

# Performances et Nouvelles Technologies en Maintenance

Surveillance en ligne d'une machine tournante par  
thermographie infrarouge

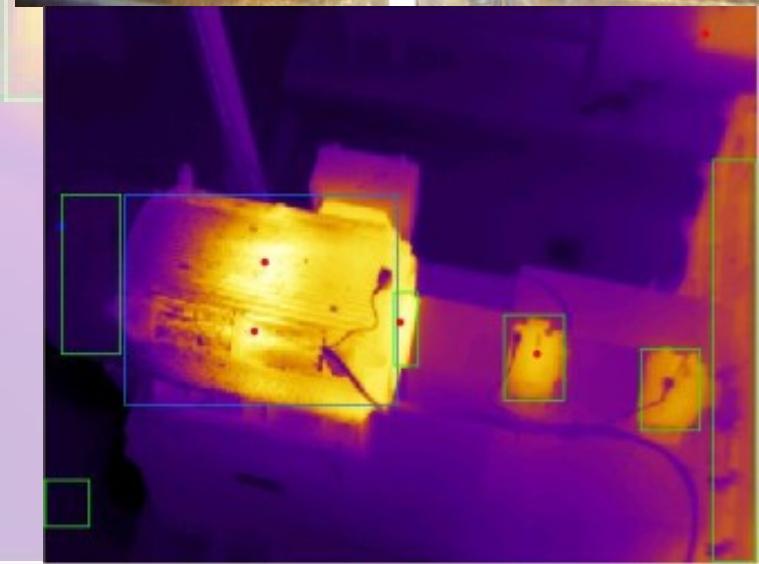
Vincent Leemans  
Mécanique et Construction  
Ulg - GxABT

# Introduction

- Recherche dans le cadre du projet FiaMa
- Matériel
- Modèle de la température pour mettre en évidence une dérive éventuelle
- Résultats chiffrés
- Résultats graphiques
- Conclusion

# Acquisition

- Matériel
  - Caméra thermographique protégée
    - Acquisition et traitement à 5 Hz
    - Enregistrement /15 min.
  - Ordinateur type « black box »
- Traitements en « temps réel »
  - Enregistrement des résultats dans une base de données



# Acquisition

- Pré-traitement des thermogrammes

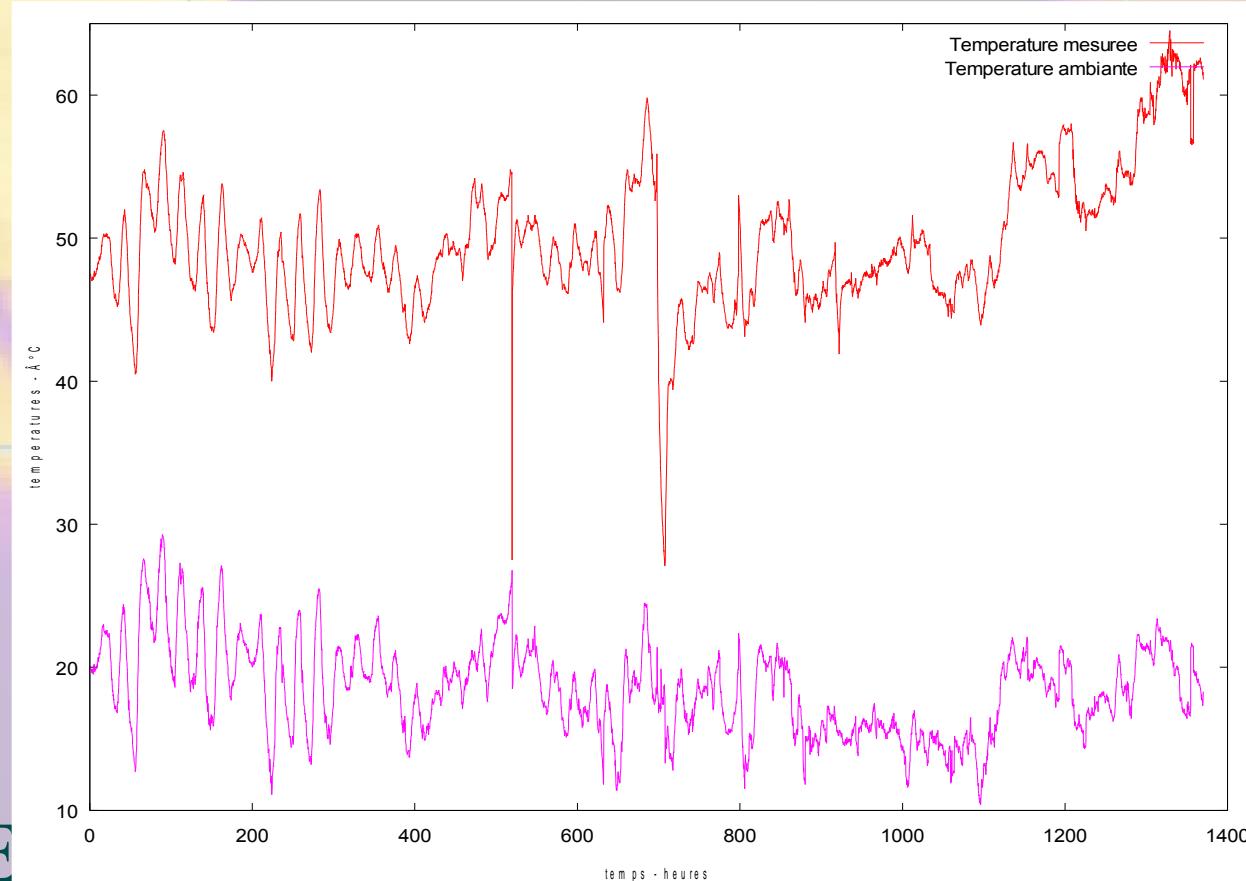
- Filtrage récursif pour réduire le bruit

