

Synthèse

Cette note présente une nouvelle fonctionnalité pour les calculs avec transport d'énergie en nappe souterraine. La température du puits de réinjection peut être asservie à la température d'un puits de production. En effet dans le cas d'une pompe à chaleur par exemple, la température de l'eau réinjectée est égale à la température de l'eau pompée diminuée d'une constante. La température des puits de production peut évoluer au cours du calcul, elle n'est donc pas connue a priori. Cette nouvelle fonctionnalité, introduite dans Marthe v7.4, permet donc de prendre en compte correctement la température de réinjection. La fonctionnalité est opérationnelle uniquement en régime transitoire de transferts d'énergie. Un exemple d'application est présenté.

1. Principe du calcul

Cette fonctionnalité est opérationnelle uniquement en régime transitoire de transferts d'énergie. On définit un certain nombre d'asservissements. Un « asservissement » est défini par :

- Un « point cible » correspondant à un puits de réinjection, qui devrait a priori avoir un débit d'injection (donc positif) au moins à certains pas de temps.
- Un « point source » correspondant généralement à un puits de production (mais pour la modélisation ce n'est pas obligatoire)
- Une différence de température « Injection moins Production » c'est-à-dire « cible moins source » qui peut être > 0 si on rejette de l'eau à une température supérieure (climatisation) ou < 0 si on rejette de l'eau à une température inférieure (chauffage).

Les caractéristiques de cette fonctionnalité sont les suivantes :

- On peut définir un grand nombre (maximum de 500 dans la version v7.4) d'asservissements, c'est-à-dire de couples puits de production – puits d'injection.
- Il est possible d'avoir plusieurs puits d'injection asservis à un même puits de production.
- L'asservissement peut être modifié au cours du temps, c'est-à-dire qu'à partir d'une certaine date on peut modifier la différence de température. On peut également modifier le puits de production associé. On peut même supprimer l'asservissement, simplement en définissant des coordonnées hors modèle pour le puits de production (colonne n°0, ligne n°0 par exemple).

À chaque pas de temps la température de l'eau réinjectée « TEMPERAT_EXT » sera égale à la température « TEMPERAT » calculée à la fin du pas de temps précédent au puits de production (« source ») associé, augmenté de la « différence de température ». S'il y a un débit injecté au puits d'injection, l'eau sera injectée à cette température TEMPERAT_EXT.

$\text{TEMPERAT_EXT_réinjection} = \text{TEMPERAT_production_associée} + \text{Diff_Température}$
--

2. Mise en œuvre dans le logiciel MARTHE

2.1 Définition du fichier d'asservissement

Pour définir des asservissements, il suffit de créer, avec WinMarthe (voir annexe), un petit fichier d'extension [.t_reinj] définissant l'asservissement ou les asservissements.

Un fichier d'asservissement à la forme suivante :

```
Asservissement de Pompage Maille n°26 => maille Réinjection n°51
  26      1      1      0 = Production : Col, Lign, Couch, Gig
  51      1      1      0 = Injection  : Col, Lign, Couch, Gig
+5 = Diff Température Injection - Production
*** Fin du fichier Asservissement Températ. Injection ***
```

La première ligne du fichier est un libellé descriptif ignoré par MARTHE, puis chaque asservissement est défini par 3 lignes :

- Ligne n°1 : colonne, ligne, (couche), (gigogne) de la maille contenant le puits de production associé.
- Ligne n°2 : colonne, ligne, (couche), (gigogne) de la maille contenant le puits de réinjection asservi.
- Ligne n°3 : Différence de débit = Injection - Production

Il est tout à fait possible de créer rapidement un tel fichier avec un éditeur de texte.

