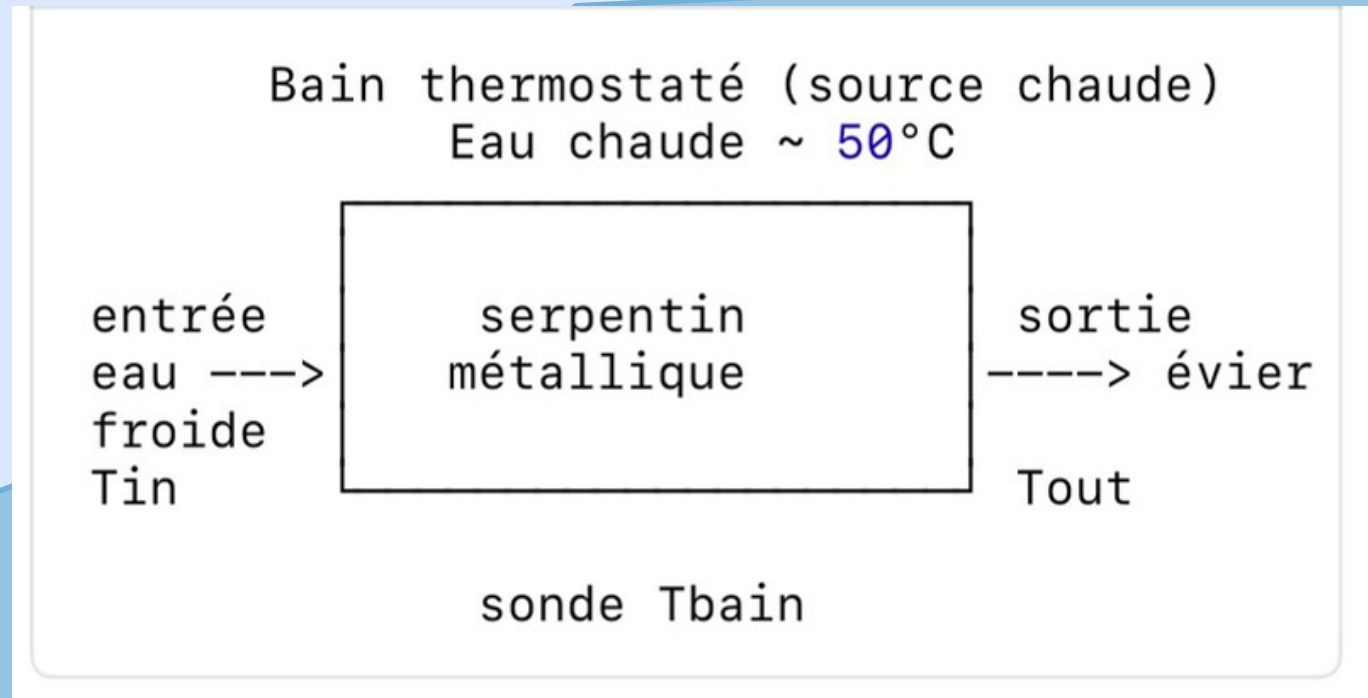
paramètres étudiés et hypothèses :

- Eau en entrée de température constante
- Pertes thermiques négligées à court terme
- Bain homogène
- C_p constant

$$P = m * C_p * (T_s - T_e) \quad \text{avec } C_p = 4180 \text{ J/Kg.K}$$

$$m = pQ \text{ avec } Q \text{ le débit et } p = 1000 \text{ Kg/m}^3$$

Protocole Expérimental



Expérience A

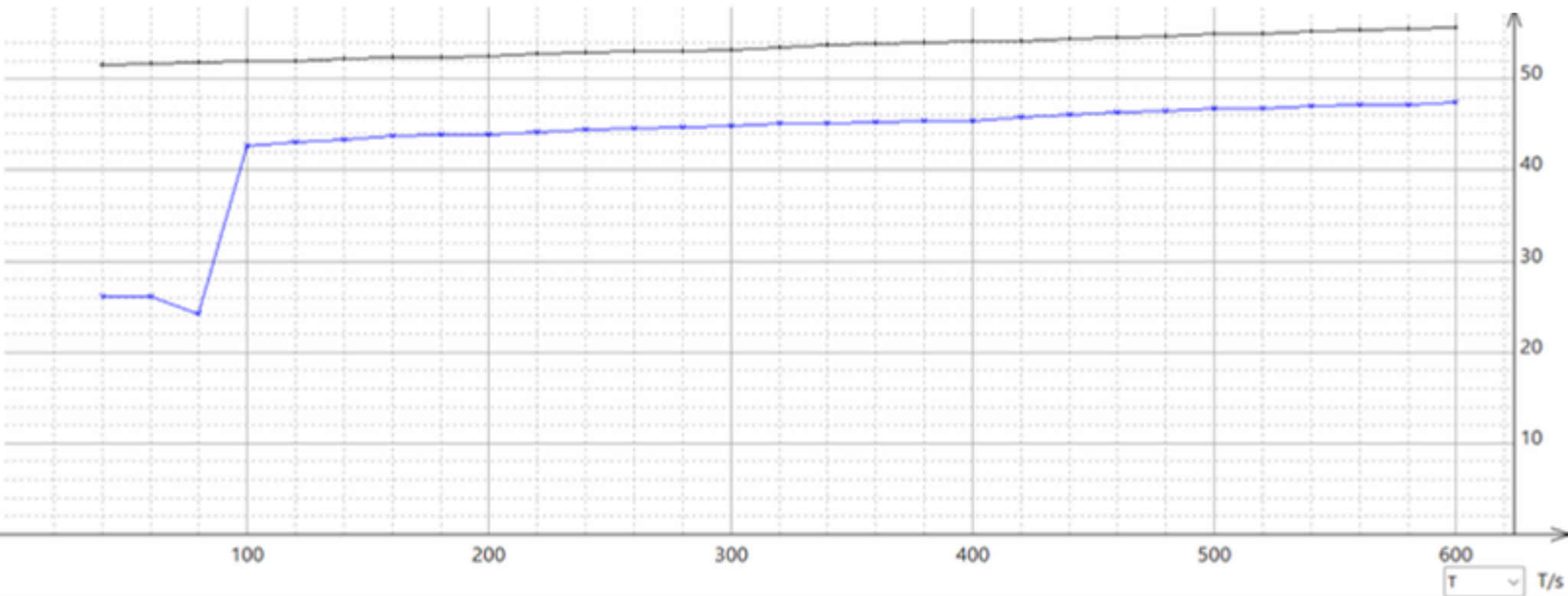
Comment le débit influence t-il la récupération thermique ?

