

**CONSEIL GENERAL DE LA REUNION**  
**MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE**

DOCUMENTS POUR  
COMPRENDRE ET ETUDIER  
L'HYDROGEOLOGIE  
DE LA REUNION

Texte et figures : **Ph. MAIRINE**  
Collège "Les Sang-Dragons", Saint Joseph  
Observatoire Volcanologique, Pl. des Cafres

Conseiller informatique : **L. NESSUS**  
Inspection de l'Education Nationale, Saint Joseph

Relecture et exercices : **J.L. CHEVERRY**  
Lycée Pierre Poivre, Saint Joseph

**SOMMAIRE :**

Avant propos

Introduction : **le cycle de l'eau** (p 6)

**A- LES NAPPES D'EAU SOUTERRAINE****I - Les sources** (p 8)

- 1) Une source perchée : la source Gabriel
- 2) Une source de grande rivière : l'émergence de la Rivière Langevin
- 3) L'arrivée de l'eau douce en mer : les sources côtières

**II - Alimentation des nappes d'eau souterraine : les entrées** (p 16)

- 1) Les pluies
- 2) La partition due au sol
  - a- Le ruissellement (+ érosion)
  - b- Que devient l'eau qui a pénétré dans le sol ?

**III - Les nappes d'eau souterraines** (p 21)

- 1) Qu'est-ce qu'une nappe d'eau souterraine ?
  - a- les formations perméables = les roches réservoirs
  - b- Les formations à faible perméabilité : les murs imperméables
  - c- Modifications apportées par les structures géologiques
- 2) Comportement des roches vis à vis de l'eau souterraine
- 3) Les nappes d'eau souterraines à la Réunion

**B - RECHERCHE, EXPLOITATION ET GESTION  
DES NAPPES D'EAU SOUTERRAINE****I - Le captage des sources** (p 30)**II - La recherche de l'eau souterraine** (p 31)

- 1) Les méthodes directes.
- 2) Quelques méthodes indirectes

**III - Exploitation d'une nappe par un puits ou un forage** (p 35)

- 1) Réalisation d'un forage
- 2) Equipement et essais de puits
- 3) Chimie des eaux
- 4) Les risques de pollution

**C - EAU SOUTERRAINE ET VOLCANISME****I - Un modèle de circulations hydrothermales** (p 40)**II - Les circulations hydrothermales à la Réunion** (p 40)**III - Eaux souterraines et éruptions** (p 41)

**ANNEXES** (p 42)**Sigles et symboles utilisés :**

BRGM	: Bureau de Recherches Géologiques et Minières
BSS	: Banque de Données du Sous-Sol
DAF	: Direction de l'Agriculture et de la Forêt (anciennement : DDA)
$\Delta$	: rabattement du niveau de l'eau dans un puits lors d'un pompage
E	: évaporation
ET	: évapotranspiration
ETP	: évapotranspiration potentielle
ETR	: évapotranspiration réelle
I	: infiltration (phénomène)
IE	: infiltration efficace (quantité d'eau infiltrée)
K	: perméabilité
ka	: kiloannée (1 000 ans)
$n_e$	: porosité efficace
ORE	: Observatoire Réunionnais de l'Eau
P	: pluie
PE	: pluie efficace
Q	: débit
R	: ruissellement
$\mu\text{S} / \text{cm}$	: microsiemens par centimètre (conductivité)

## Avant propos

L'objet de ce fascicule est de présenter, au travers d'étude de documents locaux, l'hydrogéologie, science qui s'occupe de la localisation et de la circulation des eaux dans le sous-sol.

Les besoins en eau augmentant avec l'amélioration des conditions de vie, le développement économique et l'extension des périmètres irrigués, il est devenu indispensable depuis quelques années de connaître et de gérer au mieux cette ressource naturelle. Beaucoup reste encore à faire pour estimer la richesse de La Réunion en eau souterraine car, si cette eau est naturellement accessible au niveau des sources, une partie importante nous échappe et se perd en mer.

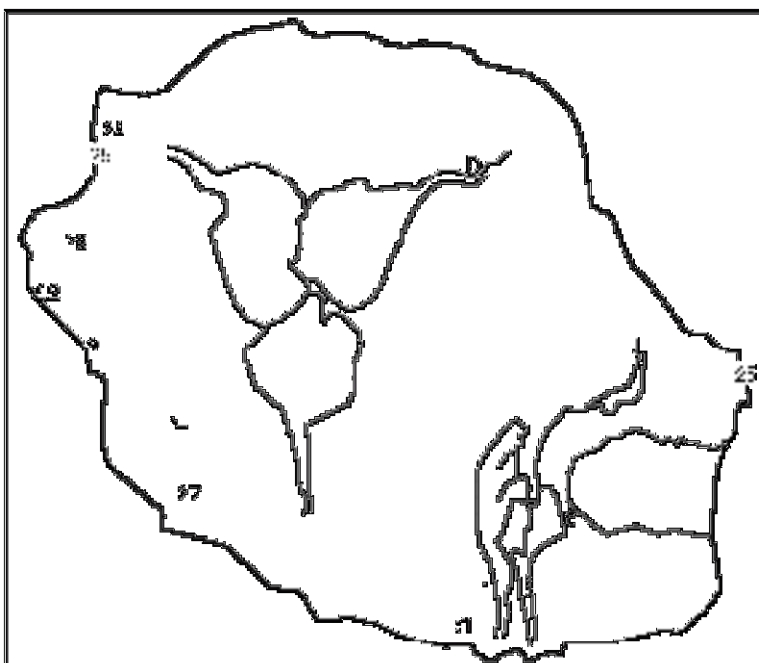
Ce livret permettra aux personnes intéressées de mieux appréhender les problèmes liés aux limites de cette ressource.