Le nom de ce fichier d'asservissements apparaît dans le fichier projet de MARTHE [.rma]

Doublet_7.t_reinj = Asservissement Température Pompage => Injection

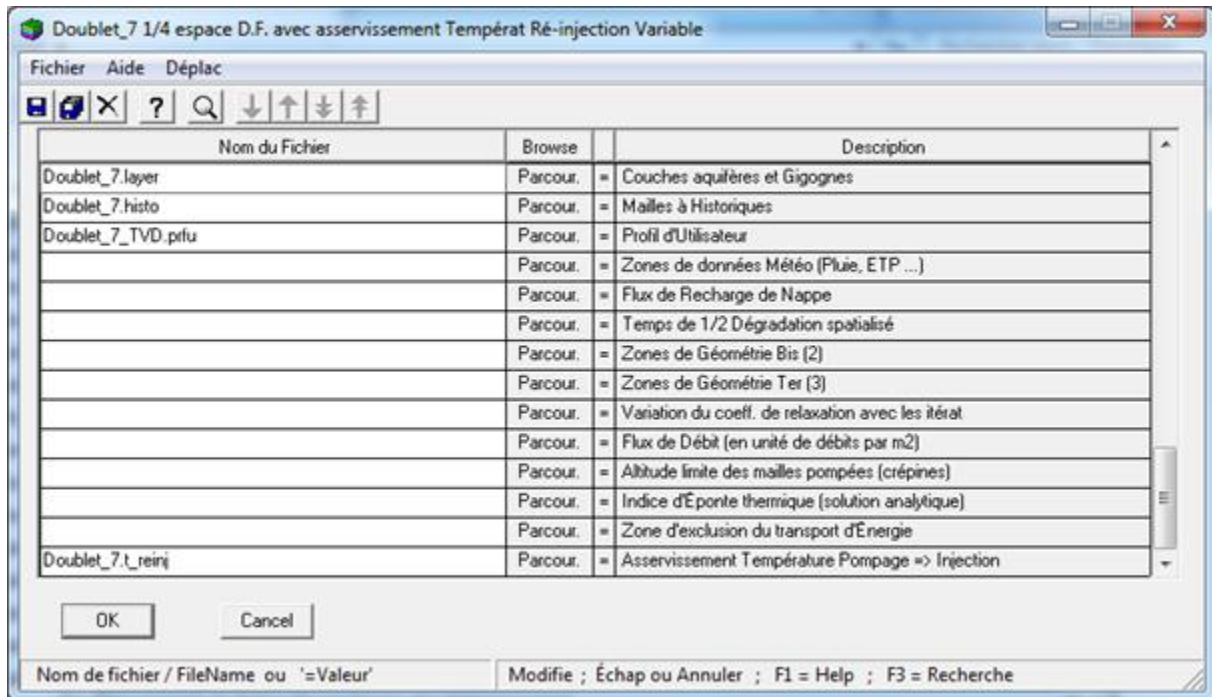


Fig. 1 - Définition du nom du fichier d'asservissement

N.B. Pour voir apparaître le nom du fichier d'asservissement il faut dans le « profil d'utilisateur » avoir choisi l'option « Utilisation un peu avancée », ou bien n'avoir pas défini de profil utilisateur.

2.2 Introduction d'un fichier d'asservissement à une date donnée

Si à un certain pas de temps on veut introduire de nouveaux asservissements, ou modifier des asservissements existants, il suffit de créer un fichier asservissement, par exemple de nom « Asserv_apres_60_mois.t_reinj ». On définit alors ce nom au pas de temps choisi (voir annexe).

3. Exemple d'application

On considère un doublet géothermique avec les caractéristiques suivantes :

- ω = Porosité = 0.15
- K = Perméabilité = $5 \cdot 10^{-6}$ m/s
- b = $\frac{1}{2}$ épaisseur de l'aquifère = 50 m
- Q = Débits de pompage et d'injection = -1 et +1 m³/h
- d = Distance entre les puits = 35 m
- T_A = Température initiale de l'aquifère = 12°C
- T_I = Température de l'eau injectée = T production +5°C
- C_w = Chaleur spécifique de l'eau = 4185 J/kg/K