- Bain à 50 °C
- 3 débits : $4,55 * 10^{-6}$, $1,25 * 10^{-5}$ et $2,5 * 10^{-5}$ m³/s
- Mesure de T_b et T_s toutes les 20s pendant 10min
- On trace $T_s = f(Q)$ et $P = f(Q)$

T_s diminue quand le débit augmente parce que l'eau reste moins longtemps dans le serpentin

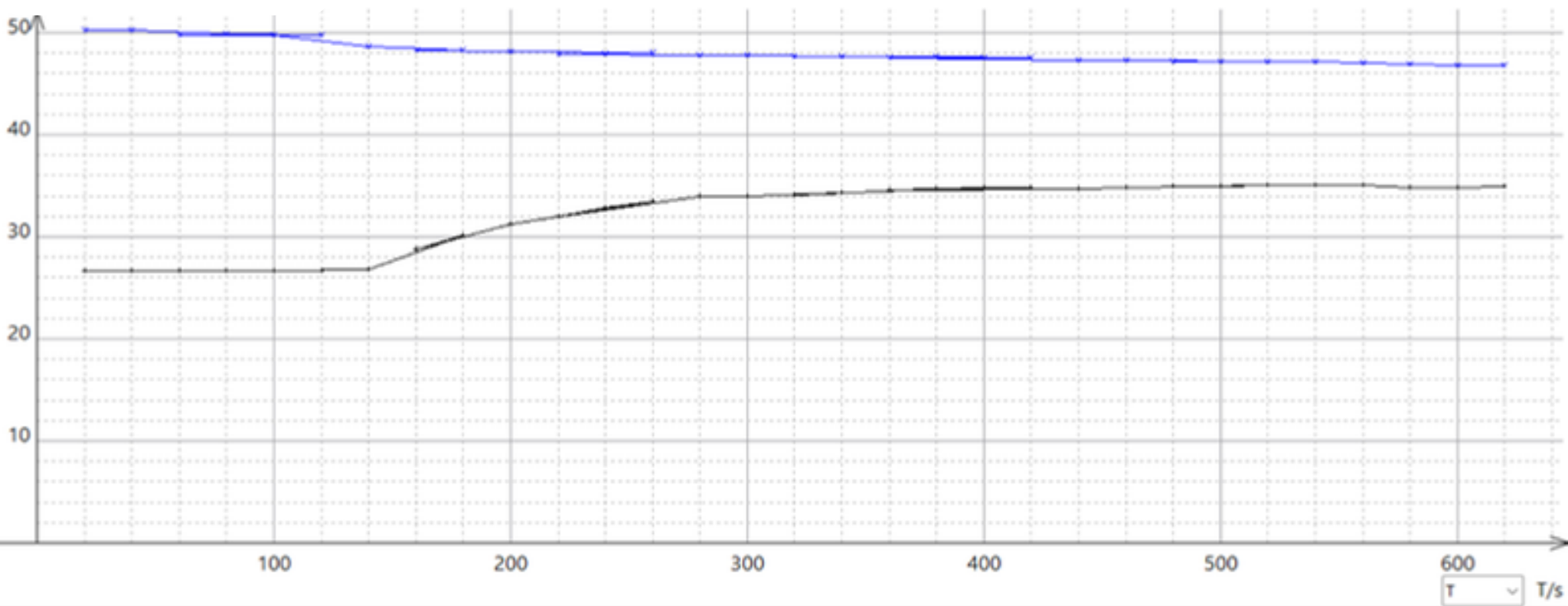
Expérience A : T_s

$T_s/^\circ\text{C}$ $T_b/^\circ\text{C}$