Pour illustrer notre propos, nous présenterons des documents concrets mais nous entrerons aussi parfois dans le domaine des hypothèses.

Ce fascicule comprend deux parties, la première apporte des informations scientifiques, la seconde propose des utilisations pédagogiques, un lexique et une bibliographie des ouvrages fondamentaux écrits en Français.

Ce n'est pas un ouvrage de recherche ni un rapport de bureau d'étude, aussi nous sommes nous efforcés de ne présenter que les notions de base ; elles sont rapidement définies, au début de chaque chapitre, dans un lexique. Il est souhaitable, lors d'une première lecture, de suivre la progression proposée.

Remarque : Les aspects théoriques de l'hydrogéologie, ainsi que tout ce qui concerne les pluies, l'hydraulique et les écoulements superficiels seront traités de façon succincte ; pour une information plus complète, se rapporter aux ouvrages fondamentaux cités en annexes.



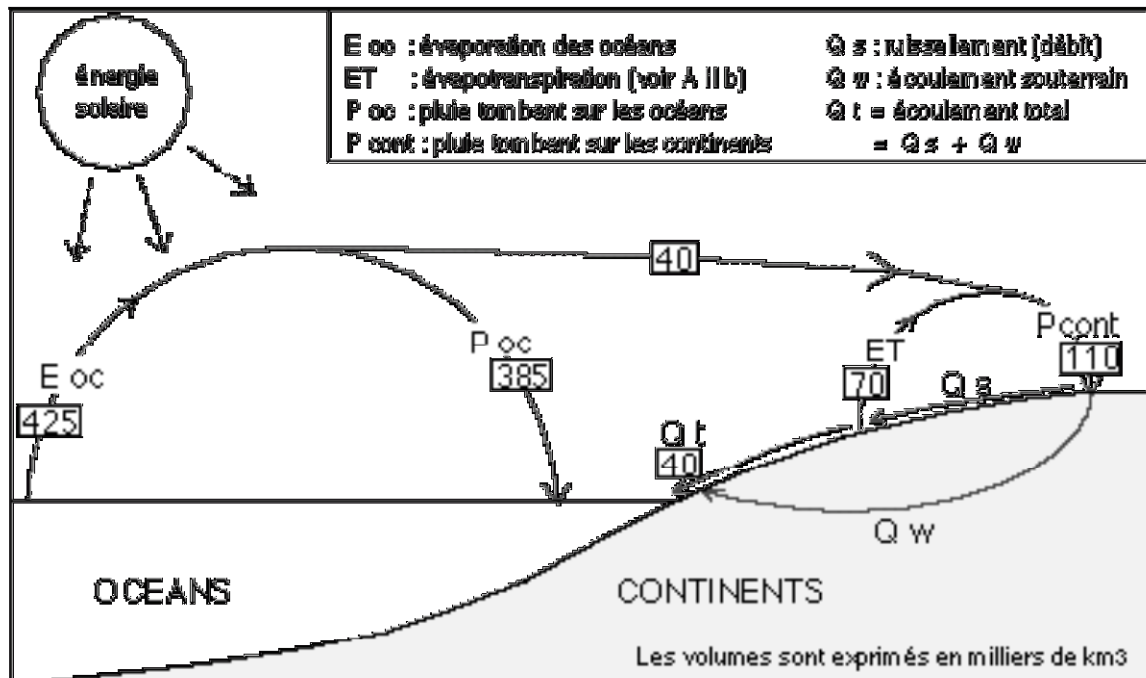
*Fig 1 : Localisation  
des sites étudiés.*

*Les numéros se rapportent  
aux figures et les lettres  
aux annexes.*

## Introduction : le cycle de l'eau

A l'échelle mondiale, il y a équilibre entre le volume des précipitations et celui de l'eau évaporée (fig 2) :

$$\begin{aligned} & V \text{ eau océanique évaporée (E oc)} \\ & + V \text{ eau continentale évaporée et transpirée par les végétaux (ET)} \\ & = V \text{ des pluies (P oc + P cont)} \end{aligned}$$