- ρC_{ME} = Chaleur spécifique volumique du minéral de l'éponte = $2.1 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3/\text{K}$
- ρC_{MA} = Chaleur spécifique volumique du minéral de l'aquifère = $2.2 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3/\text{K}$
- λ_W = Conductivité thermique de l'eau = 0.6 W/m/K
- λ_M = Conductivité thermique du minéral de la matr. poreuse = 2.5 W/m/K
- α_L = Dispersivité thermique longitudinale = 3.5 m
- E = Épaisseurs des épontes : cumul des 5 couches = 200 m

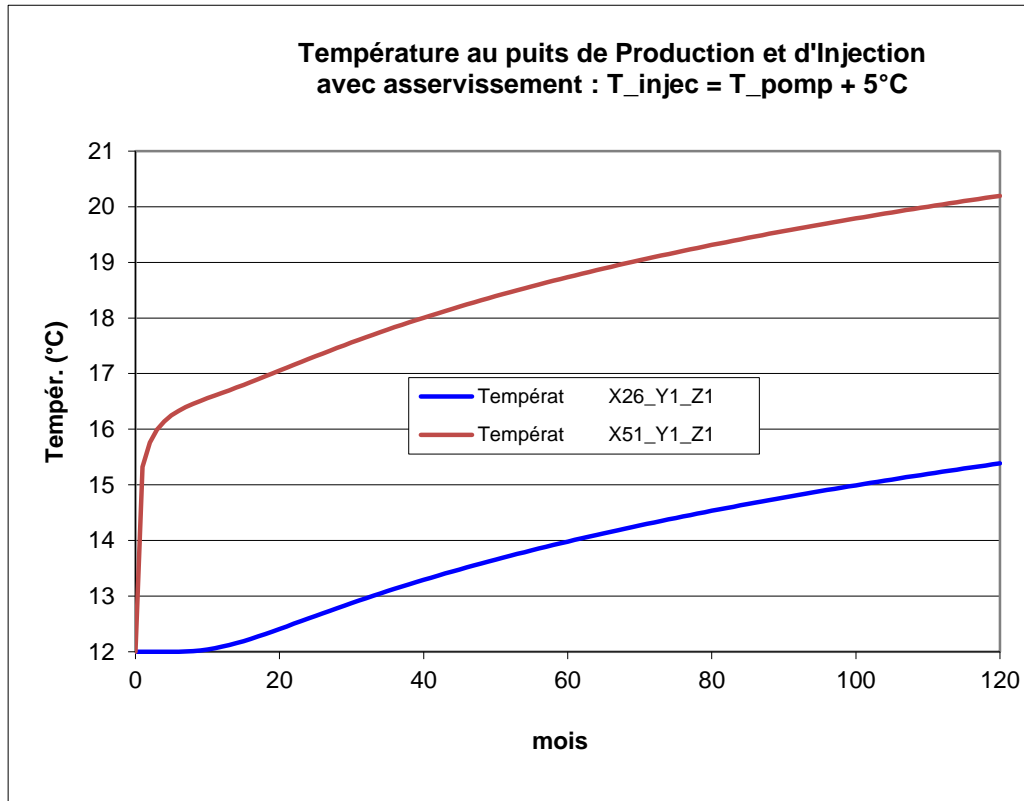


Fig. 2 - Températures simulées dans le puits de production (bleu) et dans le puits d'injection (rouge)

On voit qu'après environ 10 mois la température au puits de production (en bleu) commence à augmenter (passant de 12 à 15 °C). L'eau est donc réinjectée à une température qui augmente et passe de 17 °C au début à 20°C après 120 mois. Au début du calcul la température dans la maille d'injection (en rouge) est cependant inférieure à celle de l'eau injectée à cause de l'inertie due à l'épaisseur de l'aquifère et à la taille de la maille.