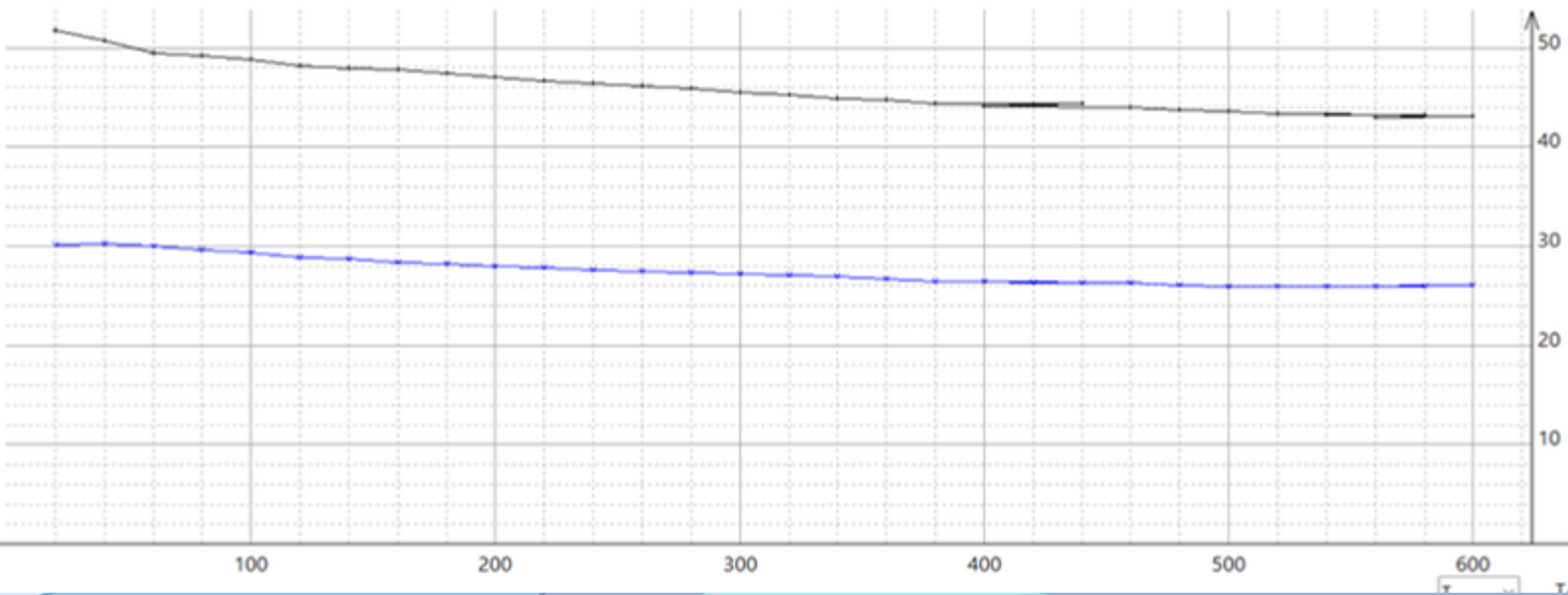
Expérience A : T_s

$T_s/^\circ\text{C}$ $T_b/^\circ\text{C}$



Expérience A : T_s

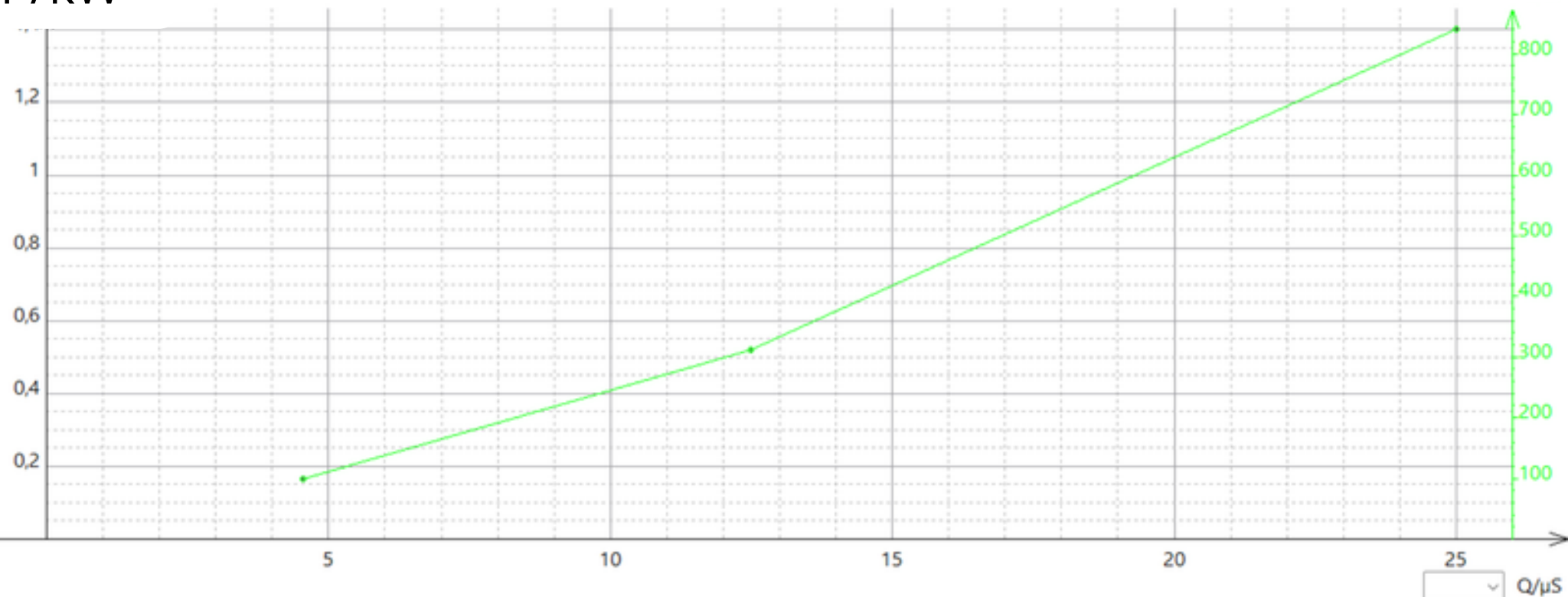
$T_s/^\circ\text{C}$ $T_b/^\circ\text{C}$

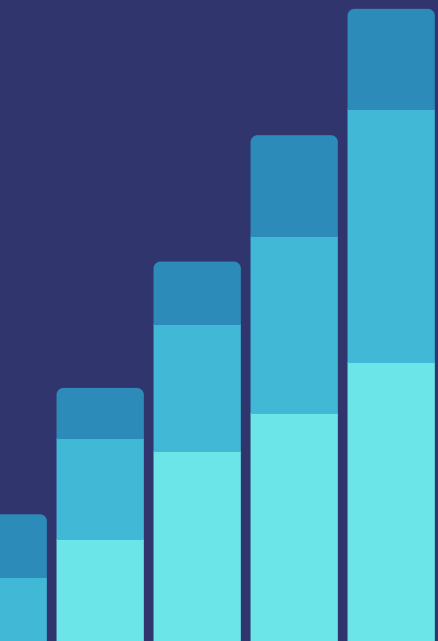


Expérience A : P

P/kW

E/kJ





Expérience A

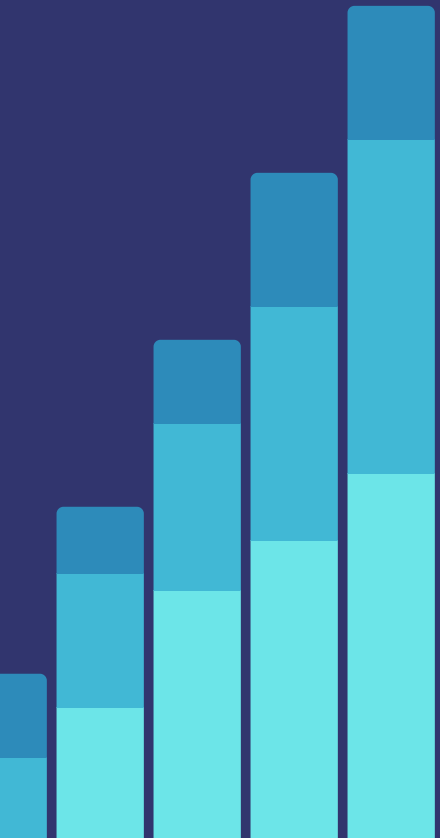
**Plus le débit augmente, plus la
puissance récupérée est grande**