*Fig 2 : Bilan actuel de l'eau sur la Terre (d'après TARDY 1986)*

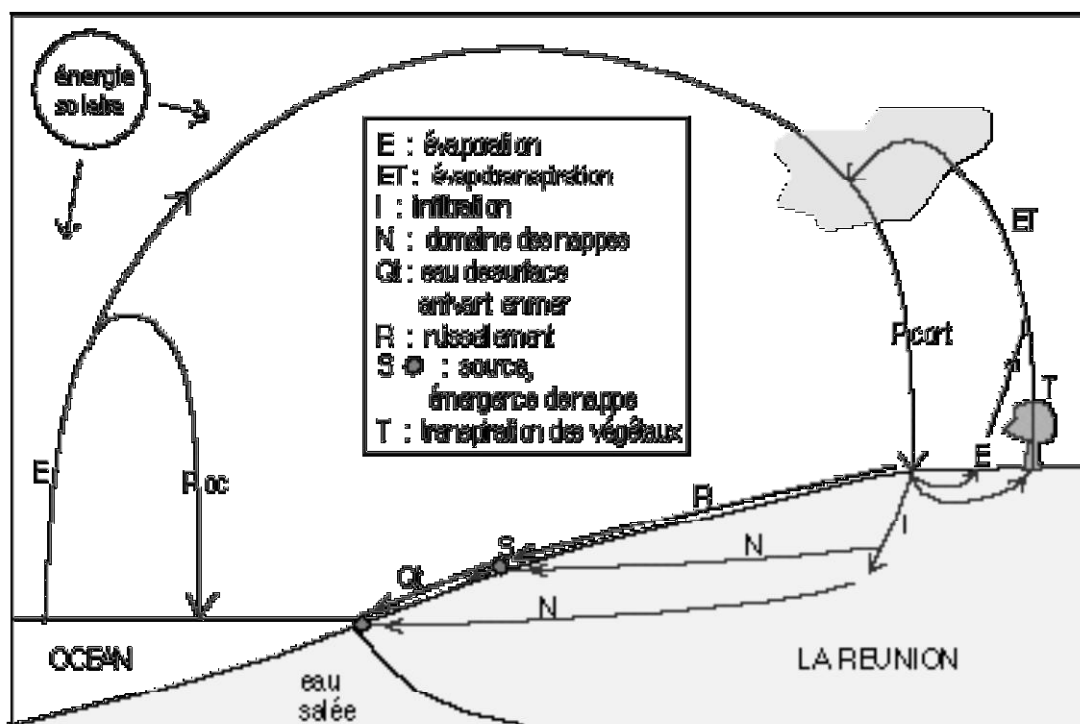
Au niveau régional, les principales étapes du cycle sont représentées sur la figure 3.

L'eau des précipitations (A II 1) se répartit en :

- eau de ruissellement (A II 2a),
- eau qui pénètre dans le sol ; cette dernière :
  - sera évaporée en surface et prélevée par les végétaux (A II 2b) ou
  - s'infiltrera et alimentera les nappes d'eau souterraine (A III).

L'eau des nappes circule et réapparaît à la surface (**sources**) ou ressort en mer près de la côte (A I).

Le trajet souterrain (infiltration, circulation, émergence) ainsi que le comportement des roches vis à vis de l'eau seront abordés dans le paragraphe A ; nous nous intéresserons ensuite à l'exploitation de cette richesse du sous-sol (B) et terminerons par l'étude des relations entre eau souterraine et volcanisme (C).



*Fig 3 : Le cycle régional de l'eau : esquisse*

## A - LES NAPPES D'EAU SOUTERRAINE

La présence de sources prouve l'existence d'une circulation et d'une accumulation d'eau souterraine.

### I - Les sources

#### Notions étudiées :

**Aquifère** : corps (couche) de roches perméables comportant une zone remplie d'eau (l'aquifère saturé) suffisamment conducteur d'eau souterraine pour permettre l'écoulement d'une nappe et le captage de quantités d'eau appréciables.

**Bassin versant géologique** : zone dans laquelle l'eau s'infiltré, s'écoule et arrive à un même exutoire (rivière, source) ; il peut être différent du bassin versant géographique quand des structures géologiques dévient l'eau dans une direction différente de la pente en surface (fig 20).

**Biseau d'eau salée** : surface limite entre une masse d'eau salée envahissant un aquifère et l'eau douce de cet aquifère ; par extension, c'est le coin d'eau salée avançant sous l'eau douce (fig 10).

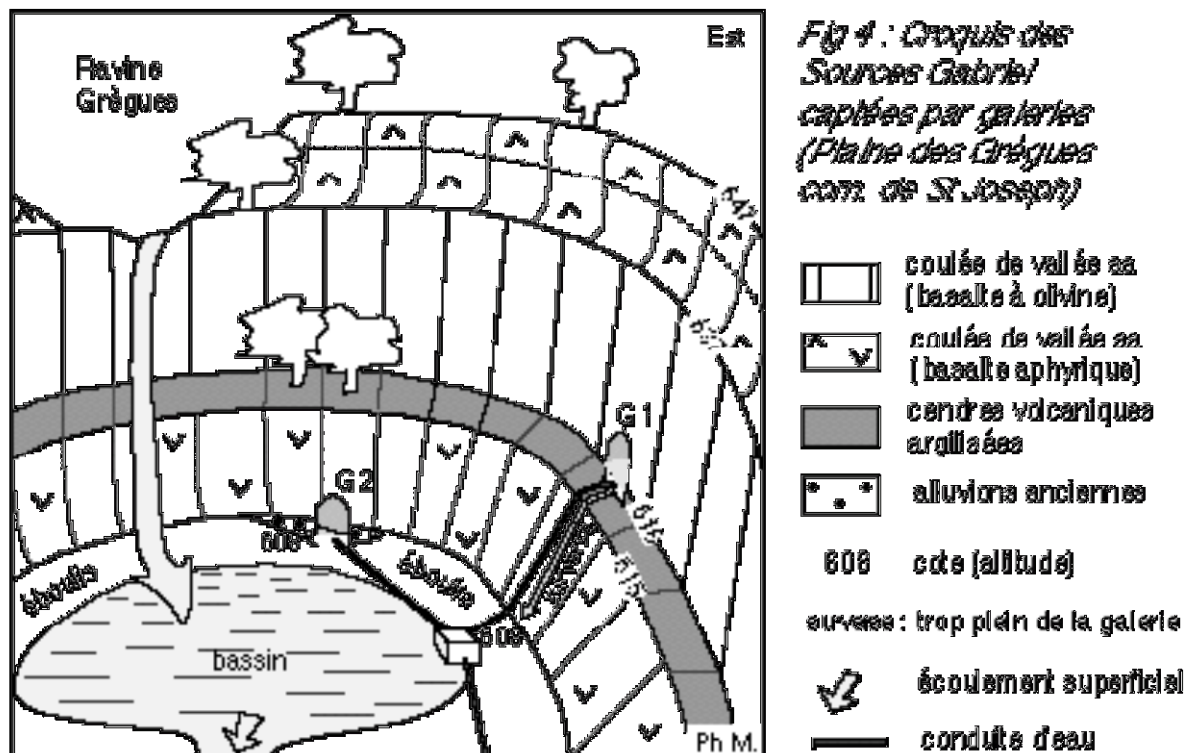
**Mur d'une nappe** : surface inférieure d'une nappe, limitée par un niveau imperméable.