$$F_{(i, j, k)} = F_{(i, j, k-1)} * \alpha + T_{(i, j, k)} * (1 - \alpha)$$

- Régions d'intérêt :
    - Calcul de  $T_{\max}$ ,  $T_{\text{moy}}$ , ...

# Modèle de la température

- Pourquoi un modèle de la température ?
  - Importantes variations journalières et saisonnières :  
 $\sigma$  : 3-6°C  
plage : 10-40 °C



# Modèle de la température

- Pourquoi un modèle de la température ?
  - Importantes variations journalières et saisonnières :  
 $\sigma$  : 3-6°C  
plage : 10-40 °C
  - Le modèle permet d'éliminer les variations liées à la température ambiante ou aux variation des paramètres de production

# Modèle de la température

- Modèle analytique :

$$\frac{dT_{org}}{dt} = c_1(Q_i - Q_o)$$

$$Q_o = c_2(T_{org} - T_{amb})$$

$$Q_i = c_3 \omega I + c_4 I^2$$

$$\frac{dT_{org}}{dt} + c_1 c_2 T_{org} - c_1 c_2 T_{amb} - c_1 c_3 \omega I - c_1 c_4 I^2 = 0$$

Modèle numérique correspondant :

$$y_{m(k)} = -A y_{m(k-1)} + B x_{(k-1)} + \eta_{(k)}$$

avec  $y = T_{org}$

$$x = [1; T_{amb}; \omega * I; I^2]^T$$

$$T_{org_k} = 0,851 * T_{Org_{k-1}} + 0,155 T_{Amb} + 2.515 10^{-6} I \omega$$

$T_{Amb}$

$T_{Org}$

$Q_{Out}$

$Q_{in}$



# Modèle de la température

- Ajustement du modèle par la méthode des moindres carrés, forme récurrente avec facteur d'oubli
- Pour mettre en évidence une dérive de la température, deux techniques ont été envisagées :
  - Entraînement pendant une période déterminée, observation de l'erreur ensuite;
  - Entraînement « permanent » puis modélisation sur des valeurs d'entrée fixes.