Expérience B

Idée de bon fonctionnement du data center

A quelle vitesse le bain refroidit

Quel débit refroidit trop vite

- 
- Bain à 50 °C
 - 3 débits $1 * 10^{-5}$, $1,67 * 10^{-5}$ et $3,125 * 10^{-5}$ m³/s
 - Temps au bout duquel $T_b = 40$ °C
 - On trace $T_b = f(T)$ et $P = f(T_b)$

Expérience B Attentes

Avec un gros débit :

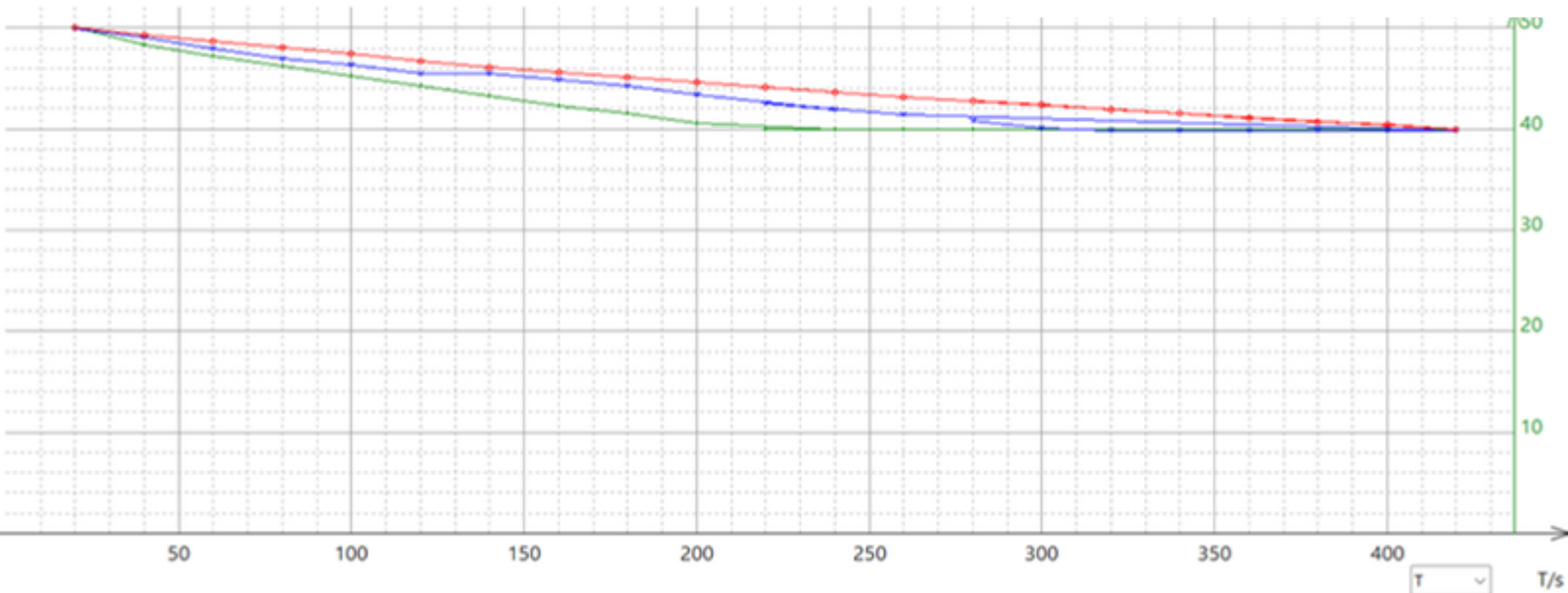
- L'eau circule plus vite
- Elle se réchauffe moins localement
- Le serpentin reste plus froid
- La température du bain peut être plus homogène
- L'échange thermique est moins brutal localement

Avec un faible débit :