**Réserve** : quantité d'eau gravitaire contenue à un moment donné dans un aquifère = volume de la nappe.

**Sous-écoulement** : ce terme est ici utilisé comme synonyme de "nappe sous-fluviale", écoulement souterrain suivant le même trajet que l'écoulement superficiel d'une rivière ; les liaisons entre les deux sont permanentes.

## 1) Une source "perchée" : la source Gabriel (Plaine des Grègues)

Cette "source" située en rive gauche de la Ravine des Grègues, correspond à plusieurs sorties d'eau (fig 4).



Dans la galerie 1 (G1), l'eau apparaît juste au-dessus d'une couche épaisse (3 m) marron, résultant d'une éruption hydromagmatique (voir C III et fascicule sur Grand Anse) ; pendant cette éruption le magma et les roches encaissantes ont été pulvérisés par des explosions violentes. Les débris de magma et de vieilles roches sont retombées, sous forme de cendres volcaniques (= pyroclastites fines) sur une surface de plusieurs km<sup>2</sup>, voire plusieurs dizaines de km<sup>2</sup>, nappant le relief de l'époque ; le tout sera recouvert plus tard par des coulées de basalte.

Cette couche de cendres volcaniques constituée d'éléments fins et argileux est très peu perméable, nous la considérerons comme **imperméable** ; elle oblige l'eau du sous-sol à suivre les creux de l'ancien relief et l'empêche de s'infiltrer plus profondément : elle supporte l'eau, c'est le **mur de la nappe** émergeant en G1.

Ce mur de pyroclastites est surmonté d'une coulée basaltique épaisse de type aa (voir lexique) dont la base, un niveau de gratons, est très **perméable** (voir A III 2) car constituée d'éléments séparés laissant de nombreux vides entre eux ; le coeur des coulées, fracturé par des fentes de refroidissement laisse passer l'eau verticalement.

La coulée aa, perméable, comportant une zone remplie d'eau, est suffisamment conductrice pour permettre l'écoulement de l'eau souterraine et le



captage de quantités d'eau appréciables : c'est un **aquifère** (= roche réservoir d'eau). La partie remplie d'eau est **l'aquifère saturé**.

Sous le premier niveau imperméable, un second aquifère, constitué lui aussi par une coulée aa possède comme mur une formation alluviale ancienne, hétérogène, de faible perméabilité ; son eau est captée en G2.

A cet endroit la Ravine des Grègues a entaillé un "aquifère multicouche".

Remarque : Les deux murs imperméables bien que saturés d'eau ne sont pas des aquifères car l'eau n'y circule que très lentement (voir A III 2) et ne peut être récupérée qu'en très faible quantité.

François BOCQUEE (rapport DDA 1981), après un enregistrement de 17 mois du débit non capté (surverse) de la galerie 1 (fig 5), constate que la réponse aux averses est quasi instantanée.

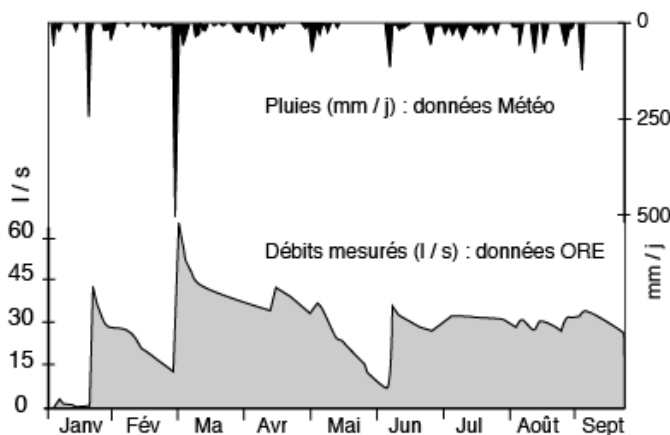


Fig 5 : Source Gabriel

Pluviométrie mensuelle et débit moyen mensuel de la surverse (débit non capté) de juin 80 à septembre 81.

Rq : Le débit moyen capté est de 20 l/s.

