

MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE ET DE LA RECHERCHE

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL

B.P. 6009 – 45018 Orléans Cédex – Tél.: (38) 63.00.12

SIMULATION PAR DIFFÉRENCES FINIES DES ÉCHANGES THERMIQUES DANS LES MILIEUX SATURÉS

DESCRIPTION ET MODE D'EMPLOI DU PROGRAMME EDITH

par

A.-C. GRINGARTEN, P.-A. LANDEL et J.-P. SAUTY



Département géothermie
B.P. 6009 – 45018 Orléans Cédex
Tél.: (38) 63.00.12

Département géologie de l'aménagement
B.P. 6009 – 45018 Orléans Cédex
Tél.: (38) 63.00.12

76 SGN 579 GTH

Décembre 1976

R E S U M E

On trouvera, dans le présent rapport, la description et le mode d'emploi du programme EDITH qui permet de simuler par différences finies les transferts de chaleur dans un aquifère et ses épontes.

EDITH prend en compte les échanges thermiques par convection dans l'aquifère, et par conduction dans l'aquifère et ses épontes. Il permet d'étudier des systèmes réels hétérogènes, et de géométrie quelconque, à épontes multicouches (trois dimensions), suivant une représentation bidimensionnelle dans un plan horizontal, en coupe verticale, ou suivant un plan de symétrie cylindrique.

Le programme EDITH peut être utilisé pour la prévision du comportement d'un gisement d'eau chaude exploité à l'aide de puits de production et de puits de réinjection, pour l'étude du stockage de calories dans le sous-sol, ou encore pour l'évaluation de risques de pollution thermique des nappes.

S O M M A I R E

	<u>Page</u>
RESUME	
INTRODUCTION	1
<u>1 - CHAMP D'APPLICATION DU PROGRAMME</u>	4
1.1. Possibilités du programme	4
1.2. Données et résultats	5
<u>2 - EQUATIONS</u>	5
2.1. Equations générales	5
2.2. Equations simplifiées	6
<u>3 - DISCRETISATION</u>	8
3.1. Calcul hydraulique	8
3.2. Calcul thermique	9
3.2.1. Echanges verticaux	9
3.2.1.1. Calories entrant par le haut	9
3.2.1.1.1. <i>Cas d'une maille dans la couche supérieure (couche n° 1)</i>	9
3.2.1.1.2. <i>Cas d'une maille dans une couche différente de la couche supérieure</i>	10
3.2.1.2. Calories entrant par le bas	11

3.2.2. Echanges horizontaux	11
3.2.2.1. Echanges avec l'Ouest	11
3.2.2.1.1. <i>Echanges par conduction (horizontale)</i>	11
3.2.2.1.2. <i>Echanges par convection</i>	12
3.2.2.2. Echanges avec l'Est	12
3.2.2.2.1. <i>Conduction</i>	12
3.2.2.2.2. <i>Convection</i>	12
3.2.2.3. Echanges avec le Sud	13
3.2.2.3.1. <i>Conduction</i>	13
3.2.2.3.2. <i>Convection</i>	13
3.2.2.4. Echanges avec le Nord	13
3.2.2.4.1. <i>Conduction</i>	13
3.2.2.4.2. <i>Convection</i>	13
3.2.3. Bilan thermique d'une maille dans l'aquifère	13
4 - <u>DESCRIPTION DES DONNEES ET DES RESULTATS</u>	16
4.1. Données nécessaires pour une exécution du programme EDITH	16
4.1.1. Généralités	16
4.1.1.1. Données nécessaires pour les simulations hydrauliques et thermiques	16
4.1.1.2. Données nécessaires pour les simulations hydrauliques	16
4.1.1.3. Données nécessaires pour les simulations thermiques	16
4.1.2. Données particulières à une simulation	17
4.1.2.1. Données particulières nécessaires pour un calcul hydraulique	17
4.1.2.2. Données particulières nécessaires pour un calcul thermique	18
4.2. Calculs et résultats fournis par le programme	18

5 - <u>PREPARATION DES DONNEES</u>	21
5.1. Cartes perforées à l'aide du bordereau 1	21
5.2. Cartes perforées à l'aide du bordereau 2	31
5.3. Cartes perforées à l'aide du bordereau 3	44
5.4. Cartes perforées à l'aide du bordereau 4	46
6 - <u>REMARQUES COMPLEMENTAIRES</u>	51

REPertoire DES FIGURES

Figure 4.1. : Enchainement des calculs et lectures de données

Figure 5.1. : Organisation des données

Figure 5.2. : Bordereau 1

Figure 5.3. : Bordereau 2

Figure 5.4. : Bordereau 3

Figure 5.5. : Bordereau 4

INTRODUCTION

L'épuisement des ressources en combustibles fossiles et l'accroissement rapide de leur coût ont conduit au développement de nouvelles formes d'énergie, et à la mise au point de techniques de conservation, utilisant les propriétés thermiques du sous-sol.

Ainsi, un certain nombre d'installations de chauffage utilisant les calories contenues dans les eaux des aquifères, soit directement, soit par l'intermédiaire de pompes à chaleur, ont été réalisées sur le territoire français. La plupart fonctionnent suivant le principe du doublet, selon lequel l'eau prélevée dans la nappe est réinjectée dans le même aquifère après utilisation de son potentiel énergétique.

Inversement, il est envisagé d'utiliser le sous-sol pour y stocker des excédents de chaleur en provenance d'installations industrielles ou de centrales thermiques, afin de permettre leur utilisation de façon différée.

L'importance des problèmes soulevés par ces différentes techniques et la nécessité de prévoir leurs conséquences sur le milieu naturel ont conduit le B.R.G.M. à entreprendre la mise au point d'outils de simulation fiables et d'emploi aisé, destinés à être appliqués de façon standardisée dans les études courantes.

Pour atteindre cet objectif, il a paru souhaitable de procéder par étapes successives, en allant du plus simple au plus compliqué.

Dans une première phase, une solution analytique approchée des phénomènes thermiques a pu être obtenue grâce aux hypothèses simplificatrices suivantes :

- répartition initiale uniforme des températures
- absence d'échanges thermiques par conduction horizontale (les seuls transferts se font par convection horizontale dans l'aquifère, et par conduction verticale dans les épontes supposées d'extension verticale infinie)
- température uniforme sur toute verticale dans l'aquifère (conductivité thermique verticale infinie dans l'aquifère, ou épaisseur d'aquifère faible)
- régime hydraulique permanent.

Cette solution approchée a permis la mise au point de trois programmes de calcul :

- 1) **CADOUDAL** : limité au calcul du fonctionnement d'un doublet hydrothermique isolé, dans un aquifère d'épaisseur constante homogène isotrope, d'extension infinie, en écoulement naturel (rapport BRGM 74 SGN 336 GTH)
- 2) **METERNIQ** : extension de CADOUDAL à un nombre quelconque de puits de production et de réinjection (rapport BRGM 76 SGN 577 GTH)
- 3) **STENDHAL** : extension de METERNIQ au cas d'aquifères hétérogènes à géométrie et aux conditions aux limites variables. Dans ce programme, le champ des vitesses est déterminé à partir des potentiels calculés à l'aide du module du programme à mailles variables VPD1 (rapport BRGM 74 SGN 280 AME).

Dans une seconde phase, sont mis au point des programmes de simulation par différences finies qui permettent une meilleure modélisation des phénomènes réels. Ces simulateurs tiennent compte en particulier de l'influence de la conduction thermique, de la géométrie réelle des épontes, de l'influence de la température sur les différents paramètres physiques, et permettent de simuler le comportement d'un système en régime d'écoulement non permanent.

Le programme EDITH (Entière Discretisation des Influences Thermiques) est le premier de cette seconde phase, et ne possède qu'une partie des capacités qui viennent d'être énumérées.

Comme les programmes de la première phase, la température de l'aquifère est supposée uniforme sur chaque verticale ; les paramètres physiques sont indépendants de la température, et le régime hydraulique doit être stationnaire pour chaque simulation. Par contre, la conduction thermique est prise en compte à la fois dans l'aquifère (monocouche) et dans les épontes (multicouches). De plus, la distribution initiale des températures peut ne pas être uniforme, ce qui permet de simuler un régime hydraulique transitoire à l'aide d'une succession d'états permanents.

Ce programme est particulièrement adapté à l'étude du stockage souterrain de calories.

Le présent rapport expose les possibilités du programme EDITH et en fournit un mode d'emploi.

1 - CHAMP D'APPLICATION DU PROGRAMME EDITH

1.1. Possibilités du programme

Le programme EDITH (Entière Discretisation des Influences Thermiques) simule les transferts de chaleur dans un système géologique multicouche dont une des couches est aquifère. Les écoulements y sont obligatoirement de type captif (transmissivité indépendante des charges).