- L'eau reste longtemps dans le serpentin
- Elle devient très chaude

Expérience B : Tb

Tb3/°C Tb2/°C Tb1/°C

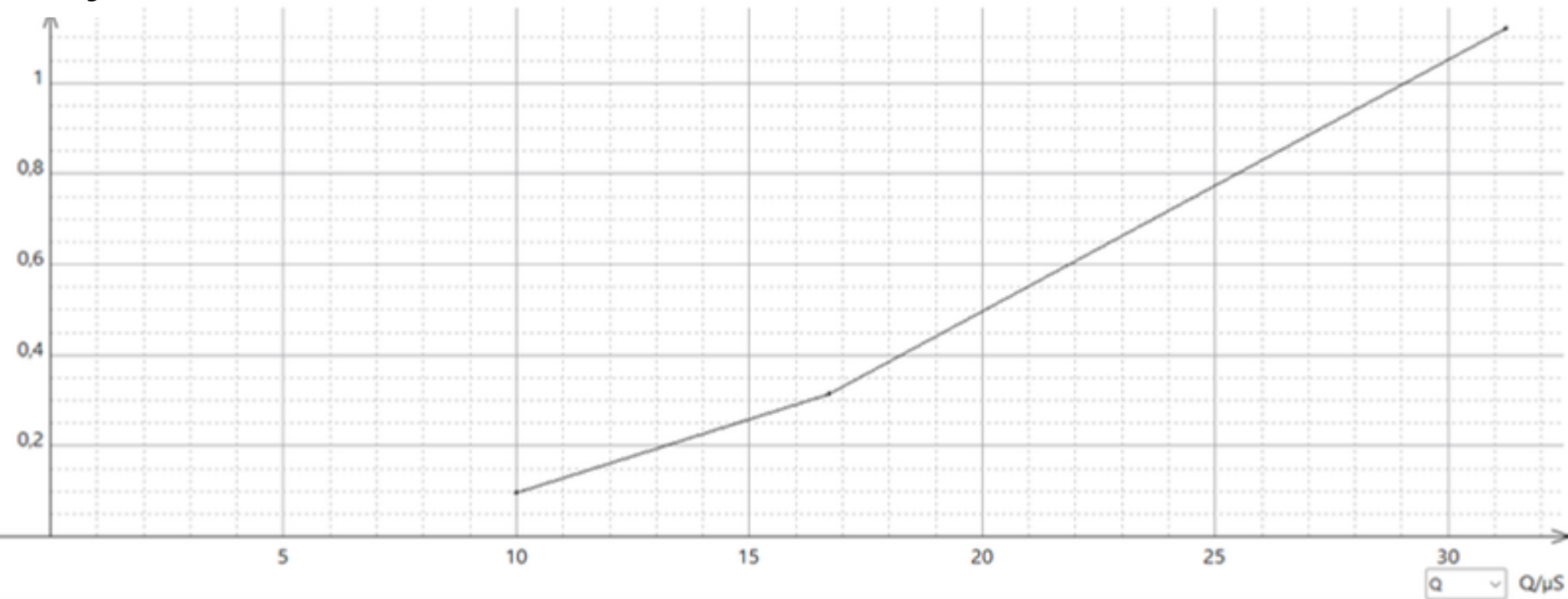


Expérience B

Débit	Temps vers 40°C
0,6 L/min	220 s
1,0 L/min	320 s
1,875 L/min	420 s

Expérience B : P

E/MJ



Expérience B Remarques

C'est le débit élevé qui maximise
simultanément la récupération énergétique
et ralentit le refroidissement du système



Moins bien pour refroidir
rapidement



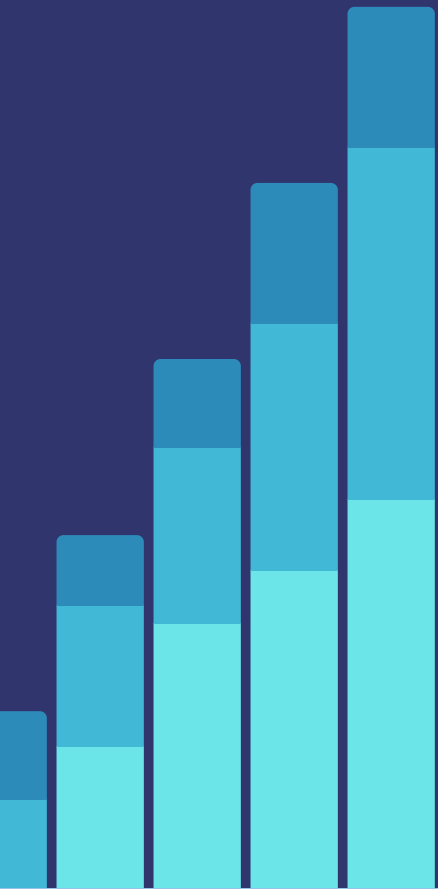
Bien pour extraire le maximum de
chaleur le plus longtemps

Expérience C

Quelle température de fonctionnement favorise la valorisation énergétique

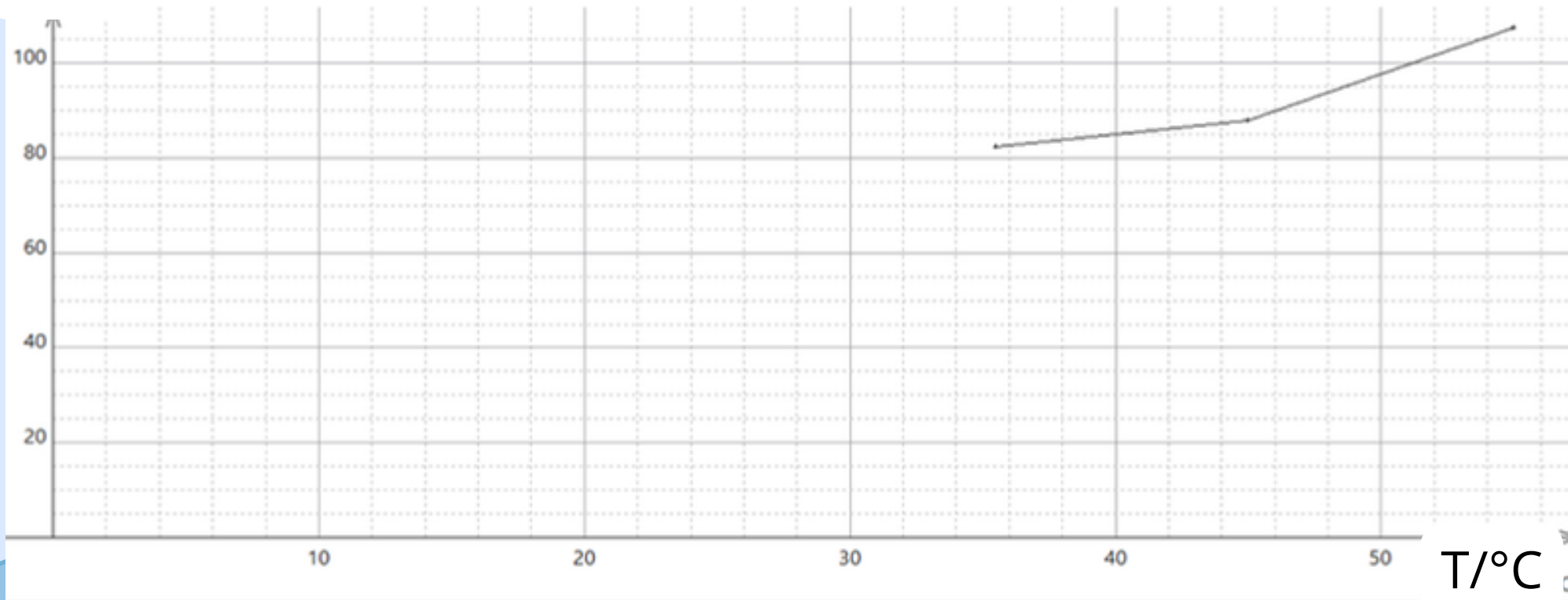
(Car les systèmes modernes cherchent parfois à fonctionner à température légèrement plus élevée afin de faciliter la réutilisation de la chaleur fatale)

- Bain à 55, 45 et 35 degrés
- 1 débits $2 * 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$
- On trace $E = f(T_i)$