Le débit capté est inférieur à 13 l/s quand le déversoir est à sec.

L'augmentation rapide du débit avec les fortes pluies montre que :

- ce sont bien les pluies qui alimentent les sources ;
- la zone d'alimentation est proche ;
- la perméabilité du système est forte.

Quand les pluies diminuent, le débit émergent décroît et atteint des valeurs faibles en 3 mois, ce qui suggère que le volume du réservoir d'eau alimentant la source Gabriel est peu important et de faible extension (quelques km<sup>2</sup> en surface) : le débit d'étiage peut être atteint en octobre, pendant la saison sèche quand les besoins en eau augmentent.

Cette source est à l'image de beaucoup de celles situées sur les pentes de l'île :

- leurs bassins versants (surface où l'eau parvenant à une source s'est infiltrée) sont peu étendus,
- leurs débits sont faibles et variables, elles peuvent même se tarir,
- elles constituent l'exutoire de petites "nappes perchées", réserves d'eau peu importantes.

## 2) Une source de grande rivière : l'émergence de la Rivière Langevin à Grand Galet

Le creusement du lit actuel de la Rivière Langevin a débuté il y a environ 60 000 ans (60 ka) et depuis que l'érosion a rapproché sa partie amont (Grand Pays) des zones éruptives, quelques coulées ont emprunté sa vallée ; celles qui sont visibles au-dessus de la galerie de Grand Galet (fig 6) ont moins de 14 ka (âge d'un bois récupéré pendant les travaux) ; la dernière, celle du Piton Chisny, a été datée grâce à une racine carbonisée par la lave ; son âge,  $1\,106 \pm 50$  ans (Bachelery et Mairine, à paraître) montre que les risques volcaniques ne sont pas nuls à cet endroit.

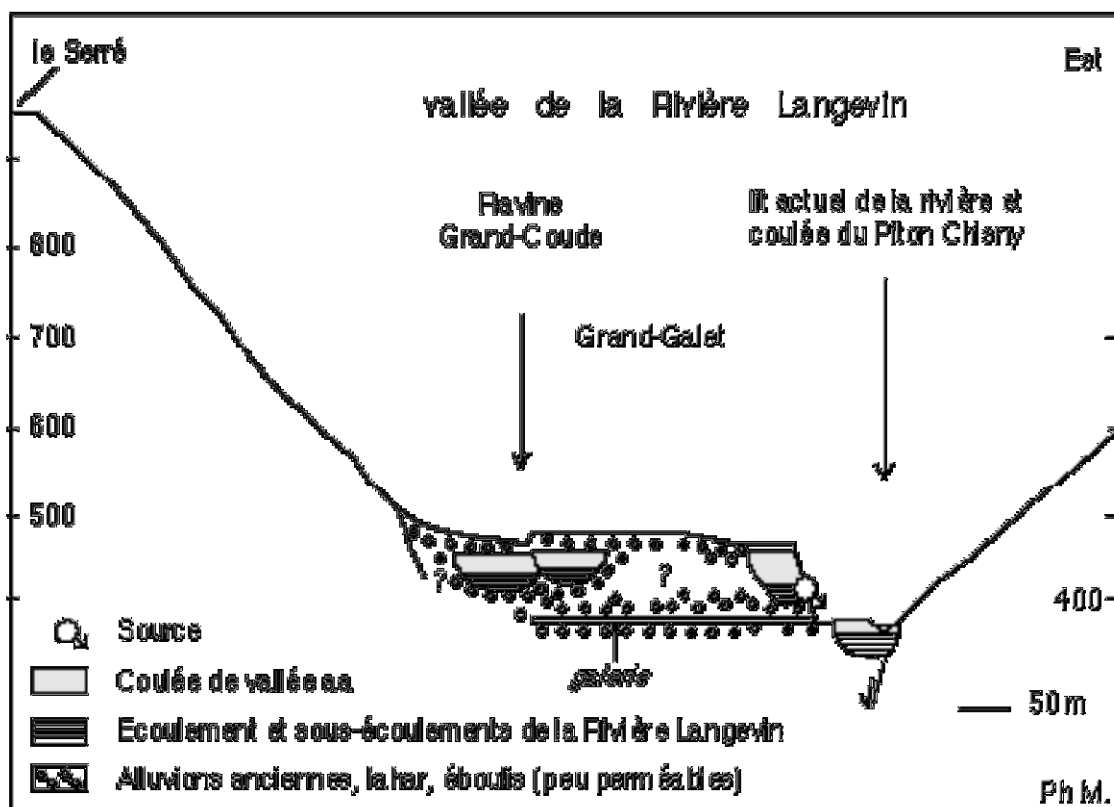


Fig 6 : Coupe transversale de la Rivière Langevin en aval de Grand-Galet

La galerie, creusée pour capter l'écoulement souterrain de la Rivière Langevin, est restée dans des formations de fond de vallée (alluvions, lahar, éboulis) ; le débit recueilli était faible au regard de l'importance de l'ouvrage et l'eau disponible rapidement épuisée ; ces formations hétérogènes, tassées par les 80 m de roches au-dessus de l'ouvrage, sont peu perméables (sauf de rares couches "propres", sans éléments fins) : elles constituent un **mur imperméable**.