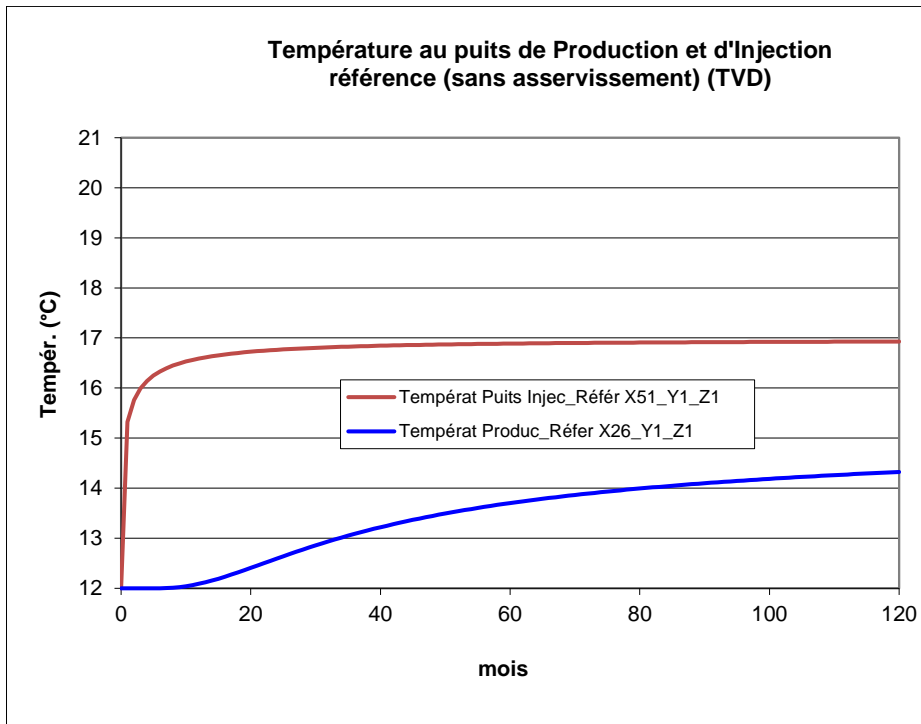


Fig. 3 - Températures simulées dans le puits de production (bleu) et dans le puits d'injection (rouge) sans asservissement.

Les températures simulées sont nettement différentes.

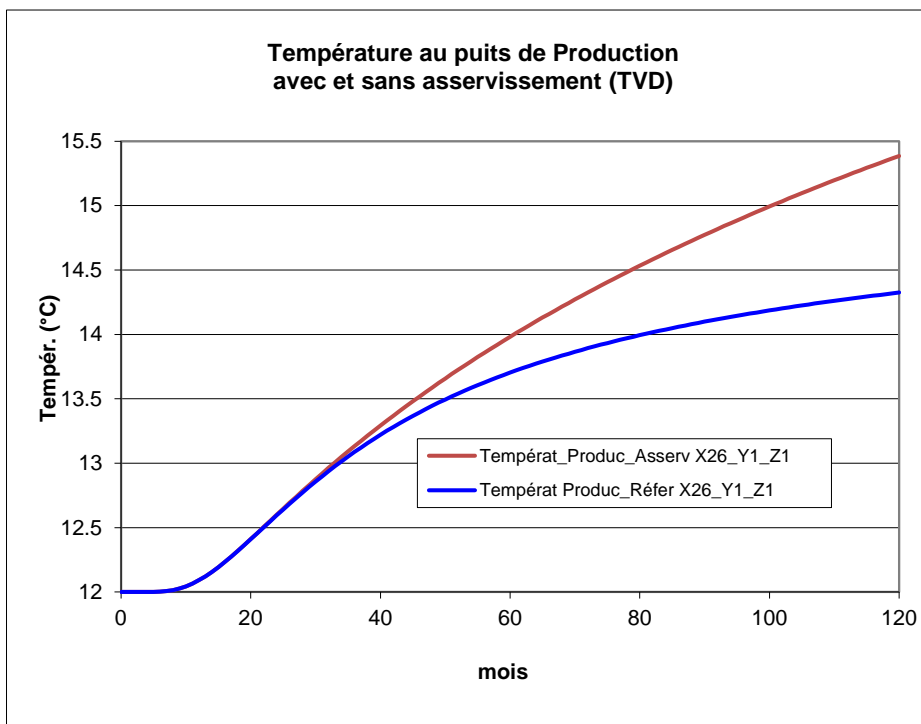


Fig. 4 - Températures simulées dans le puits de production avec asservissement (rouge) et sans asservissement (bleu).