Dans l'aquifère, les échanges se font par conduction (échange d'énergie par vibration des molécules horizontale et par convection (transfert de la chaleur entraînée par l'eau en mouvement). Dans les épontes multicouches, les échanges thermiques sont uniquement dûs à la conduction verticale.

Les limites horizontales de l'aquifère peuvent être isothermes ou adiabatiques ; les limites horizontales des épontes sont obligatoirement adiabatiques puisque la conduction horizontale n'y est pas prise en compte.

Les limites supérieures et inférieures sont (indépendamment) à flux ou à température constants.

Dans la couche aquifère, la zone soumise à écoulement peut ne constituer qu'une partie de la zone soumise aux échanges thermiques (les limites hydrauliques de cette couche peuvent être incluses dans les limites thermiques). Mis à part un coefficient d'anisotropie, toutes les données hydrauliques et thermiques peuvent être chargées à tout moment en cours de simulation.

On peut également utiliser ce programme pour étudier les transferts de chaleur dans une coupe verticale, ou dans un système axisymétrique (étude d'un réservoir cylindrique, par exemple). Dans le cas d'une utilisation en coupe verticale, on a introduit la possibilité de prise en compte d'un éventuel coefficient d'anisotropie.

1.2. Données et résultats

L'utilisateur doit fournir au programme toutes les données définissant la géométrie du système, ses paramètres hydrauliques et thermiques, et les conditions aux limites ainsi que certains paramètres concernant la méthode de résolution.

Les principales données sont : les perméabilités, les cotes du substratum et du toit, les débits (y compris le code 9999 sur les limites hydrauliques), les charges initiales, les conductivités thermiques, les capacités calorifiques (y compris le code 9999 sur les limites thermiques, les températures initiales, les températures d'injection.

En retour, le programme imprime ou trace :

- la carte piézométrique et les débits correspondant à chaque simulation hydraulique,
- les cartes de température aux dates indiquées,
- les historiques de température pour certaines mailles,
- ainsi, bien entendu, que toutes les données qui lui ont été fournies si l'utilisateur le désire.

2 - EQUATIONS

2.1. Equations générales

La dynamique du système est régie par les deux équations couplées :

$$(1) \quad \text{div } \overline{\overline{K}} \cdot \overrightarrow{\text{grad}} H + q = S \frac{\delta H}{\delta t}$$

$$(2) \quad \text{div } (\overline{\overline{\lambda}} \overrightarrow{\text{grad}} \theta) - \phi \rho_L C_L \overrightarrow{v}_{\text{eau}} \cdot \overrightarrow{\text{grad}} \theta = \rho_a C_a \frac{\delta \theta}{\delta t}$$

avec les notations suivantes :

$K(x,y,z,\theta)$: tenseur de perméabilité en m/s
 $H(x,y,z,t)$: potentiel hydraulique en mètres d'eau
 $q(x,y,z,t)$: débit (en $m^3/s/m^3$) par élément de volume
 $S(x,y,z)$: coefficient d'emmagasinement

et les variables indépendantes :

x,y,z : coordonnées spatiales (en m)
 t : temps (en secondes)
 $\bar{\lambda}(x,y,z)$: tenseur de conductivité thermique (en $cal/m/d^\circ/s$)
 $\theta(x,y,z,N)$: température (en $^\circ C$)
 $\phi(x,y,z)$: porosité (porosités totale et efficace sont assimilées à cette valeur ϕ)
 $\rho_L C_L$: capacité calorifique du liquide (eau) (en $cal/m^3/d^\circ$)
 $\rho_a C_a$: capacité calorifique de l'aquifère (en $cal/m^3/d^\circ$)
 $\rho_a C_a = \phi \rho_L C_L + (1 - \phi) \rho_R C_R$
 \vec{v}_{eau} : vitesse de l'eau : $\vec{v}_{eau} = \frac{1}{\phi} \bar{K} \vec{\text{grad}} H.$

La première équation régit les mouvements de l'eau, la seconde les transferts thermiques. Ces deux équations sont fortement couplées et doivent, dans le cas général, être résolues simultanément. En effet :

- le paramètre \bar{K} de (1) dépend de θ résultant de (2)
- le paramètre \vec{v}_{eau} de (2) dépend de H résultant de (1).

2.2. Equations simplifiées

On adopte les hypothèses simplificatrices suivantes :

- la perméabilité varie peu avec la température,
- le régime hydraulique est rapidement stabilisé ; on peut l'assimiler à un régime permanent,
- on ne considère que les composantes horizontales des vitesses (hypothèse de DUPUIT) ; on peut donc utiliser les transmissivités et les débits $Q(x,y)$ globaux sur une verticale,
- on ne tient pas compte, dans les épontes, de la conductivité horizontale.

L'équation (1) devient alors :

$$(3) \quad Q(x,y) = \frac{\delta}{\delta x} T(x,y) \frac{\delta H(x,y)}{\delta x} + \frac{\delta}{\delta y} T(x,y) \frac{\delta H(x,y)}{\delta y}$$

avec : $T(x,y)$: transmissivité $\Delta z \cdot K(x,y)$ (en m^2/s).

$Q(x,y)$: débit par élément de surface dans le plan horizontal
($m^3/s/m^2$)

$$Q(x,y) = \Delta z \cdot \bar{Q}_z(x,y,z)$$

En ce qui concerne les transferts thermiques :

- la conductivité théorique du milieu est supposée isotrope ; la conductivité est alors un scalaire : $\bar{\lambda}(x,y,z) = \lambda(x,y,z)$

- on pose les changements de variables suivants :

$$D(x,y,z) = \frac{\lambda(x,y,z)}{\rho_a C_a} \text{ diffusivité thermique (en } m^2/s)$$

$$\vec{v}_{th}(x,y,z) = \phi \frac{\rho_L C_L}{\rho_a C_a} \frac{\vec{v}_{eau}(x,y,z)}{\rho_a C_a} = \frac{\rho_L C_L}{\rho_a C_a} K \vec{\text{grad}} H$$

\vec{v}_{th} est la vitesse de propagation du front thermique (en m/s), et
 \vec{v}_{eau} la vitesse moyenne de pore = $\frac{\text{vitesse de DARCY}}{\phi}$

L'équation (2) devient alors :

$$(4) \quad \frac{\delta \theta}{\delta t} = \text{div} (D \vec{\text{grad}} \theta) - \vec{v}_{th} \vec{\text{grad}} \theta$$

Dans l'aquifère, (4) devient :

$$(4') \quad \frac{\delta \theta}{\delta t} = D \Delta \theta - v_x \frac{\delta \theta}{\delta x} - v_y \frac{\delta \theta}{\delta y}$$

avec $\Delta = \text{div} \vec{\text{grad}}$ (opérateur laplacien)

Dans les épontes, (4) devient :

$$(4'') \quad \frac{\delta \theta}{\delta t} = D(x,y,z) \frac{\delta^2 \theta}{\delta z^2}$$

Les équations (3), (4') et (4'') sont les équations résolues par le programme EDITH.

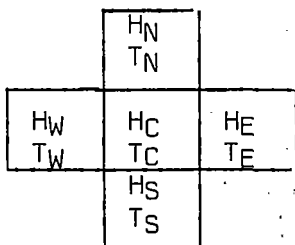
(3) sert à calculer $H(x,y)$ et, partant, la vitesse (v_x, v_y) qui intervient dans (4') pour calculer $\theta(x,y,z)$.

3 - DISCRETISATION

Les équations (3), (4') et (4'') sont résolues par une méthode aux différences finies.

3.1. Calcul hydraulique

La couche aquifère est découpée en n mailles carrées. Les mailles "pourtour" du domaine sont placées au mieux pour suivre la géométrie des limites. Pour chacune des mailles inférieures, on discrétise l'équation (3), ce qui revient à faire le bilan hydraulique de chaque maille.



$$Q_C = \tau_W(H_W - H_C) + \tau_E(H_E - H_C) + \tau_N(H_N - H_C) + \tau_S(H_S - H_C)$$

$$\text{avec : } \tau_i = \frac{2 T_i T_C}{T_i + T_C}$$

Cette discrétisation, complétée par l'introduction des conditions aux limites, conduit à un système linéaire de n équations à n inconnues que l'on résout par une méthode itérative.

$$H_C = \frac{\tau_W H_W + \tau_E H_E + \tau_N H_N + \tau_S H_S - Q_C}{\tau_W + \tau_E + \tau_N + \tau_S} \quad (5)$$

Remarque : les limites hydrauliques sont indépendantes des limites thermiques.