# Evaluation de la méthode

- Recherche de la dérive par estimation de la limite supérieure de l'intervalle de confiance de l'erreur ou de la température corrigée.

$$T_2 = t(\alpha, n-1) \sigma_\varepsilon$$

$$T_2 = T_{cref} + t(\alpha, n-1) \sigma_\varepsilon$$

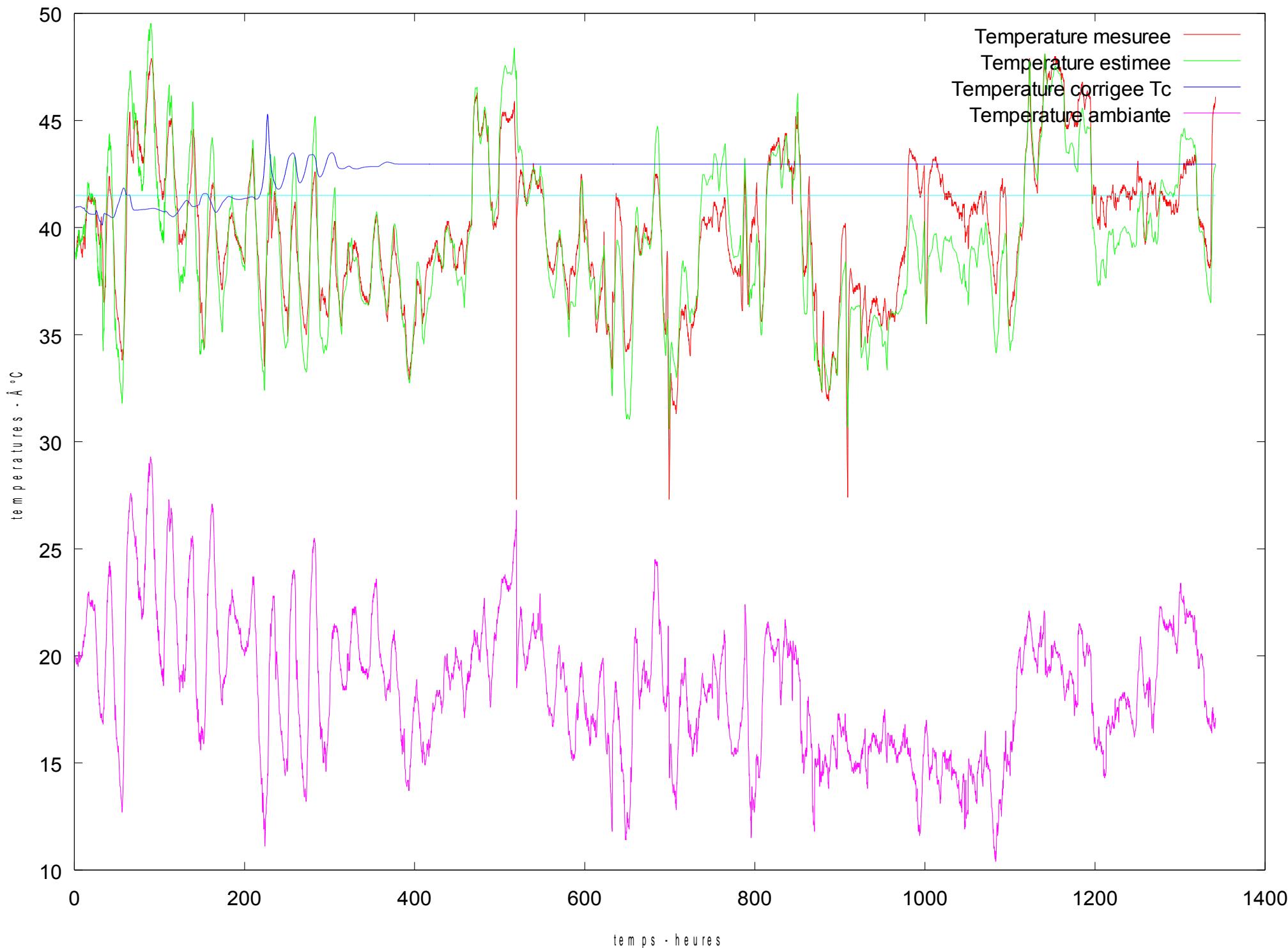
- $E(\varepsilon) = 0$
- $\sigma_\varepsilon$  l'écart-type sur les données d'entraînement
- $n = 800$
- $t(0,99, 799) = 2,33$