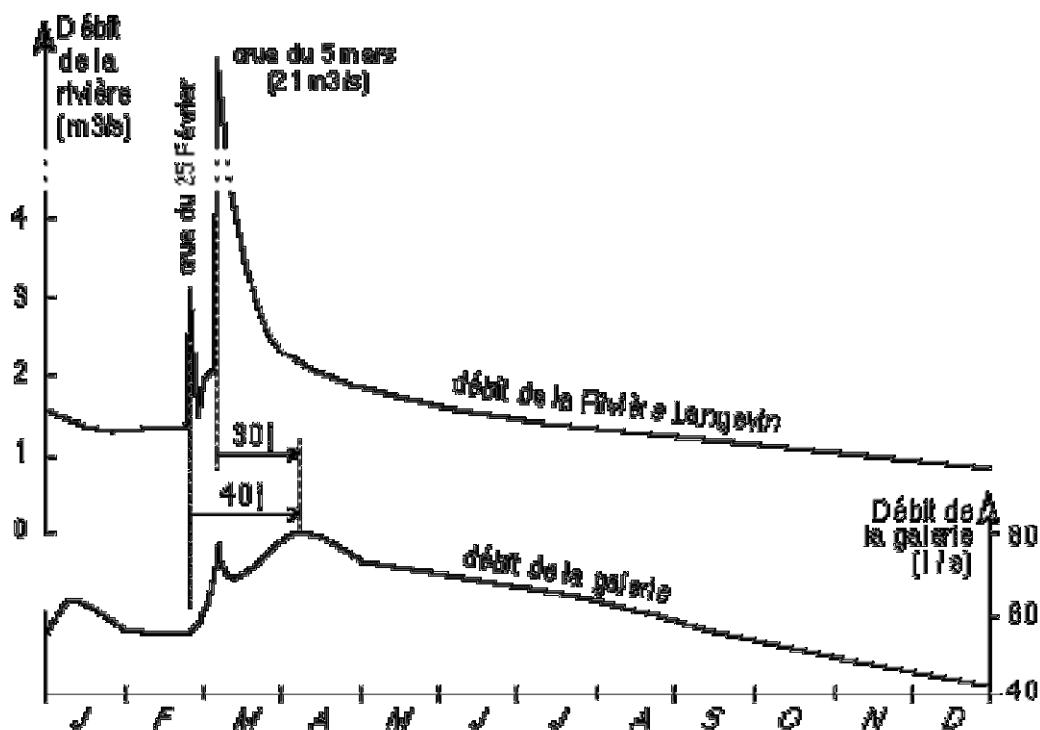
Des forages verticaux ont été réalisés vers le haut dans la galerie pour récupérer l'eau des aquifères surmontant ce tunnel (fig 6).

Ces **aquifères**, mis en évidence par la **cartographie géologique** sont des coulées de lave longues, étroites et épaisses qui ont rempli d'anciennes vallées creusées dans les formations détritiques (fig 6). L'eau y circule dans les niveaux de gratons et les fissures et émerge à ces mêmes endroits quand les coulées sont

recoupées par l'érosion. L'écoulement souterrain de la rivière (= **sous-écoulement**) est bien chenalisé dans ces coulées de vallée.

Le débit hors crue de la Rivière Langevin mesuré à la Passerelle et capté par EDF, provient surtout des sources de Fond de Galet, exutoires des sous-écoulements de la rivière en amont de Grand Galet.

L'évolution du débit en fonction de temps, établie pour la galerie (fig 7), est représentative du régime de ces sources.



*Fig 7 : Débits de la Rivière Langevin et de la galerie de Grand Galet en 1990 (données DAF)*

L'augmentation de débit observé à la suite d'averses importantes :

- averse du 24 Février 90 (300 mm à Commerson, 191 mm à Grand Galet),
- averses du 5 Mars (260 mm à Commerson, 212 mm à Grand Galet) et des jours précédants,

est progressive et se poursuit jusqu'en Avril, c'est à dire pendant 30 à 40 jours.

Les pluies du 5 Mars ont provoqué une crue de la Rivière Langevin sur toute sa longueur, alors qu'elle est habituellement à sec au-dessus de la cascade de Grand Galet. Cet événement est marqué dans la galerie par un pic de débit de 75 l / s résultant d'infiltrations immédiatement en amont.

Les pluies du 24 Février et du début Mars ont rechargé les nappes (= reconstitué les **réserves**) alimentant les sources de ce secteur ; la courbe de débit de la galerie montre que:

- la réponse du débit, suite aux averses, est amorti et présente un retard de 30 à 40 jours sur les fortes pluies ; le cheminement de l'eau est donc plus ou moins long (1 à 10 km, voir fig 20) et les zones d'infiltration importantes sont

situées à au moins 30 jours de trajet (par comparaison, le rassemblement des eaux superficielles ruisselant sur Grand Pays se fait en quelques heures) ;

- la décroissance (Avril à Décembre), ou "courbe de tarissement" est progressive, ce qui prouve que le réservoir est relativement important (en surface il représente environ 55 km<sup>2</sup>) ; huit mois après la période des pluies efficaces (voir A II 2), la vidange des réserves donne encore un débit de 1 m<sup>3</sup> / s.