Expérience C

E/kW

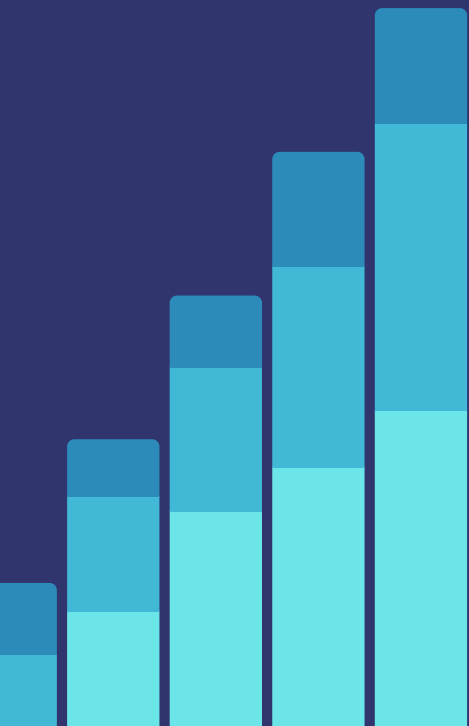


$T/^\circ\text{C}$

Expérience C

Température de fonctionnement plus élevée améliore la valorisation de la chaleur récupérée

Toutefois, dans un data center réel, cette température reste limitée par les contraintes thermiques des composants électroniques

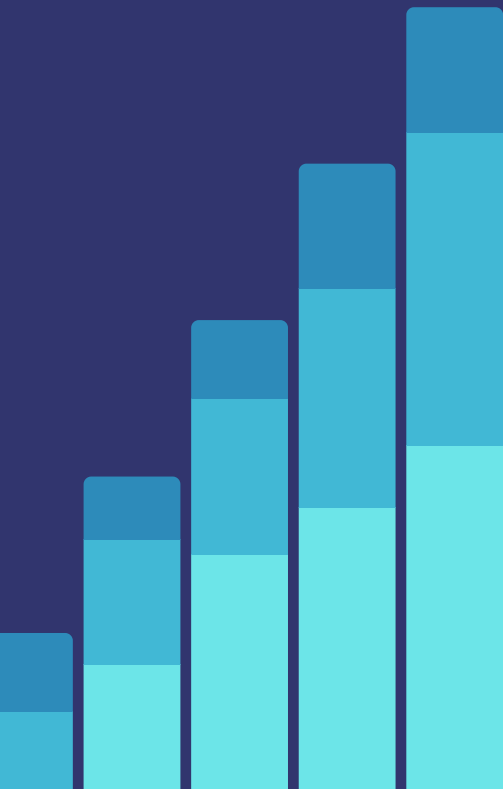


Expérience D

Modélisation du comportement thermique du système :

Les courbes expérimentales peuvent être décrites par une décroissance exponentielle avec τ

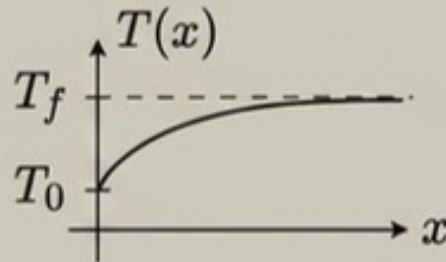
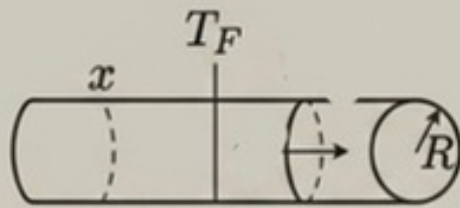
Ce paramètre permet de quantifier la stabilité thermique du système et donc sa capacité à fonctionner correctement



$$\underbrace{c_p S v}_{D_m} \frac{\partial T}{\partial x} + hT(x) \cdot 2\pi R = 2\pi R h T_f$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} + \frac{2\pi R h}{c D_m} T(x) = \frac{2\pi R h}{c D_m} T_f$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} + \frac{2\pi R h}{c D_m} (T(x) - T_f) = 0$$



or $j_{th} : h(T(x) - T_f) C_x$

$$V = \frac{dx}{dt}$$

$$dt = \frac{dx}{V}$$

$$= C_p S dx (T(x + dx) - T(x)) = -h(T(x) - T_f) 2\pi R dx dt$$

$$\therefore C_p S dx \frac{\partial T}{\partial x} dx = -h(T(x) - T_f) 2\pi R dx dt$$

$$\therefore C_p S \frac{\partial T}{\partial x} = -h(T(x) - T_f) \frac{2\pi R}{V}$$

$$\Rightarrow \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{h 2\pi R}{C_p S v} (T(x) - T_f)$$

Expérience D

On résout et on trouve $T_s = T_f + (T_{in} - T_f)e^{-KL}$

or : $Q = Sv$ et $K = \frac{2\pi Rh}{C\rho Sv}$ donc $K = \frac{2\pi Rh}{C\rho Q}$

$$T_s = T_f + (T_{in} - T_f) \exp\left(-\frac{2\pi RhL}{C\rho Q}\right)$$

Expérience D

Un débit élevé chauffe moins chaque portion d'eau individuellement mais la masse d'eau augmente donc

$P = \dot{m}c_p\Delta T$ peut augmenter

On retrouve ainsi ce qu'on avait montré à l'expérience A

Conclusion des 4 expériences

Expérience A : Pour récupérer de la chaleur il faut augmenter le débit

Expérience B : Un fort débit ne dégrade pas le comportement thermique du système

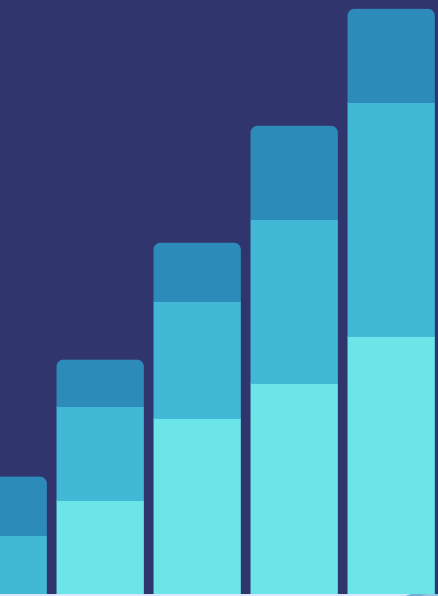
Expérience C : Les data centers “chauds” sont plus valorisables thermiquement

Expérience D : Pourquoi les mesures expérimentales ont ce comportement et validation mathématique

expérience	variable modifiée	résultat principal
A	débit Q	$P = f(Q)$
B	condition thermique	compromis refroidissement/récupération
C	température source	$P = f(T_b)$