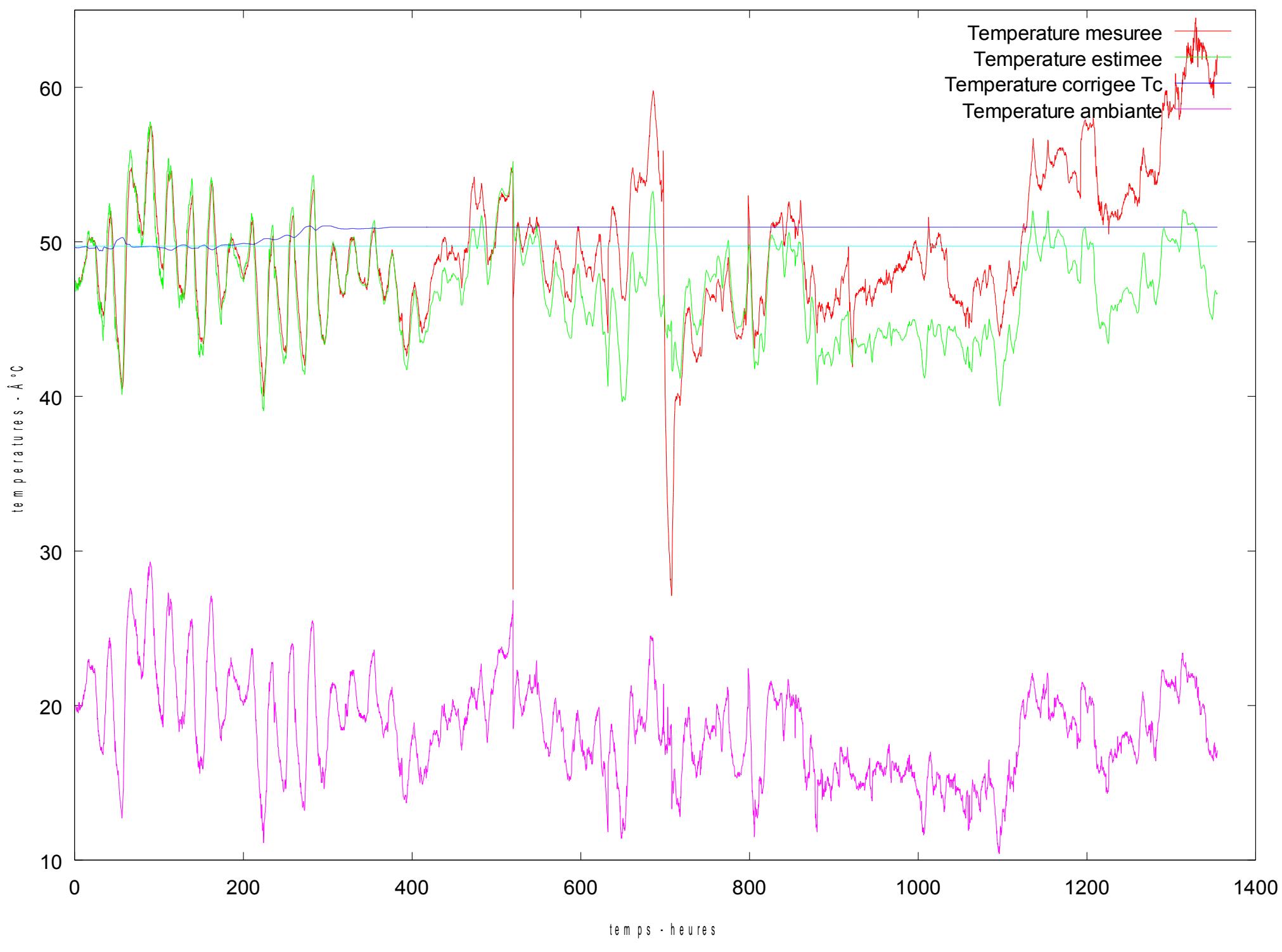
# Résultats – Entraînement déterminé

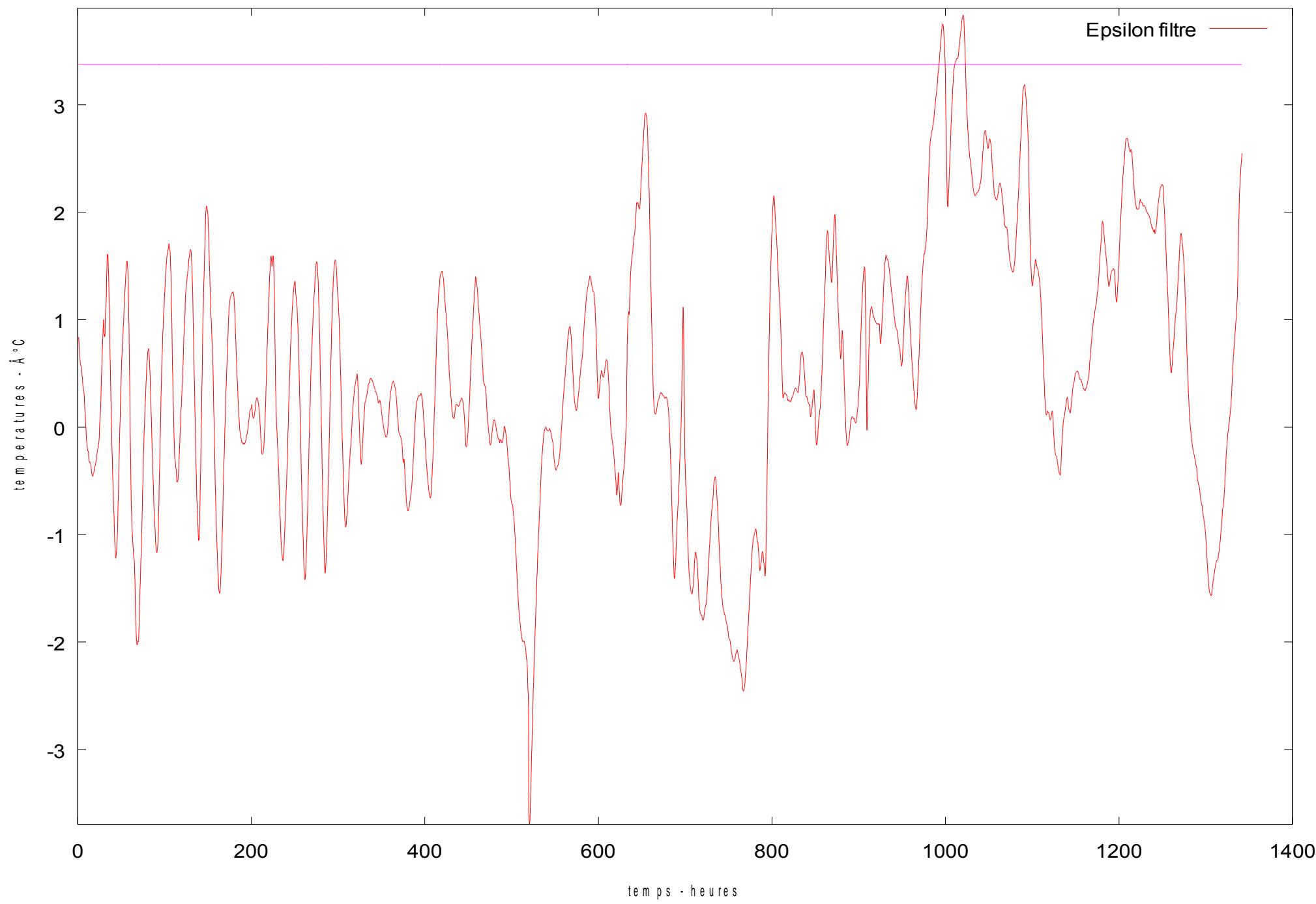
Organe	Températures mesurées				Erreur résiduelle $\epsilon$	
	Moy.	Écart-type	Min.	Max.	Écart-type entraîn.	Ecart-type validation
Température ambiante	18,5	3,2	10,4	29,2	1,65	4,0
Moteur	49,6	4,7	39,8	64,5	1,63	3,0
Roulement moteur	45,1	3,9	36,5	55,7	1,7	1,92
Palier accouplém.	41,4	3,4	34,7	50,6	1,45	1,49
Palier ventilateur	39,9	3,2	31,1	48,2		