3.2. Calcul thermique

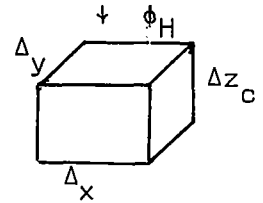
3.2.1. Echanges verticaux

3.2.1.1. Calories entrant par le haut

3.2.1.1.1. Cas d'une maille dans la couche supérieure (couche n° 1)

Si l'on impose un flux ϕ_H en surface, la quantité de calories entrant par le haut est :

$$\phi_H \Delta_x \Delta_y \Delta_t$$

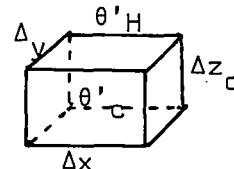


Si l'on impose une température θ'_H en surface, on distingue deux cas :

- Si la couche supérieure est aquifère, le programme considère que l'on a un flux nul en surface, car on a supposé une conductivité verticale infinie dans l'aquifère, ce qui est incompatible avec une température imposée en surface. La quantité de calories entrant est alors nulle. Si l'on désire faire intervenir des fuites thermiques vers le sol, à partir d'une nappe superficielle, on introduira entre le sol et la couche aquifère une couche intermédiaire qui aura les caractéristiques thermiques de la zone non saturée.
- Si la couche supérieure n'est pas aquifère, la quantité de calories entrant par le haut est :

$$\Lambda_H (\theta'_H - \theta'_c) \Delta_x \Delta_y \Delta_t$$

avec $\Lambda_H = \frac{2\lambda_c}{\Delta z_c}$



En effet, la température θ'_H du sol est imposée sur la paroi supérieure de la maille c, donc à la distance $\frac{\Delta z_c}{2}$ du centre de la maille.

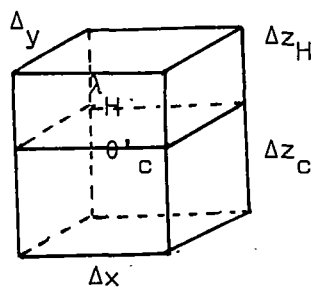
3.2.1.1.2. Cas d'une maille dans une couche différente de la couche supérieure

La quantité de calories entrant est alors :

$$\Lambda_H (\theta'_H - \theta'_C) \Delta x \Delta y \Delta t$$

Si la couche n'est pas aquifère, $\Lambda_H = \frac{2 \lambda_c \lambda_H}{\lambda_c \Delta z + \lambda_H \Delta z_c}$

et si la couche est aquifère, $\lambda_c \approx \infty$
donc $\Lambda_H = \frac{2\lambda_H}{\Delta z_H}$



On peut résumer les échanges thermiques par le haut par la formule :

$$\Lambda_H (\theta'_H - \theta'_C) \Delta x \Delta y \Delta t + \phi_H \Delta x \Delta y \Delta t$$

Λ_H et ϕ_H prenant des valeurs nulles suivant les cas afin que la formule ci-dessus coïncide avec celle énoncée plus haut.

3.2.1.2. Calories entrant par le bas

Par analogie avec les échanges par le haut, on obtient la formule :

$$\Lambda_B (\theta'_B - \theta'_C) \Delta x \Delta y \Delta t + \phi_B \Delta x \Delta y \Delta t$$

Il suffit, dans le paragraphe 3.2.1.1., de remplacer l'indice H par l'indice B et le mot supérieur par le mot inférieur.

Les échanges verticaux sont donc :

$$\Lambda_H (\theta'_H - \theta'_C) \Delta x \Delta y \Delta t + \phi_H \Delta x \Delta y \Delta t + \Lambda_B (\theta'_B - \theta'_C) \Delta x \Delta y \Delta t + \phi_B \Delta x \Delta y \Delta t$$

3.2.2. Echanges horizontaux

Ces échanges sont considérés uniquement dans la couche aquifère.

3.2.2.1. Echanges avec l'Ouest

3.2.2.1.1. Echange par conduction (horizontale)

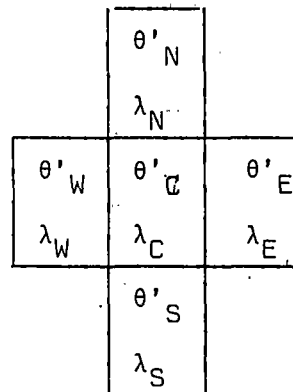
La quantité de calories entrant par le côté ouest est :

$$A_W \frac{\theta'_W - \theta'_C}{\Delta x} \Delta y \Delta t$$

avec :

$$\text{si } \lambda_W \neq 0 \text{ et } \lambda_C \neq 0 : A_W = \frac{2\lambda_W \Delta z_W \lambda_C \Delta z_C}{\lambda_W \Delta z_W + \lambda_C \Delta z_C} \quad (*)$$

$$\text{si } \lambda_W = 0 \text{ ou } \lambda_C = 0 : A_W = 0$$



(*) on remarque que A_W est analogue à une transmissivité équivalente : moyenne harmonique de $\lambda_W \Delta z_W$ et de $\lambda_C \Delta z_C$, produits de conductivités par des épaisseurs.

3.2.2.1.2. Echange par convection

$$\rho_L C_L [\beta_W \theta_W + (1 - \beta_W) \theta_C] (H_W - H_C) \tau_W \Delta t$$

avec : $\tau_W = \frac{2T_W T_C}{T_W + T_C}$

et : $\beta_W = \alpha$ si $H_W \geq H_C$

sinon : $\beta_W = (1 - \alpha)$, α étant un coefficient de centrage choisi par l'utilisateur.

- . $\alpha = 0$: schéma convectif aval ; la température de l'eau transitant entre deux mailles est celle de la maille aval
- . $\alpha = 1$: schéma convectif amont ; la température de l'eau transitant entre les deux mailles est celle de la maille amont
- . $\alpha = \frac{1}{2}$: schéma convectif centré ; la température de l'eau transitant entre les deux mailles est la moyenne arithmétique des températures dans les deux mailles voisines (amont et aval)

3.2.2.2. Echanges avec l'Est

3.2.2.2.1. Conduction

$$A_E \cdot \frac{\theta'_E - \theta'_C}{\Delta_x} \Delta y \Delta t$$

avec $A_E = \frac{2\lambda_E \Delta z_E \lambda_C \Delta z_C}{\lambda_E \Delta z_E + \lambda_C \Delta z_C}$

3.2.2.2.2. Convection

$$\rho_L C_L [\beta_E \theta_E + (1 - \beta_E) \theta_C] (H_E - H_C) \tau_E \Delta t$$

3.2.2.3. Echanges avec le Sud

3.2.2.3.1. Conduction

$$A_S \frac{\theta'_S - \theta'_c}{\Delta y} \Delta x \Delta t$$

3.2.2.3.2. Convection

$$\rho_L c_L \left[\beta_S \theta_S + (1 - \beta_S) \theta_c \right] (H_S - H_c) \tau_S \Delta t$$

3.2.2.4. Echanges avec le Nord

3.2.2.4.1. Conduction

$$A_N \frac{\theta'_N - \theta'_c}{\Delta y} \Delta x \Delta t$$

3.2.2.4.2. Convection

$$\rho_L c_L \left[\beta_N \theta_N + (1 - \beta_N) \theta_c \right] (H_N - H_c) \tau_N \Delta t$$

3.2.3. Bilan thermique d'une maille dans l'aquifère

La quantité de calories emmagasinée est :

$$\rho_a c_a (\theta'_c - \theta_c) \Delta x \Delta y \Delta z$$

$$\text{avec } \rho_a c_a = \phi \rho_L c_L + (1-\phi) \rho_R c_R$$

La quantité de calories prélevée par pompage est

$$\rho_L c_L \theta'_c Q_{\text{pomp}} \Delta t$$

La quantité de calories fournie par injection est

$$\rho_L c_L \theta_{\text{inj}} Q_{\text{inj}} \Delta t$$

L'équilibrage du bilan des calories emmagasinées par la maille c ou échangées avec les mailles voisines ou les limites est :

$$\begin{aligned}
 \rho_a c_a (\theta'_c - \theta_c) \Delta x \Delta y \Delta z &= \rho_L c_L \theta_{inj} Q_{inj} \Delta t - \rho_L c_L \theta'_c Q_{pomp} \Delta t \\
 + \Lambda_H (\theta'_H - \theta'_c) \Delta x \Delta y \Delta t + \phi_H \Delta x \Delta y \Delta t \\
 + \Lambda_B (\theta'_B - \theta'_c) \Delta x \Delta y \Delta t + \phi_B \Delta x \Delta y \Delta t \\
 + A_W (\theta'_W - \theta'_c) \Delta t + \rho_L c_L [\beta_W \theta_W + (1-\beta_W) \theta_c] (H_W - H_c) \tau_W \Delta t \\
 + A_E (\theta'_E - \theta'_c) \Delta t + \rho_L c_L [\beta_E \theta_E + (1-\beta_E) \theta_c] (H_E - H_c) \tau_E \Delta t \\
 + A_S (\theta'_S - \theta'_c) \Delta t + \rho_L c_L [\beta_S \theta_S + (1-\beta_S) \theta_c] (H_S - H_c) \tau_S \Delta t \\
 + A_N (\theta'_N - \theta'_c) \Delta t + \rho_L c_L [\beta_N \theta_N + (1-\beta_N) \theta_c] (H_N - H_c) \tau_N \Delta t
 \end{aligned}$$

d'où l'expression du calcul itératif sur θ'_c obtenu à partir de cette équation : (voir page suivante)