Exemple avec un asservissement variable

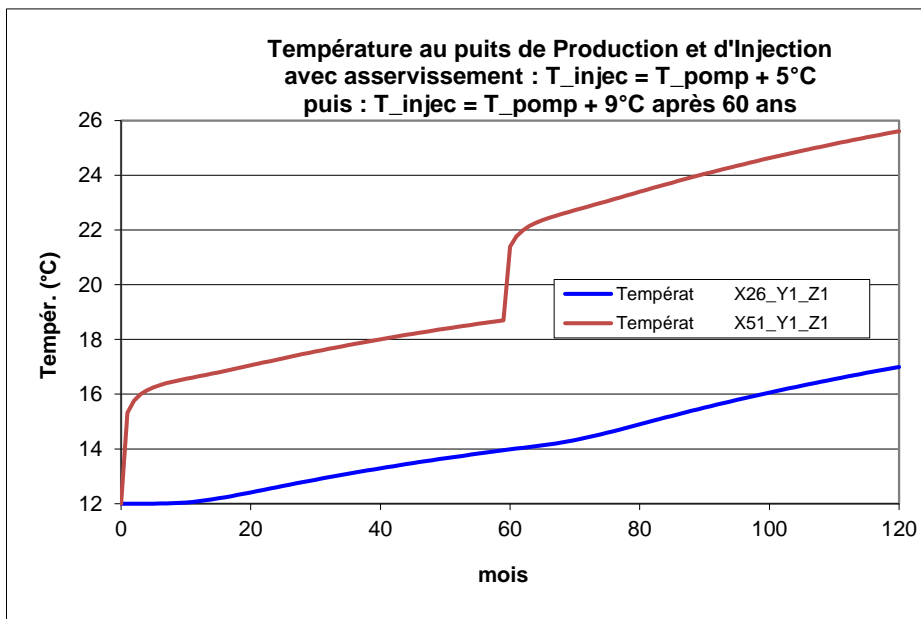


Fig. 5 – Asservissement variable : +5 °C pendant les 60 premiers mois, et ensuite +9°C
Températures simulées dans le puits de production (bleu) et le puits d'injection (rouge).