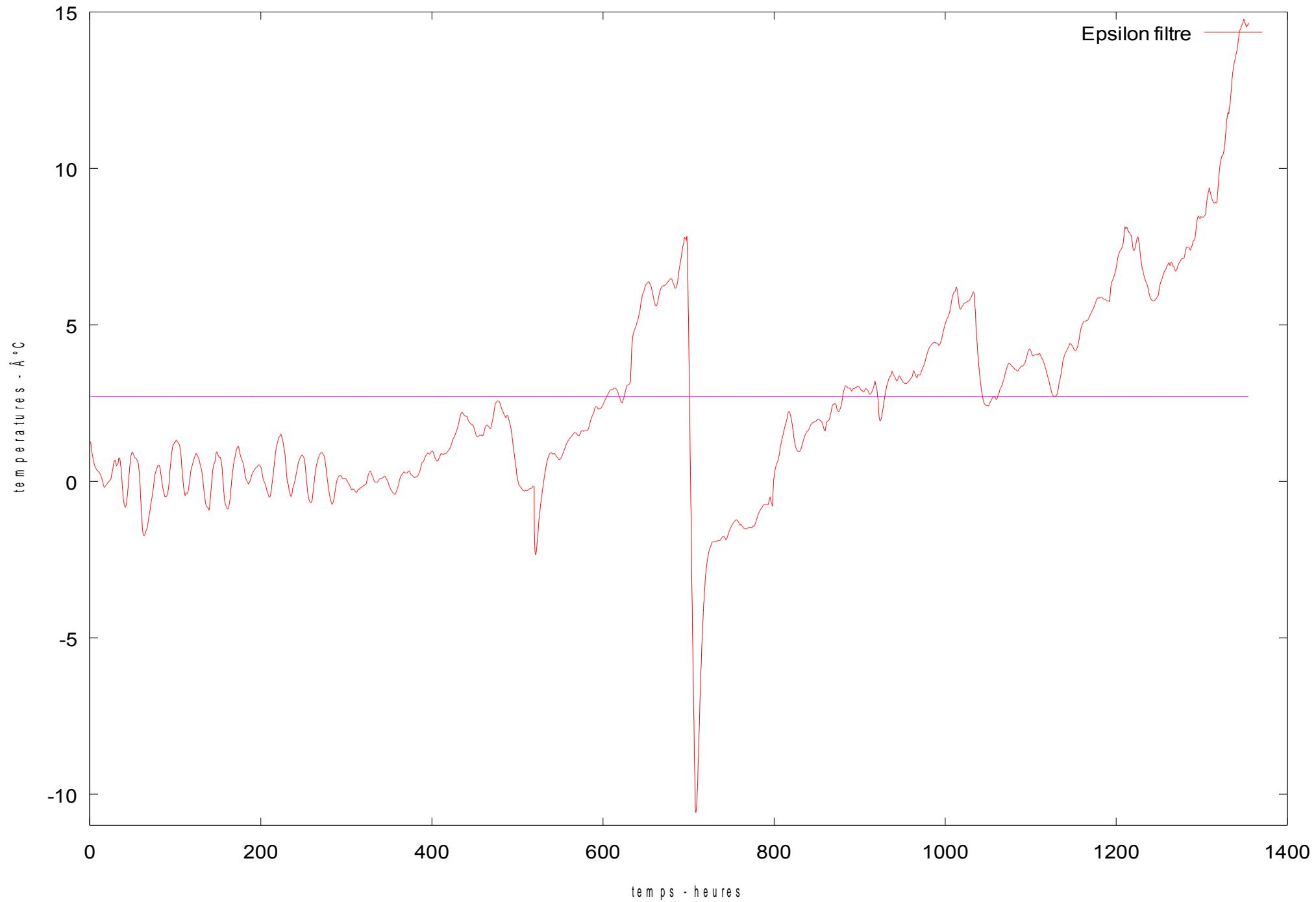
# Résultats – Entraînement continu

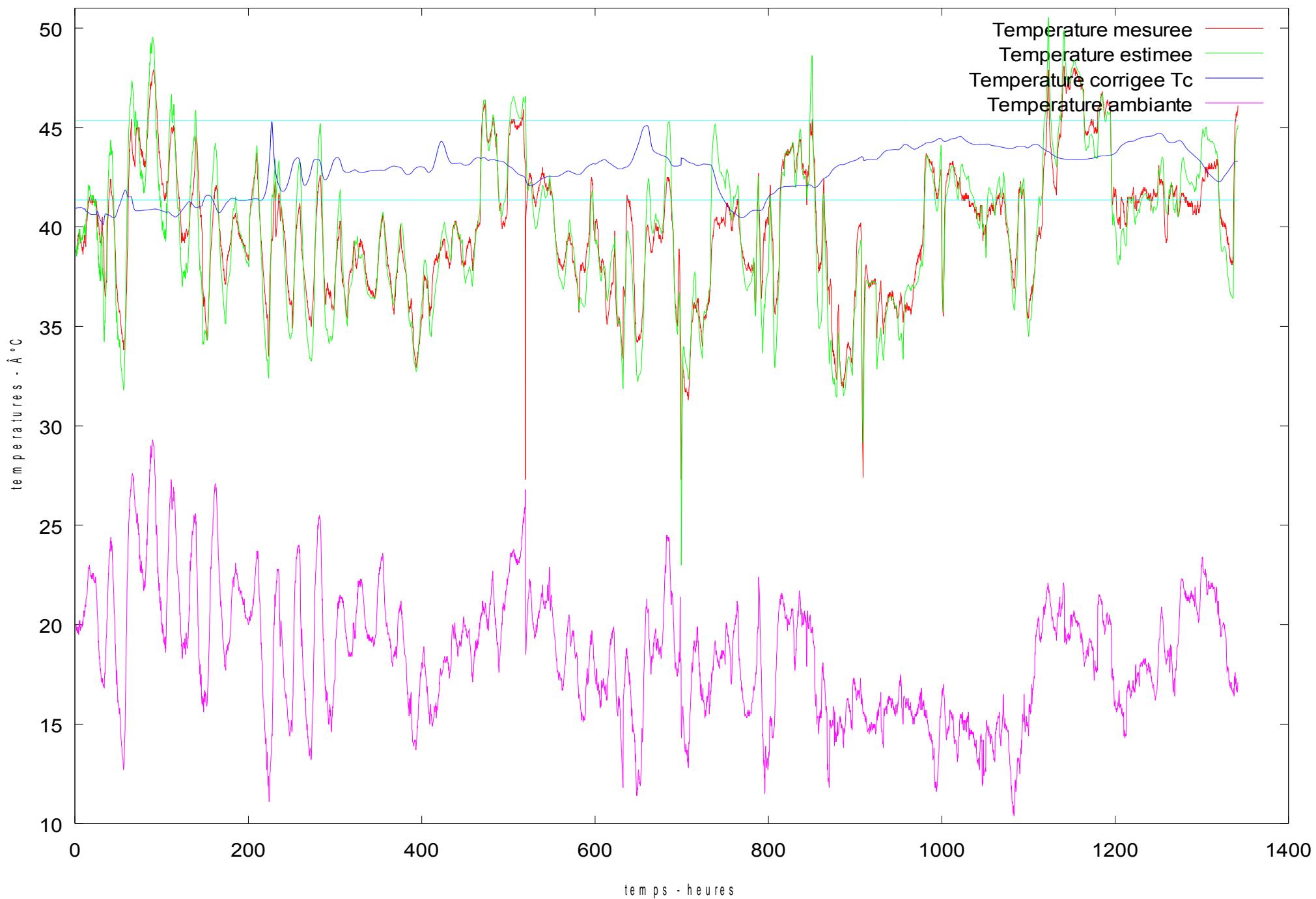
Organe	Températures mesurées				Température corrigée		
	Moy.	Écart- type	Min.	Max.	É.-t. $k < 800$	E.-t. $k > 800$	Max.
Température ambiante	18,5	3,2	10,4	29,2	0,75	3,7	65,4
Moteur	49,6	4,7	39,8	64,5	0,83	2,5	56,4
Roulement moteur	45,1	3,9	36,5	55,7	0,94	1,0	47,6
Palier accouplém.	41,4	3,4	34,7	50,6	1,14	1,15	45,3
Palier ventilateur	39,9	3,2	31,1	48,2			