Calcul itératif de θ'_C

$$\begin{aligned}
 \theta'_C = & \frac{A_W \theta'_W + A_N \theta'_N + A_E \theta'_E + A_S \theta'_S + \Lambda_H \Delta x \Delta y \theta'_H + \Lambda_B \Delta x \Delta y \theta'_B + \phi_H \Delta x \Delta y \phi_B \Delta x \Delta y + \rho_L C_L \theta_{inj} Q_{inj} + \rho_a C_a \theta_c \frac{\Delta x \Delta y \Delta z}{\Delta t} \dots\dots\dots}{A_W + A_N + A_E + A_S + \Lambda_H \Delta x \Delta y + \Lambda_B \Delta x \Delta y + \rho_L C_L |Q_{pomp}| + \rho_a C_a \frac{\Delta x \Delta y \Delta z}{\Delta t} + \dots\dots\dots} \\
 & + \rho_L C_L \left[\beta_W \theta_W + (1-\beta_W) \theta_C \right] (H_W - H_C) Z_W + \rho_L C_L \left[\beta_N \theta_N + (1-\beta_N) \theta_C \right] (H_N - H_C) Z_N + \rho_L C_L \left[\beta_E \theta_E + (1-\beta_E) \theta_C \right] (H_E - H_C) Z_E \dots\dots\dots \\
 & \dots\dots\dots \\
 & + \rho_L C_L \left[\beta_S \theta_S + (1-\beta_S) \theta_C \right] (H_S - H_C) Z_S \\
 & \dots\dots\dots
 \end{aligned}$$

(6)

4 - DESCRIPTION DES DONNEES ET DES RESULTATS

1.1. Données nécessaires pour une exécution du programme EDITH

Le programme EDITH effectue en série une suite de simulations hydrauliques ou thermiques qui s'enchainent. On distingue les données générales et celles particulières à chaque simulation.

4.1.1. Généralités

4.1.1.1. Données nécessaires pour les simulations hydrauliques et thermiques

- nombre de lignes
- nombre de panneaux de 20 colonnes
- longueur en mètres d'un côté d'une maille
- symboles utilisés pour la sortie des courbes isovaleurs à l'imprimante.

4.1.1.2. Données nécessaires pour les simulations hydrauliques

- coefficient W de surrelaxation
- nombre d'itérations maximum pour une simulation hydraulique
- tolérance sur la variation globale des charges d'une itération à l'autre
- facteurs de conversion des unités M.S.K. pour les perméabilités, les débits et les charges hydrauliques
- facteur d'anisotropie pour les perméabilités
- valeurs minimum, maximum et intervalle pour les équipotentiels et autres courbes d'isovaleurs.

4.1.1.3. Données nécessaires pour les simulations thermiques

- nombre total de couches
- numéro de la couche aquifère
- nombre d'itérations maximum pour le calcul de θ'_c
- tolérance sur la variation maximum d'une itération à l'autre
- facteur géométrique de croissance du pas de temps pour le calcul thermique

- pas de temps minimum pour le calcul thermique
- pas de temps maximum pour le calcul thermique.
- facteurs de conversion des unités pour les conductivités thermiques, les produits ρc (capacités calorifiques volumiques), les flux thermiques
- coefficient de centrage du terme de convection dans le calcul de θ'_c (cf. §3.2.2.1.2.)
- facteur $\rho_L c_L$ pour l'eau
- valeurs de l'isotherme minimum et maximum et de l'intervalle entre couches isothermes
- nombre de mailles à historique - une maille à historique étant une maille pour laquelle on désire connaître l'évolution de la température en fonction du temps
- coordonnées et numéro de couche des mailles à historiques.

4.1.2. Données particulières à une simulation

4.1.2.1. Données particulières nécessaires pour un calcul hydraulique

- tableau des perméabilités
- tableau des cotes de substratum
- tableau des cotes de toit
- tableau des débits
- tableau des charges initiales
- les limites hydrauliques données à l'aide du tableau des débits (9999 dans les mailles du pourtour).

Toutes les données présentées dans ce paragraphe peuvent, si cela est nécessaire, être modifiées quand on aborde une nouvelle simulation hydraulique : par exemple, perméabilités, limites, cotes du toit, etc...

4.1.2.2. Données particulières nécessaires pour un calcul thermique

- tableaux des conductivités thermiques, des capacités calorifiques, des températures à l'instant précédent, des températures d'injection et des porosités. On fournira de plus les tableaux des débits, des charges hydrauliques et des perméabilités si l'on connaît a priori la carte piézométrique sans avoir besoin de la recalculer (en général, réutilisation d'un calcul antérieur)
- limites thermiques données à l'aide du tableau des capacités calorifiques (9999 dans les mailles du pourtour).

4.2. Calculs et résultats fournis par le programme

Les calculs effectués par le programme EDITH sont un enchaînement de simulations hydrauliques en régime permanent (calcul de H_c à l'aide de la formule (5)) et de simulations thermiques en transitoire (calcul de θ'_c à l'aide de la formule (6)).

Le programme EDITH fournit en cours de simulation, suivant ce que l'utilisateur demande dans les données particulières à chaque simulation, :

Pour la couche aquifère :

- . le tableau des perméabilités
- . le tableau des potentiels
- . les équipotentielles (à l'imprimante)
- . le tableau des débits d'exploitation
- . le tableau des débits calculés à partir des potentiels
- . le tableau des porosités

Pour toutes les couches :

- . le tableau des cotes de substratum
- . le tableau des cotes de toit
- . le tableau des conductivités thermiques
- . le tableau des produits $\rho \times c$
- . le tableau des températures
- . les isothermes (à l'imprimante)
- . le tableau des températures de l'eau injectée.

Pour les couches inférieure et supérieure :

- . la nature des conditions aux limites
- . les flux ou les températures imposées aux limites.

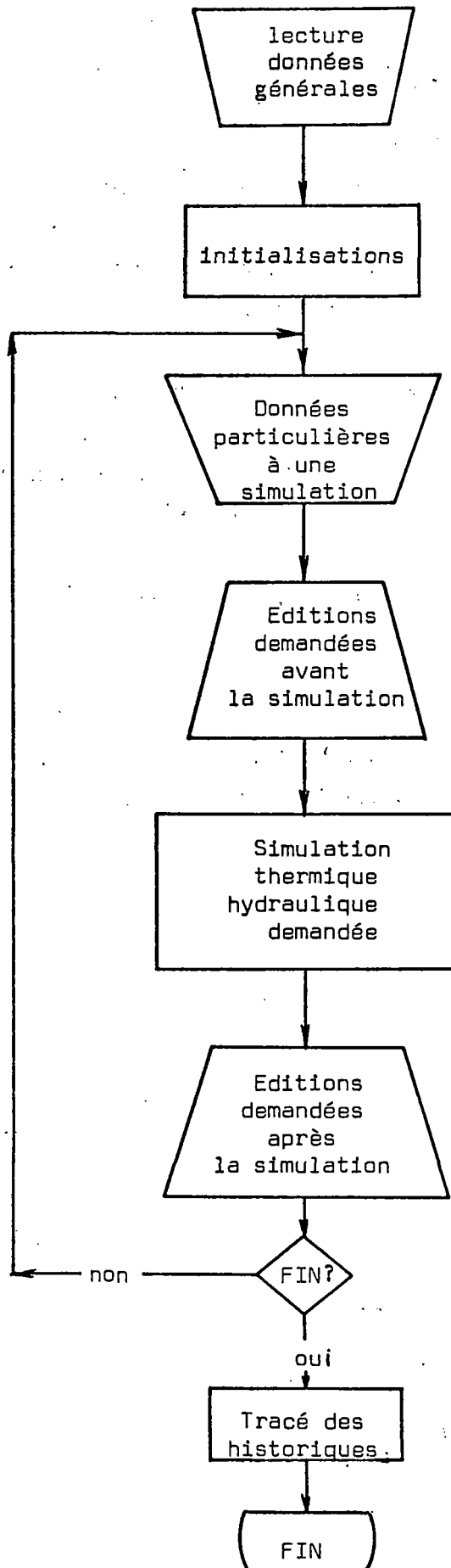
Toutes ces sorties se font dans les unités d'entrée, leur nombre n'est pas limité par le programme.