Limites et incertitudes

- Précision des thermomètres
- fluctuation du débit robinet
- Homogénéité imparfaite du bain
- perte thermique vers l'air





MAIS

**On peut également s'intéresser aux
différentes utilisations de l'eau en sortie
ainsi que leurs exigences**

(Toute la partie extérieur aux datas centers)

ÉTÉ / HIVER

Stockage de
chaleur ou
utilisation pour
sanitariser

Chauffage de la
ville

L'enjeu serait donc de mettre en commun
nos mesures

Maleaume : mesures pour les utilisation ext

Ilan : mesures du data center

Conclure quels utilisations sont réalistes

Utilisation

stockage thermique pour alimenter un
système

douches publiques centres d'accueil services
urbains

centre de production d'eau douce à partir
d'humidité

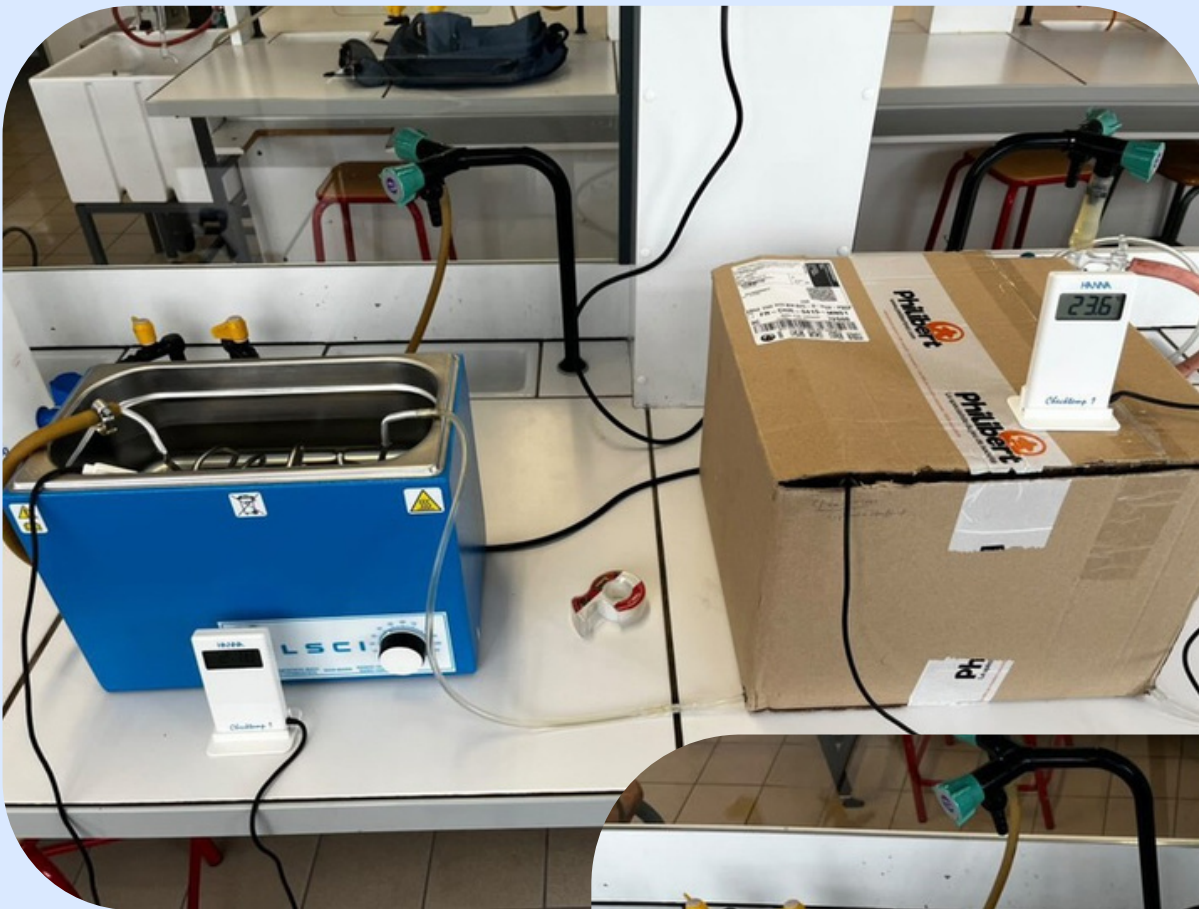
centre de fabrication artisanale ou
industrielle à basse temp

réseau de chaleur urbain



L'eau récupérée est-elle assez chaude pour être réinjectée dans un réseau urbain de chauffage

Ancien réseau de chauffage : 60 – 90 °C
réseau basse température moderne 30 – 50 °C
Plancher chauffant 30 – 40 °C