Annexe

1. Création d'un fichier d'asservissement avec WinMarthe

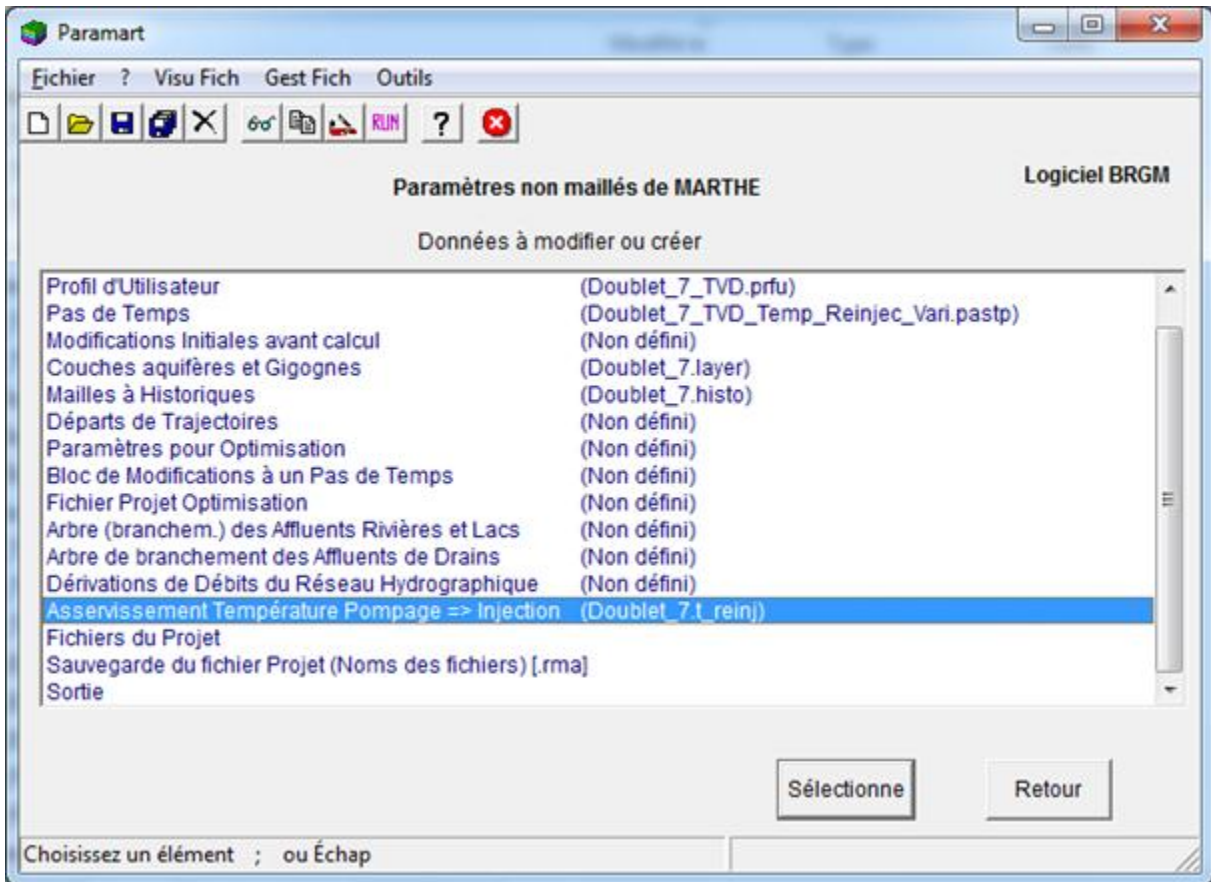


Fig. A1 – Sélection du fichier d'asservissement à modifier ou créer

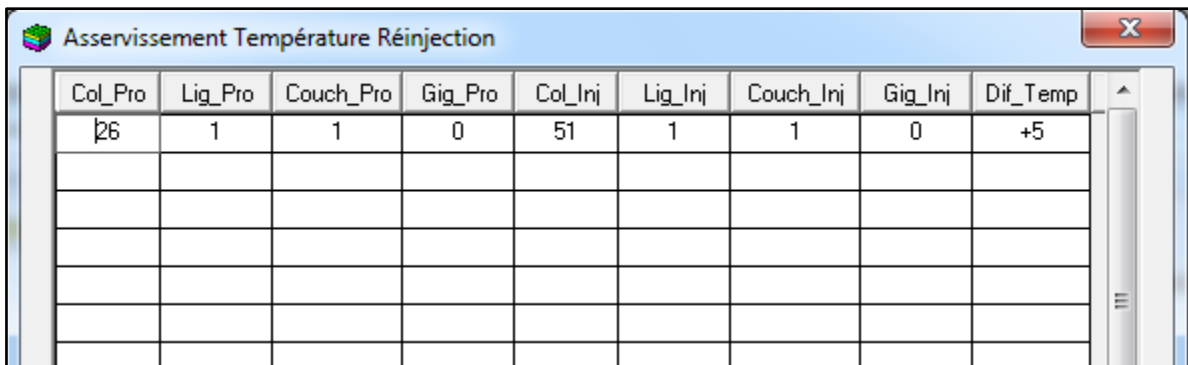


Fig. A2 – Création / Modification d'un fichier d'asservissement