De plus, en fin de simulation, le programme imprime et dessine à l'aide du traceur de courbes l'évolution de la température en fonction du temps pour certaines mailles (celles pour lesquelles on demande un historique dans les généralités).

Le nombre d'historique n'est pas limité, mais, si le nombre de pas de temps dépasse 100, le programme en supprime certains dans les sorties.

La figure 4.1. résume l'enchaînement des calculs, de la lecture des données et de l'édition des résultats.

ENCHAINEMENT DES CALCULS ET LECTURES DE DONNEES



5. - PREPARATION DES DONNEES

La figure 5.1. résume l'organisation des données et indique les bordereaux correspondants.

Pour les valeurs rentrées par tableau, il n'y a pas de bordereau particulier ; on utilise un bordereau séparé de 4 cases en 4 cases. Ce bordereau comporte 20 mailles en largeurs et un nombre quelconque de mailles en longueur.

Les pages qui suivent décrivent les données carte par carte. On veillera à perforer sur les cartes les textes des bordereaux, et ne rien perforer dans les zones réservées.

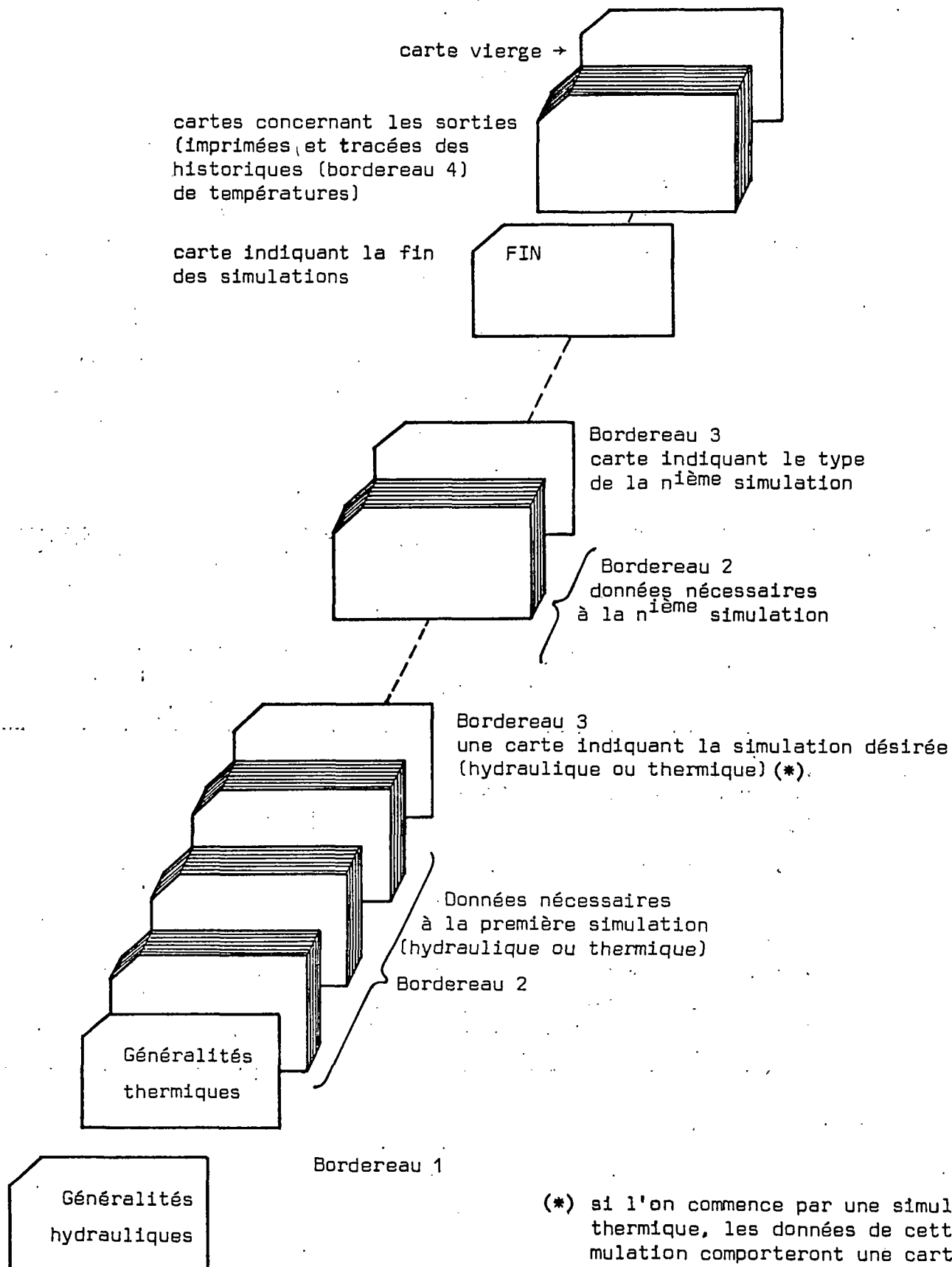
5.1. Cartes perforées à l'aide du bordereau 1

ETUDE= _____ NO _____ DU _____ NU _____ NIL _____ COTE= _____ METRES _____

Bordereau 1

FORMAT (8A4,3X,I3,4X,I4,6X,F4.0,18X,I5)

Description des données	numéro des colonnes	Format
Nom de l'étude	7 à 15	A
Numéro du passage sur ordinateur	18 et 19	A
Date du passage sur ordinateur	24 à 31	A
Zone réservée (ne rien inscrire)	32	A
Nombre de panneaux de 20 colonnes	36 à 38	I3
Nombre de lignes	43 à 46	I4
Longueur en mètres du côté d'une maille	53 à 56	F4.0
Zone réservée (ne rien inscrire dans ces colonnes)	75 à 79	I5



(*) si l'on commence par une simulation thermique, les données de cette simulation comporteront une carte des potentiels hydrauliques, le tableau des perméabilités, ...

BORDEREAU 1 DE EDITH .



UTILISATEUR: DATE: ETUDE:

5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80											
ETUDE=															NO	DU		NJ=		NIL=		COTE=		METRES		
MODELE=															W	IT=		TOL								
PERMEABILITES EN																						M/S		KY/KX=		
DEBITS EN																						M ³ /S				
CHARGES EN																						M				
* 0123456789																										
ISOCHARGES CMIN					CMAX					CINC																
ISOVALEURS CMIN					CMAX					CINC																

NOMBRE DE COUCHES=															NUMERO AQUIFERE=															NB D'ITERATIONS=															TOLERANCE=														
FACT. GEOM. DU TEMPS=															PAS DE CALCUL MINI=															PAS DE CALCUL MAXI=																													
CONDUCTIVITES THERMIQUES EN																																													CALORIES/DEGRE/M/S														
PRODUITS RO*C EN																																													CALORIES/DEGRE/M3														
FLUX THERMIQUES EN																																													CALORIES/M2/S														
COEFFICIENT DE CENTRAGE DU TERME DE CONVECTION=																														RO*C POUR L'EAU=																													
ISOTHERMES CMIN					CMAX					CINC					TPS=																																												
															NOMBRE D'HISTORIQUES=															AT=															BT=														
TEMPER. X=			Y=			C=			X=			Y=			C=			X=			Y=			C=			X=			Y=			C=																										
TEMPER. X=			Y=			C=			X=			Y=			C=			X=			Y=			C=			X=			Y=			C=																										
TEMPER. X=			Y=			C=			X=			Y=			C=			X=			Y=			C=			X=			Y=			C=																										
TEMPER. X=			Y=			C=			X=			Y=			C=			X=			Y=			C=			X=			Y=			C=																										
TEMPER. X=			Y=			C=			X=			Y=			C=			X=			Y=			C=			X=			Y=			C=																										
TEMPER. X=			Y=			C=			X=			Y=			C=			X=			Y=			C=			X=			Y=			C=																										
TEMPER. X=			Y=			C=			X=			Y=			C=			X=			Y=			C=			X=			Y=			C=																										
TEMPER. X=			Y=			C=			X=			Y=			C=			X=			Y=			C=			X=			Y=			C=																										

Figure 5.2.