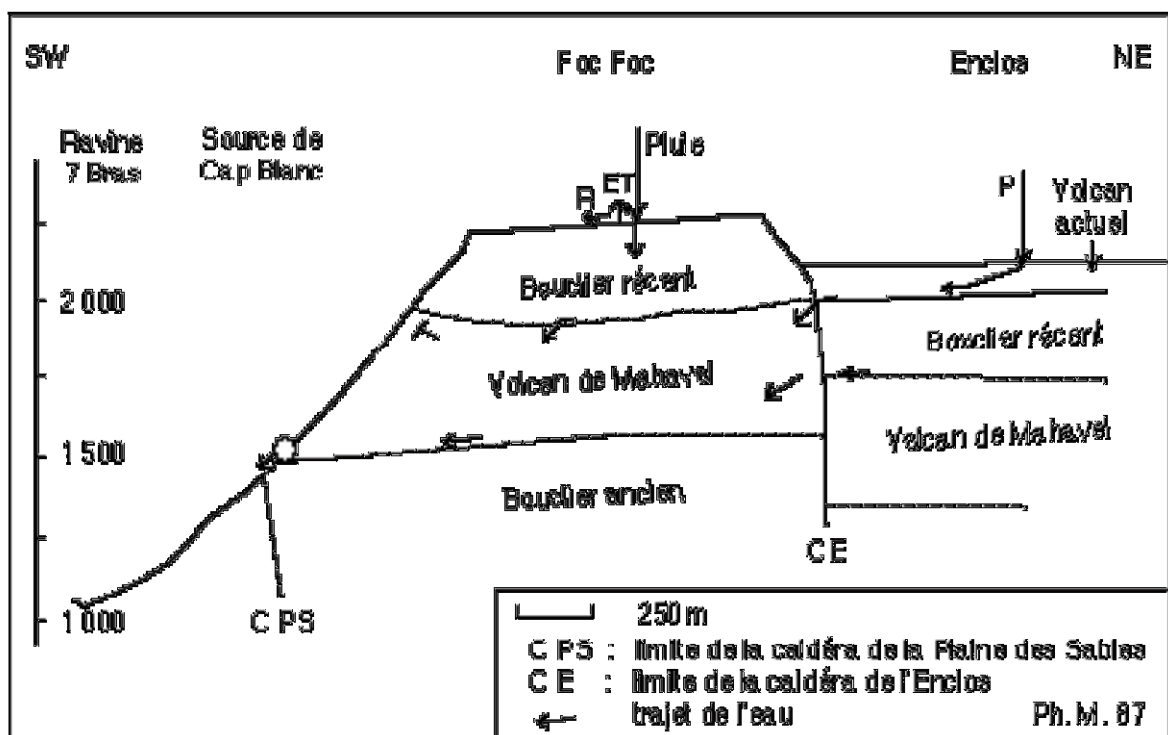
Dans la réalité, le trajet de l'eau infiltrée est plus complexe ; elle passe par une suite de parcours souterrains et aériens. Imaginons par exemple une goutte de pluie tombée dans la partie sud-ouest de l'Enclos ;

- elle s'infiltré très vite et suit la pente des niveaux imperméables recouverts par les laves récentes (fig 8),

- elle ressort au niveau de la source de Cap Blanc, tombe de la falaise dans la Ravine 7 Bras, suit cette rivière jusque vers la cote 830 (fig 19),

- elle s'infiltré de nouveau dans des alluvions actuelles (perte de la rivière) puis passe et circule dans une des coulées de vallée recouvertes par les alluvions qui drainent Grand Pays,

- elle réapparaît à Grand Galet.



*Fig 8 : Coupe hypothétique Enclos - Grand Pays (Langevin)  
avec circulation des eaux souterraines.*

Nous pouvons remarquer que les alluvions actuelles propres (c'est-à-dire contenant peu d'éléments fins) sont des aquifères ; à la sortie des trois cirques, les plaines alluviales contiennent de l'eau en quantité intéressante (voir fig 23).

### 3) L'arrivée de l'eau souterraine en mer : les sources côtières.

Près de la côte, en mer ou à terre quand le relief le permet, il est possible d'observer ou de ressentir des arrivées d'eau plus froides que l'océan (voir B II) :

- bassin de Manapany
- bassin bleu à Terre Sainte
- embouchure de la Grande Ravine,
- cordon littoral de l'étang Saint-Paul,
- port de la Possession...

cette eau parvient à la côte après un trajet souterrain peu connu.

Au siècle dernier, des puits ont été creusés pour capter ce type d'écoulement : puits du Tremblet, des Arabes, des Anglais... d'autres ont été faits plus récemment à la Saline les Bains.

Remarque : L'eau qui émerge près de la côte est mélangée en proportion variable avec l'eau de mer ; elle est saumâtre.

Pour étudier une de ces pertes d'eau douce en mer, un forage de 63 m a été réalisé en 1989 dans le lit de la Grande Ravine à l'altitude 22 m ; après avoir traversé 12,4 m d'alluvions, l'ouvrage s'est poursuivi dans des coulées de lave sans traverser de mur imperméable.