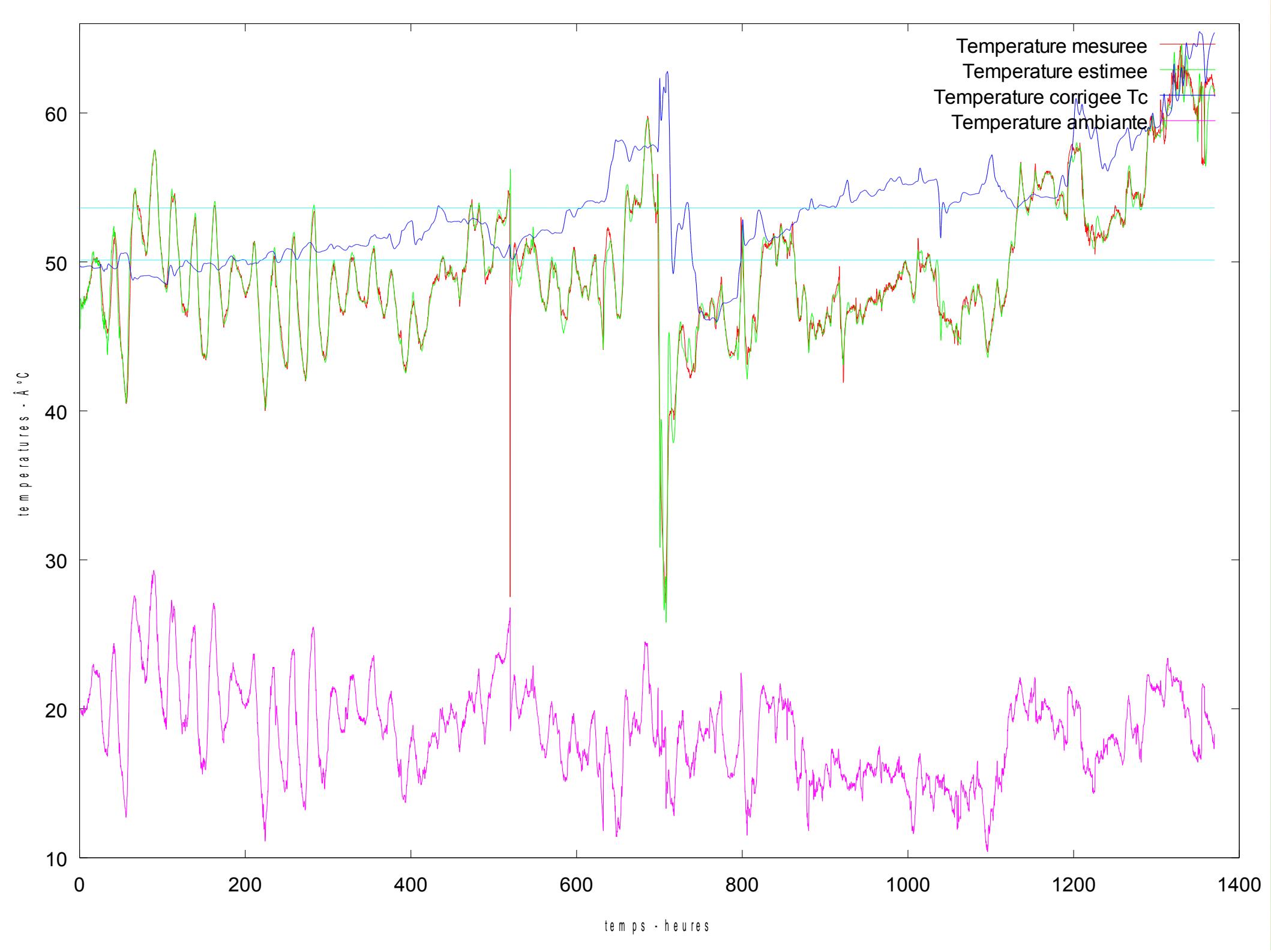












# Conclusions

- Le suivi des température des organes « en continu » permet d'établir un modèle de cette température en fonction de la température ambiante et de la puissance délivrée ou transmise par l'organe

# Conclusions

- Sans compensation de la T ambiante
  - $\sigma \approx 3,8 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;  $T-T_{\text{moy}} < 8,9 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Modèles à entraînement déterminé
  - mesure de l'écart-type résiduel :  $\sigma \approx 1,6 \text{ } ^\circ\text{C}$
  - $\varepsilon < 3,8 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Modèle à entraînement continu
  - estimation de la température corrigée :  $\sigma \approx 0,9 \text{ } ^\circ\text{C}$
  - $T_{\text{c}}-T_{\text{moy}} < 2,1 \text{ } ^\circ\text{C}$

# Conclusions

- Le modèle à entraînement continu donne un résultat plus filtré, mais n'est globalement pas plus sensible
- A étudier : est-il possible d'interpréter les variations de  $t^\circ$  en fonction de leur origine?



Merci pour votre attention

PENTOM '09