MODELE= _____ M _____ IIT= _____ TOL= _____

Bordereau 1

FØRMAT (4A4,3X,F5.0,4X,I4,5X,F7.0,35X,I1)

Description des données	Numéro des colonnes	Format
Nom du programme(EDITH)	8 à 16	A
Coefficient de surrelaxation	20 à 24	
Nombre d'itérations maximum pour un calcul hydraulique	29 à 32	I4
Tolérance sur la variation globale des charges d'une itération à l'autre (dans la même unité que les charges)	38 à 44	F7.0
Zone réservée	80	91

PERMEABILITES EN _____ F _____ M/S KY/KX= _____

Bordereau 1

FØRMAT (12A4,1X,F9.0,11X,F6.0,4X,I1)

Description des données	Numéro des colonnes	Format
Libellé de l'unité des perméabilités	20 à 47	A
Zone réservée (ne rien inscrire)	48	A
Facteur de conversion en MKS des perméabilités	50 à 58	F9.0
Facteur d'anisotropie des perméabilités $\frac{K_y}{K_x}$	70 à 75	F6.0
Zone réservée	80	I1

DEBITS EN _____ F _____ M/S

Bordereau 1

FØRMAT (12A4,1X,F9.0,21X,I1)

Description des données	Numéro des colonnes	Format
Libellé d'unité des débits	11 à 47	A
Zone réservée (ne rien inscrire)	48	
Facteur de conversion en MKS des débits	50 à 58	F9.0
Zone réservée	80	I1

Bordereau 1

FØRMAT (12A4,1X,F9.0,15X,5X,I1)

CHARGES EN

Description des données	numéro des colonnes	Format
Libellé de l'unité des potentiels hydrauliques	12 à 47	A
Zone réservée	48	
Facteur de conversion en MKS des potentiels hydrauliques	50 à 58	F9.0
Zone réservée (ne rien écrire en col. 74)	74	I1
Zone réservée (ne rien écrire en col. 80)	80	I1

Bordereau 1

FØRMAT (12A1)

0123456789

Description des données	numéro des colonnes	Format
Symboles utilisés pour l'impression cartes d'isovaleurs	1 à 12	A

Bordereau 1

FØRMAT (16X,F6.0,5X,F6.0,5X,F6.0)

ISOCHARGES CMIN CMAX CINC

Description des données	numéro des colonnes	Format
Valeur de l'équipotentielle minimum	17 à 22	F6.0
Valeur de l'équipotentielle maximum	28 à 32	F6.0
Valeur de l'intervalle entre 2 équipotentielles	39 à 44	F6.0

Bordereau 1

FORMAT (16X,F6.0,5X,F6.0,5X,F6.0)

ISOVALEURS, CMIN, CMAX, CINC

Description des données	numéro des colonnes	Format
Valeur de l'isovaleur minimum	17 à 29	F6.0
Valeur de l'isovaleur maximum	28 à 32	F6.0
Valeur de l'intervalle entre 2 isovaleurs	39 à 44	F6.0

Remarque : ces trois valeurs sont celles qui sont prises en compte lorsque l'on demande (à l'aide du bordereau 2 décrit au §5.2.) des isovaleurs pour des données autres que des charges et des températures.

Bordereau 1

FORMAT (18X,I2,19,I2,17X,I4,F7.0)

NOMBRE DE COUCHES, NUMERO AQUIFERE, NB D'ITERATIONS, TOLERANCE

Description des données	numéro des colonnes	Format
Nombre total de couches	19 et 20	I2
Numéro de la couche aquifère (cf. § 3.2. pour la numérotation des couches), si ce numéro est égal à 0, les calculs seront faits comme s'il n'y avait pas d'aquifère	40 et 41	I2
Nombre maximum d'itérations pour un calcul thermique	59 à 62	I4
Tolérance sur la variation maximum de température d'une itération à l'autre	74 à 80	F7.0

Bordereau 1

FØRMAT (20X,F4.0,20X,F8.0,20X,F8.0)

FACT. GEOM. DU TEMPS= PAS DE CALCUL MINI= PAS DE CALCUL MAXI=

Description des données	numéro des colonnes	Format
Facteur de progression géométrique du pas de temps pour le calcul thermique (doit être égal ou supérieur à 1)	21 à 24	F4.0
Pas de temps minimum pour le calcul thermique	45 à 52	F8.0
Pas de temps maximum pour le calcul thermique	73 à 80	F8.0

Bordereau 1

FØRMAT (12A4,1X,F9.0)

CONDUCTIVITES THERMIQUES EN CALORIES/DEGRE/M/S

Description des données	numéro des colonnes	Format
Libellé de l'unité des conductivités thermiques	29 à 47	A
Facteur de conversion en calories/°C/m/s des conductivités thermiques	50 à 58	F9.0

Bordereau 1

FØRMAT (12A4,1X,F9.0)

PRODUITS ROUC EN CALORIES/DEGRE/M3

Description des données	numéro des colonnes	Format
Libellé de l'unité des capacités calorifiques par unité de volume ($\rho \times$)	29 à 47	A
Facteur de conversion en calories/°C/m ³ des capacités calorifiques (il s'agit de "petites calories" qui élèvent la température de 1g d'eau de 1°)	50 à 58	F9.0

Bordereau 1

FØRMAT (12A4,1X,F9.0)

FLUX THERMIQUES EN			CALORIES/M2/S
--------------------	--	--	---------------

Description des données	numéro des colonnes	Format
Libellé de l'unité des flux thermiques	29 à 47	A
Facteur de conversion en calories/m2/s des flux thermiques	50 à 58	F9.0
Remarque : les flux thermiques donnés sont ceux imposés comme conditions aux limites supérieures et inférieures, même si l'on n'en impose pas, cette carte doit être présente dans le jeu de données.		

Bordereau 1

FØRMAT (17X,F5.0,17X,F6.0)

COEFFICIENT DE CENTRAGE DU TERME DE CONVECTION			ROGC POUR L'EAU	
--	--	--	-----------------	--

Description des données	numéro des colonnes	Format
Coefficient de centrage du terme de convection (cf. §3.2.2.1.2.). Cette valeur doit être comprise entre zéro et un (0 : schéma aval, 1 : schéma amont) valeur standard = 1.	48 à 52	F5.0
Capacité calorifique de l'eau (dans l'unité des capacités calorifiques)	70 à 75	F6.0
Si l'on ne précise pas cette valeur, le programme prend par défaut : 10^6 cal/m ³ /°C.		

Bordereau 1

FØRMAT (16X,F6.0,5X,F6.0,5X,F6.0)

ISOTHERMES CMIN		CMAX		CINC		TPSE
-----------------	--	------	--	------	--	------

Description des données	numéro des colonnes	Format
Valeur de l'isotherme minimum	17 à 29	F6.0
Valeur de l'isotherme maximum	28 à 32	F6.0
Valeur de l'intervalle entre 2 isothermes	39 à 44	F6.0
Temps (en jours) initial	50 à 57	F8.0

Bordereau 1

FORMAT (49X,I3,4X,F9.0,4X,F9.0)

NOMBRE D'HISTORIQUES	AT	BT	
----------------------	----	----	--

Description des données	numéro des colonnes	Format
<p>Nombre de mailles à historique (une maille à historique étant une maille pour laquelle on désire la température en fonction du temps)</p> <p>Les deux données suivantes sont facultatives :</p> <p>Facteur multiplicatif "a" pour convertir des secondes dans une unité de temps choisie pour la sortie des historiques</p> <p>Facteur de translation "b" pour déplacer l'origine des temps des historiques</p> <p>Exemple : si l'on a $\theta = f(t)$ calculé par EDITH, on fait le changement de variable</p> $t' = at + b$ <p>et l'historique obtenu en sortie sera θ en fonction de t'.</p>	<p>50 à 52</p> <p>57 à 65</p> <p>70 à 77</p>	<p>I3</p> <p>F9.0</p> <p>F9.0</p>

Bordereau 1

FORMAT (7X,4(3X,I3,3X,I2))

TEMPER X= Y= C= X= Y= C= X= Y= C= X= Y= C=

Description des données	numéro des colonnes	Format
numéros de colonne, de ligne et de couche d'une maille à historique	11 à 13	I3
	17 à 19	I3
	23et 24	I2
numéros de colonne, de ligne et de couche d'une maille à historique	28 à 30	I3
	34 à 36	I3
	40et 41	I2
numéros de colonne, de ligne et de couche d'une maille à historique	45 à 47	I3
	51 à 53	I3
	57et 58	I2
numéros de colonne, de ligne et de couche d'une maille à historique	62 à 64	I3
	68 à 79	I3
	74et 75	I2
Remarque : on mettra autant de cartes que nécessaire pour préciser les mailles à historiques. Si l'on n'a demandé aucun historique, il ne devra y avoir aucune carte de ce modèle.		

Après les cartes correspondant aux généralités hydrauliques et thermiques, il est nécessaire d'initialiser les valeurs par mailles des perméabilités, débits, charges hydrauliques, cotes du substratum, cotes du toit, conductivités thermiques, porosités, capacités calorifiques, températures initiales, températures d'injection, températures imposées aux limites supérieures et inférieures, flux thermiques imposés aux limites supérieures et inférieures, type des conditions aux limites supérieures et inférieures.