2. Introduction d'un fichier d'asservissement à un pas de temps donné

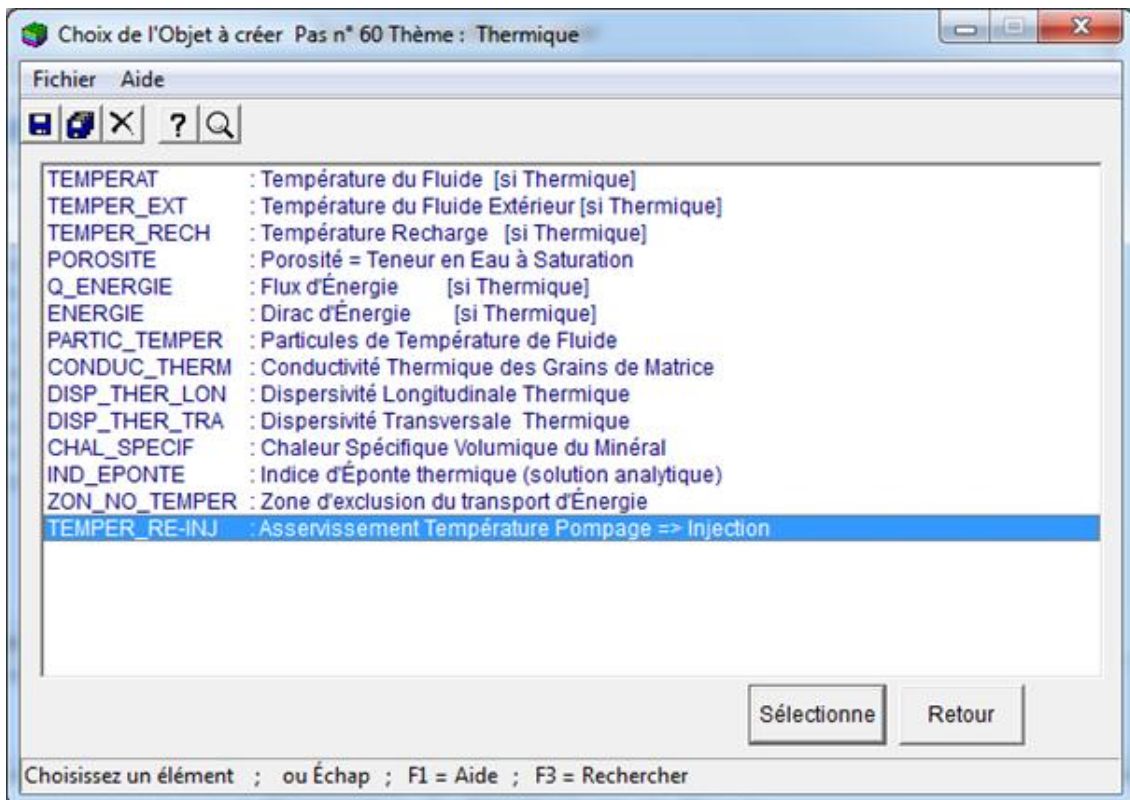


Fig. A3 – Au pas de temps n°60 : Choix de l'objet « TEMPER_RE-INJ » = « Asservissement Température ... »

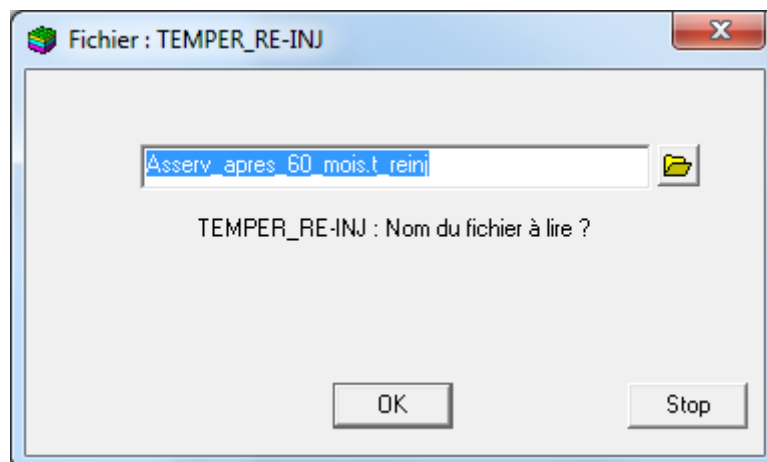


Fig. A4 – Définition du nom du nouveau fichier d'asservissement.