**Photo du data center
ainsi que la maison en
carton ouverte/fermée**



MATÉRIAU

carton

polystyrène

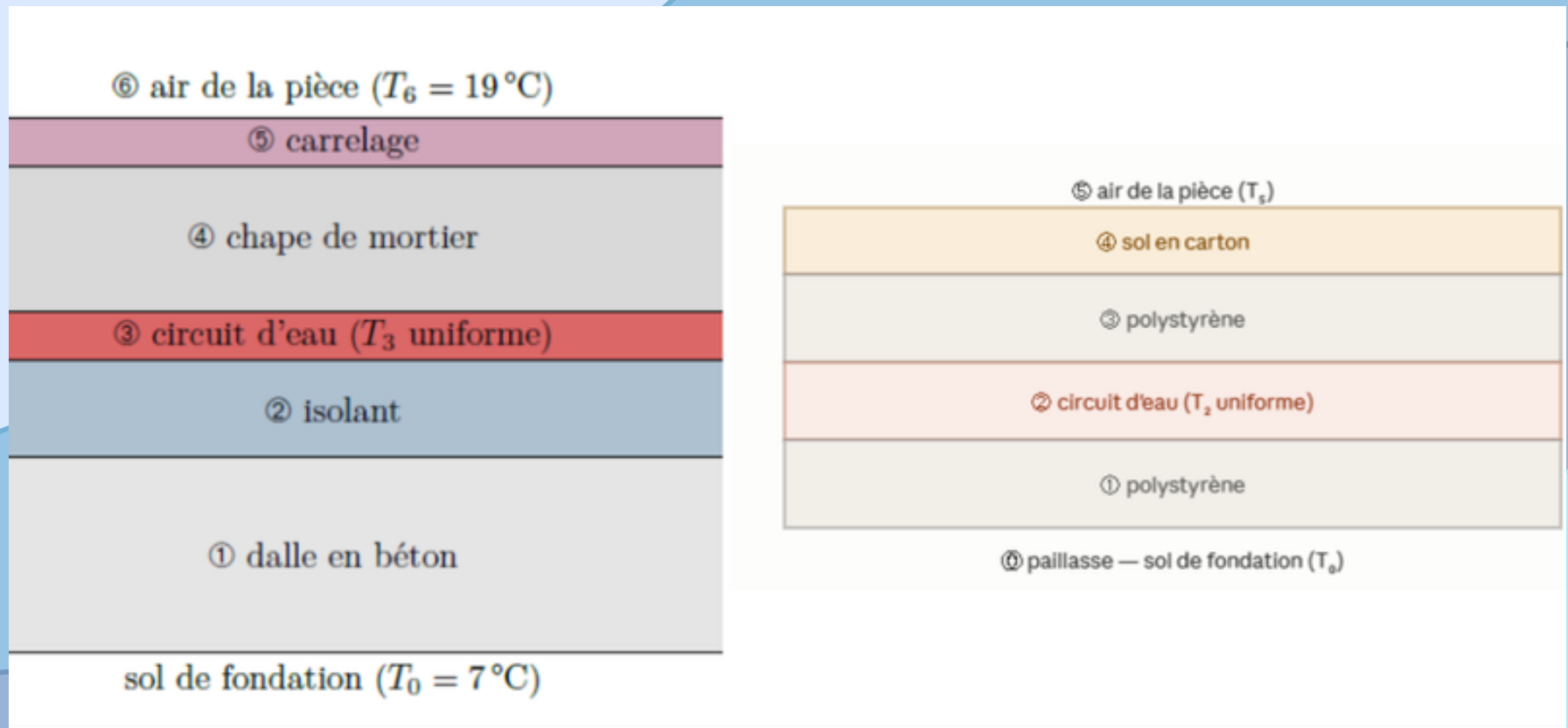
laine de verre

RÉSISTANCE

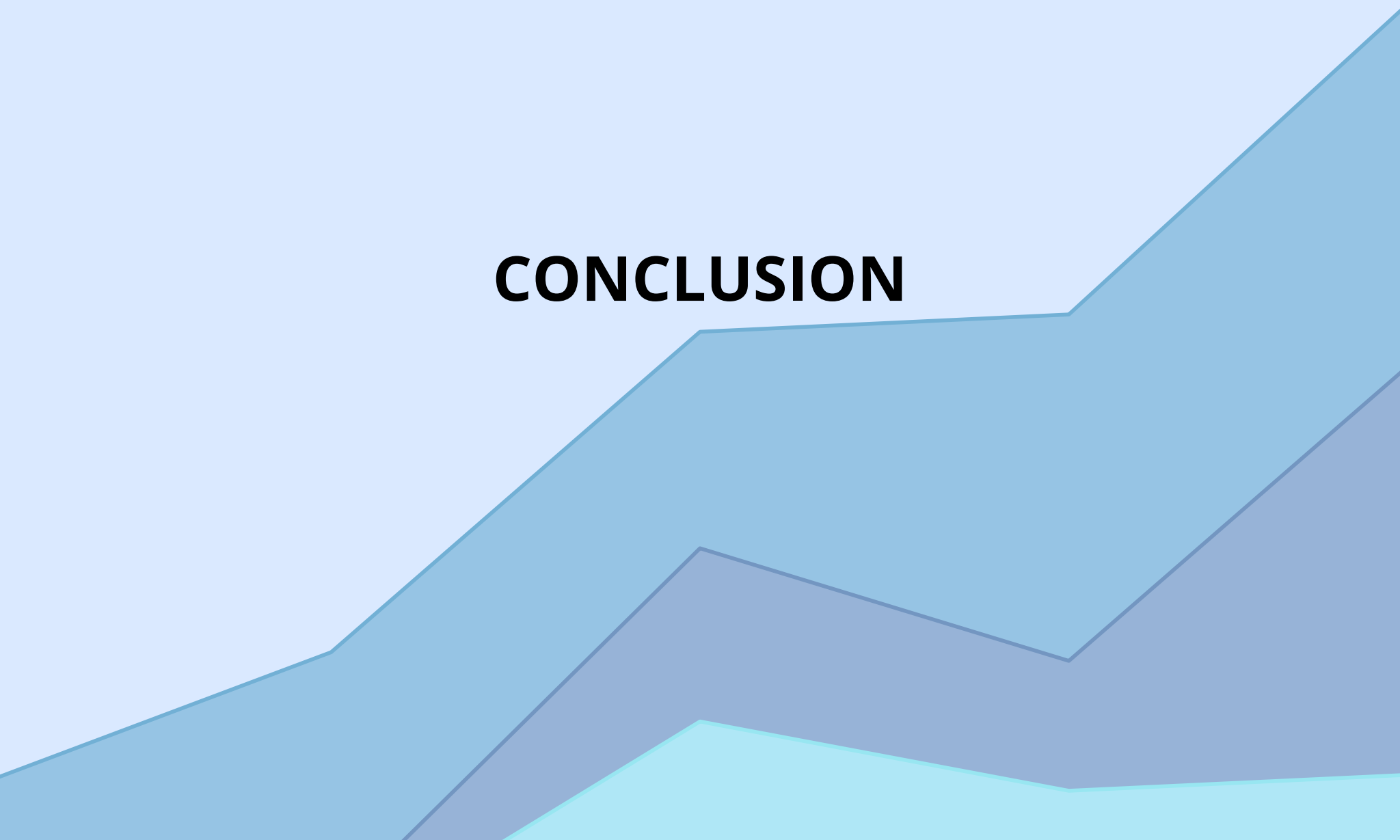
1,57

1,42

1,53



CONCLUSION

The bottom of the slide features three overlapping, abstract geometric shapes in shades of blue and cyan. The shapes are composed of several connected line segments, creating a jagged, mountain-like profile. The topmost shape is a medium blue, the middle one is a darker blue, and the bottom-most shape is a light cyan. They all extend from the left edge towards the right, with varying heights and slopes.