Pour initialiser (ou modifier) ces valeurs, on utilise le bordereau 2 ; on procède couche par couche pour chaque type de donnée séparément.

Les valeurs non initialisées par l'utilisateur sont mises à zéro par le programme.

5.2. Cartes perforées à l'aide du bordereau 2

Bordereau 2

FORMAT (15X,I4,18X,I2,28X,F7.0)

TYPE DE DONNEE	COUCHE CONCERNEE

Description des données	numéro des colonnes	Format
Libellé de quatre lettres indiquant le type de donnée que l'on veut initialiser ou modifier (cf. page suivante pour la correspondance entre libellés et types de données)	16 à 19	I4
Numéro de la couche concernée par l'initialisation	38 et 39	I2
Zone réservée	68 à 74	F7.0

TABLE DE CORRESPONDANCE ENTRE LIBELLES (CADRES A GAUCHE)
ET LES TYPES DE DONNEES :

Libellé	Type de données
PERM	Perméabilités
Q	Débits pompés (-) ou injectés (+)
H	Charges hydrauliques
SUBS	Cotes de substratum
TØIT	Cotes de toit
CØND	Conductivités thermiques
PORØ	Porosités en %
RØ*C	Produits ρc
TEMP	Températures
TINJ	Températures d'injection
TINF	Températures imposées aux limites inférieures
FINF	Flux imposés aux limites inférieures
LINF	Type de conditions aux limites inférieures 0 : flux entrant imposé 1 : température imposée
TSUP	Températures imposées aux limites supérieures
FSUP	Flux imposés aux limites supérieures
LSUP	Type de conditions aux limites supérieures 0 : flux entrant imposé 1 : température imposée.

Bordereau 2

FORMAT (49X,I1,21X,I1,7X,I1)

LECTURE D'UN TABLEAU EN (F40) EN (A4) 1

Description des données	numéro des colonnes	Format
<p>indicateur = 0 : les données ne seront pas lues sous forme de tableau en numérique.</p> <p>1 : les données seront lues sous forme de tableau en numérique.</p>	50	I1
<p>indicateur = 0 : les données ne seront pas lues sous forme de tableau alphanumérique</p> <p>1 : les données seront lues sous forme de tableau alphanumérique.</p>	72	I1
<p>zone réservée : doit contenir obligatoirement 1</p>	80	I1
<p>Remarques : les deux indicateurs ne doivent pas être égaux à 1 tous les deux.</p> <p>cette carte est facultative quand les données ne sont pas sous forme de tableau.</p> <p>les données sous forme de tableau quand elles existent doivent être insérées juste après la carte commençant par DONNEES décrite plus loin.</p>		

Bordereau 2

FORMAT (49X,I1,21X,I1,7X,I1)

PERFORATION EN (14) AVANT LA SIMULATION : APRES LA SIMULATION: 3

Description des données	numéro des colonnes	Format
<p>indicateur = 0 : les données concernées ne seront pas perforées en numérique avant la prochaine simulation</p> <p>1 : les données concernées seront perforées en numérique avant la prochaine simulation</p>	50	I1
<p>indicateur = 0 : les données concernées ne seront pas perforées en numérique après la prochaine simulation</p> <p>1 : les données concernées seront perforées en numérique après la prochaine simulation</p>	72	I1
zone réservée : doit contenir 3	80	I1
<p>Remarque : cette carte est facultative si l'on doit mettre les deux indicateurs à zéro.</p>		

Bordereau 2

FORMAT (49X,I1,21X,I1,7X,I1)

PERFORATION EN (A4) AVANT LA SIMULATION : APRES LA SIMULATION: 4

Description des données	numéro des colonnes	Format
<p>Cette option ne peut être utilisée que sur IBM 360 ou IBM 370</p> <p>indicateur = 0 : les données concernées ne seront pas perforées en alphanumérique avant la prochaine simulation</p> <p>1 : les données concernées seront perforées en alphanumérique avant la prochaine simulation.</p>	50	I1
<p>indicateur = 0 : les données concernées ne seront pas perforées en alphanumérique après la prochaine simulation</p> <p>1 : les données concernées seront perforées en alphanumérique après la prochaine simulation</p>	72	I1
<p>zone réservée : doit contenir 4</p>	80	I1
<p>Remarque : cette carte est facultative si l'on doit mettre les deux indicateurs à zéro.</p>		

Bordereau 2

FORMAT (49X,I1,21X,I1,7X,I1)

CARTE D'ISOVALEURS AVANT LA SIMULATION	:	APRES LA SIMULATION:	:
--	---	----------------------	---

Description des données	numéro des colonnes	Format
<p>indicateur = 0 : il n'y aura pas de carte d'isovaleurs pour les données concernées avant la simulation</p> <p>1 : il y aura une carte d'isovaleurs pour les données concernées avant la simulation.</p>	50	I1
<p>indicateur = 0 : il n'y aura pas de carte d'isovaleurs pour les données concernées après la simulation</p> <p>1 : il y aura une carte d'isovaleurs pour les données concernées après la simulation.</p>	72	I1
<p>zone réservée : doit contenir 6</p>	80	I1
<p>Remarque : cette carte est facultative si l'on doit mettre les deux indicateurs à zéro.</p>		

Bordereau 2

FORMAT (79X,I1)

DONNEES:

Description des données	numéro des colonnes	Format
<p>zone réservée</p> <p>Cette carte n'est nécessaire que si l'on désire ensuite faire lire un tableau (on doit alors l'avoir précisé précédemment) ou donner une valeur générale pour toutes les mailles et/ou initialiser des mailles individuellement.</p> <p>Si l'on a précisé que l'on voulait faire lire un tableau, on doit mettre les cartes correspondantes juste après cette carte.</p>	80	I1

Données rentrées sous forme de tableau

Ces données sont rentrées par panneau de 20 colonnes, chaque valeur tenant sur quatre cases.

Le format de lecture est (20F4.0) ou (20A4) suivant ce que l'on a précisé plus haut (tableau en numérique ou alphanumérique).

Bordereau 2

FØRMAT (4(2X,2I3,2X,I2,3X,F4.0))

XY				C		V				XY				C		V				XY				C		V			
----	--	--	--	---	--	---	--	--	--	----	--	--	--	---	--	---	--	--	--	----	--	--	--	---	--	---	--	--	--

Description des données	numéro des colonnes	Format
numéro de colonne et de ligne d'une maille pour laquelle on veut préciser une valeur particulière (xy)	3 à 5	I3
	6 à 8	I3
numéro de couche contenant la maille (c) valeur (v)	10 et 11	I2
	16 à 19	F4.0
numéro de colonne et de ligne d'une maille pour laquelle on veut préciser une valeur particulière (xy)	23 à 25	I3
	26 à 28	I3
numéro de couche contenant la maille (c) valeur (v)	31 et 32	I2
	36 à 39	F4.0
numéro de colonne et de ligne d'une maille pour laquelle on veut préciser une valeur particulière (xy)	43 à 45	I3
	46 à 48	I3
numéro de couche contenant la maille (c) valeur (v)	51 et 52	I2
	56 à 59	F4.0
numéro de colonne et de ligne d'une maille pour laquelle on veut préciser une valeur particulière (xy)	63 à 65	I3
	66 à 68	I3
numéro de couche contenant la maille (c) valeur (v)	71 et 72	I2
	76 à 79	F4.0

Remarques :

- On met autant de cartes que nécessaire
- Si on précise le numéro de couche, il doit être identique à celui précisé dans la première carte du bordereau 2
- Si les numéros de ligne et de colonne sont nuls alors que le numéro de couche n'est pas nul, la valeur précisée sera affectée à toutes les mailles de la couche en question
- Pour chaque maille, c'est la dernière valeur précisée qui est retenue par le programme.

Bordereau 2

FORMAT (A2)

Description des données	numéro des colonnes	Format
zone réservée : doit contenir deux astérisques	1 et 2	A2
zone réservée : ne rien écrire dans cette zone	3 à 80	A2
<p>Remarque : cette carte indique la fin des initialisations et/ou modifications pour un type de données et pour une couche; elle termine une série de cartes commençant par la première carte du bordereau 2.</p> <p>Après une telle série de cartes, on peut remettre une nouvelle série semblable pour un autre type de données et/ou une autre couche.</p> <p>D'une simulation à l'autre, les valeurs ne sont pas détruites ; on utilise donc le bordereau 2 la première fois pour une initialisation générale et les fois suivantes pour des modifications ponctuelles ou des réinitialisations. Le bordereau 2 sert aussi à préciser les sorties désirées.</p> <p>Une fois que l'on a fait les initialisations et/ou modifications nécessaires pour une simulation, cette simulation est déclenchée par une carte perforée définie dans le bordereau 3.</p>		

5.3. Cartes perforées à l'aide du bordereau 3

Il y a seulement trois types de cartes dans le bordereau 3
Elles servent à indiquer :

- si l'on veut une simulation hydraulique,
- si l'on veut une simulation thermique, jusqu'à une date donnée,
- si l'on ne veut plus de simulation.

Pour demander une simulation hydraulique, on met simplement une carte avec le mot HYDRAULIQUE (les quatre lettres HYDR devant être dans les colonnes 1 à 4).

HYDRAULIQUE

On veillera à ne rien perforer dans les zones réservées : colonnes 16 à 19, 38 et 39, 68 à 74.

Pour demander une simulation thermique, on met une carte avec le mot THERMIQUE (les quatre lettres THER devant être dans les colonnes 1 à 4).

THERMIQUE DATE DE LA SORTIE SUIVANTE: JOURS

On précise dans les colonnes 68 à 74 la date (en jours) jusqu'à laquelle on veut que soit faite cette simulation. On veillera à ne rien perforer dans les zones réservées : colonnes 16 à 19, 38 et 39.

Pour indiquer la fin des simulations, on met une carte avec le mot FIN (les 3 lettres FIN devant être dans les colonnes 1 à 3).

FIN

On veillera à ne rien perforer dans les zones réservées : colonne 4, colonnes 16 à 19, 38 et 39, 68 à 74.

Après cette dernière carte, c'est-à-dire quand on a fini toutes les simulations, on place les cartes perforées à l'aide du bordereau 4 qui concerne le tracé des historiques.

5.4. Cartes perforées à l'aide du bordereau 4

On a demandé dans les généralités thermiques un certain nombre d'historiques (dont le tracé sera défini par les cartes du bordereau 4. Au cas où l'on ne désire pas tracer un historique, on placera ici une carte vierge dans laquelle le programme EDITH trouvera un nombre de courbes à tracer nul). Il est possible de regrouper les courbes sur un ou plusieurs graphiques de la façon suivante :

On a N historiques et on veut m graphiques avec n_1 courbes sur le premier, n_2 sur le second, ..., n_m sur le dernier.

Sur le premier graphique, on aura les historiques 1 à n_1 (avec $n_1 \leq N$)

Sur le deuxième, les historiques $n_1 + 1$ à $n_1 + n_2$.

Sur le ième, les historiques $\sum_{j=1}^{i-1} n_j + 1$ à $\sum_{j=1}^i n_j$.

Avec le bordereau 4, on indique n_1 sur une carte, puis on décrit avec six cartes le premier graphique ; ensuite, on indique n_2 et on décrit avec six autres cartes le deuxième graphique, etc...

Quand on a terminé la description des tracés et historiques, on met une carte vierge.

Bordereau 4

FORMAT (18X,I3,2(3X,F8.0))

NOMBRE DE COURBES

Description des données	numéro des colonnes	Format
nombre de courbes que l'on veut grouper sur un même graphique	19 à 21	I3
zone réservée	25 à 32	F8.0
zone réservée	36 à 43	F8.0

Bordereau 4

FØRMAT (23X,I1,6X,F5.0,6X,F5.0,7X,I3,7X,I3)

TRACE DES AXES: TYPE= PASX= PASY= NPASX= NPASY=

Description des données	numéro des colonnes	Format
Indicateur : La valeur de cet indicateur précisant : doit être comprise entre 1 et 6 : le type du repère : (TYPE) : 1 : grille cartésienne : 2 : grille semi-logarithmique : 3 : grille bi-logarithmique : 4 : cadre gradué en cartésien : 5 : cadre gradué en semi-log : 6 : cadre gradué en bi-log. : Le TYPE choisi pour le tracé des axes peut être différent de celui pour le tracé des points (cf. partie suivante). il détermine seulement la présentation des axes. TYPE ne peut être pris égal à 2 (ou 5) ou 3 (ou 6) que si le TYPE de la carte suivante est respectivement égal à 2 ou 3.	24	I1
Longueur en cm d'un module sur l'axe des abscisses (PASX) : Lorsque TYPE = 1 ou 4, la longueur du module détermine la fréquence des numérations le long de l'axe des x, et peut être différent du PAST de la carte suivante si le TYPE de cette carte suivante est égal à 1. Si le TYPE de la carte suivante est égal à 2 ou 3, PASX est obligatoirement égal à PAST.	31 à 35	F5.0
Longueur en cm d'un module sur l'axe des ordonnées (PASY) : Lorsque TYPE=1,2,4 ou 5, la longueur du module détermine la fréquence des numérations le long de l'axe des y, et peut être différent du PASP de la carte suivante, si le TYPE de cette carte suivante est égal à 1 ou 2. Si le TYPE de la carte suivante est égal à 3, PASY est obligatoirement égal à PASP.	42 à 46	F5.0
Nombre de modules sur l'axe des abscisses (NPASX)	52 à 54	I3
Nombre de modules sur l'axe des ordonnées (NPASY)	64 à 66	I3

Bordereau 4

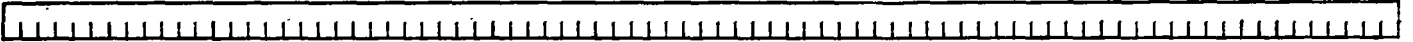
FORMAT (23X,I1,6X,F5.0,6X,F5.0,7X,F5.0,7X,F5.0)

TRACE DES POINTS: TYPE= PAST= PASP= ORIGT= ORIGP=

Description des données	numéro des colonnes	Format
Indicateur : la valeur de cet indicateur précisant : doit être comprise entre 1 et 4 : le type du : report : 1 : report en cartésien (TYPE) : 2 : report en semi-log. : 3 : report en bi-log. : Si TYPE = 4 et le TYPE de la : carte précédente est égal à : 1 ou 4, les valeurs en abscis- : ses sont remplacées par leurs : racines carrées	24	I1
Longueur en cm d'une unité (d'un module si l'axe est logarithmique) sur l'axe des abscisses (PAST)	31 à 35	F5.0
Longueur en cm d'une unité (d'un module si l'axe est logarithmique) sur l'axe des ordonnées (PASP)	42 à 46	F5.0
Valeur origine des abscisses (ORIGT)	52 à 56	F5.0
Valeur origine des ordonnées (ORIGP)	66 à 70	F5.0

Les quatre cartes suivantes contiennent les libellés

- une carte pour le libellé des valeurs reportées en abscisses
- une carte pour le libellé des valeurs reportées en ordonnées
- deux cartes pour l'intitulé du graphique.



Pour des raisons de présentation, il est souhaitable de centrer ces libellés.

Remarque : On peut supprimer pour un ensemble de courbes la sortie tracée ; il suffit de remplacer les six cartes décrivant le graphique par une seule carte vierge.

6. - REMARQUES COMPLEMENTAIRES

- Il est possible pour des utilisations particulières de modifier le pas de temps entre deux simulations. Pour ce faire, on indique dans une carte perforée selon la première ligne du bordereau 2 avec, comme libellé pour le type de donnée : DT, suivi de la carte précisant le facteur multiplicatif, les pas de temps minimum et maximum (bordereau 1 ; 2ème partie).

- Choix du pas de temps : Il est souhaitable de choisir un pas de temps constant tel que :

Les périodes simulées soient un nombre entier de ce pas de temps et que

$$\max \left[\frac{2\lambda_x + \rho_a c_a v_x \Delta x}{\rho_a c_a v_x^2}, \frac{2\lambda_y + \rho_a c_a v_y \Delta y}{\rho_a c_a v_y^2} \right] \leq \Delta t \leq \min \left[\frac{\Delta x}{v_x}, \frac{\Delta y}{v_y} \right]$$

si l'on veut minimiser les phénomènes parasites de dispersion numérique

$v_x v_y$: composantes du vecteur vitesse de front thermique.

- Si le Δt est supérieur à $\min \left[\frac{\Delta x}{v_x}, \frac{\Delta y}{v_y} \right]$, il prend automatiquement cette valeur.

- Pour une simulation thermique, il est nécessaire que les débits simulés correspondent aux charges hydrauliques (calculées par une simulation hydraulique ou imposées par l'utilisateur). Si d'une simulation à l'autre les charges sont modifiées, le programme calcule les débits, à condition que l'utilisateur n'ait pas modifié les débits simulés en même temps que les charges.

- Si, entre deux simulations thermiques, on ne demande aucune impression, le programme sort automatiquement les températures pour toutes les couches sous forme de tableau.

- Si la date de fin d'une simulation thermique est antérieure à la date de fin de la simulation précédente, la simulation ne sera pas effectuée.