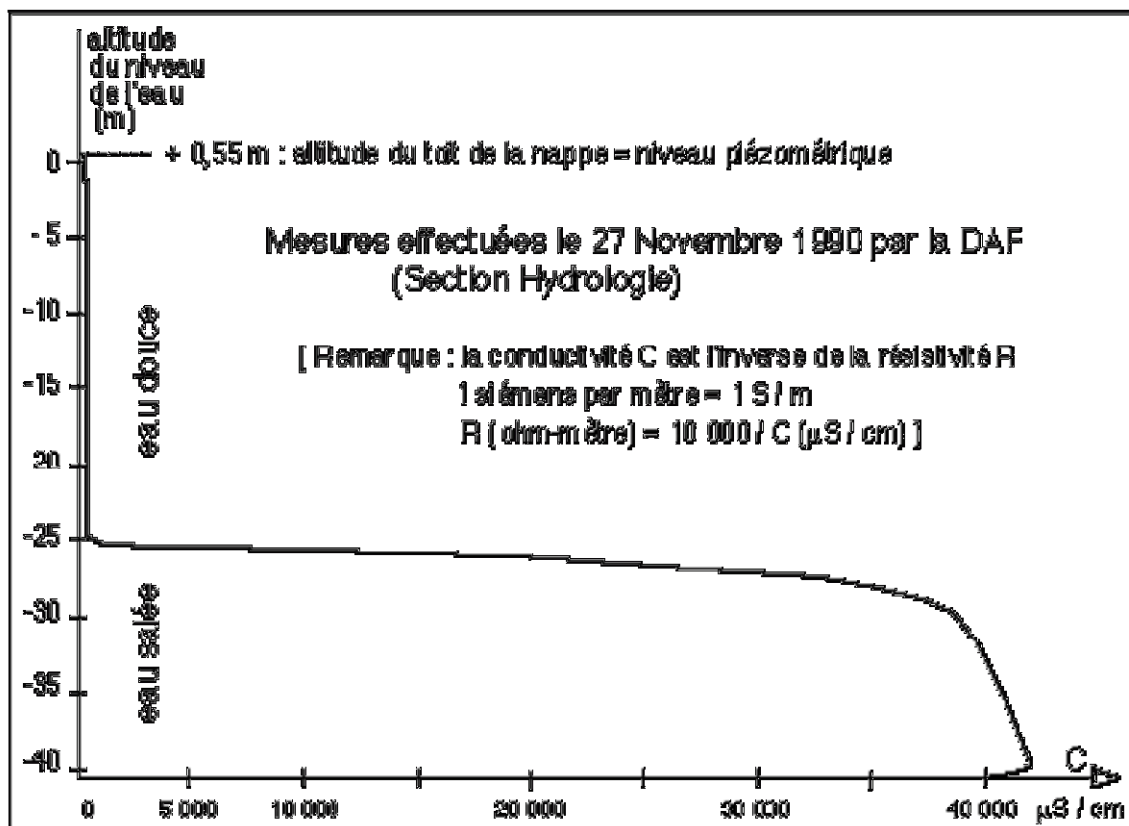
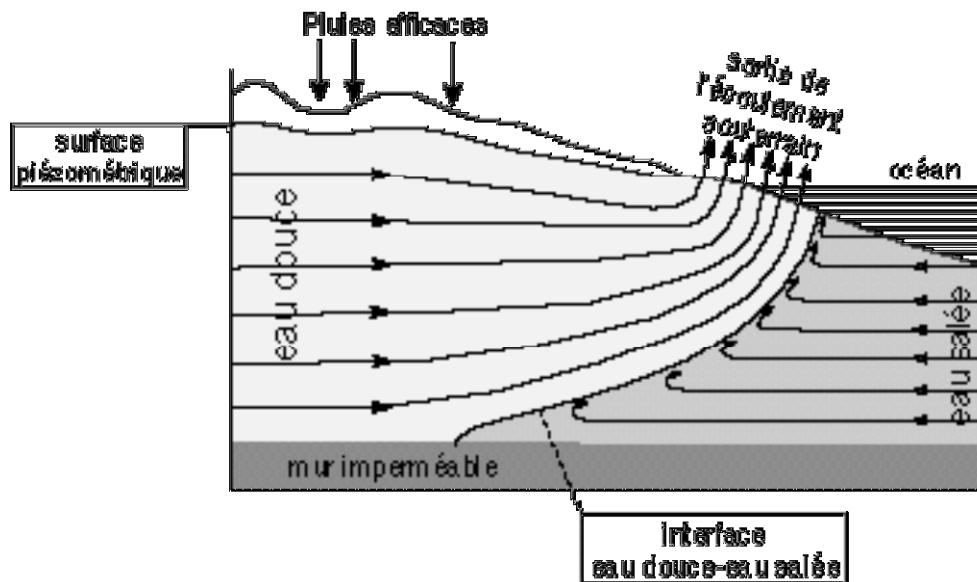


Fig 9 : Log de conductivité du piézomètre de la Grande ravine

Le 27 novembre 1990, des mesures de **conductivité** de l'eau ont été faites le long du forage (fig 9) ; ce jour-là, le niveau de l'eau (= niveau piézométrique) est

à la cote + 0,55 m. Entre -25 et -27 m, la conductivité fait un bond brutal de 500 à 40 000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . La capacité d'une eau à conduire le courant électrique étant en relation directe avec la quantité de sels minéraux dissous, l'accroissement de la conductivité traduit une augmentation de la salinité. Elle passe de 0,3 à 25 g / l environ : deux couches d'eau sont superposées, la plus légère, douce, surmonte une masse d'eau marine ; l'interface est appelée "**biseau salé**" (fig 10).



*Fig 10: L'arrivée de l'eau souterraine en mer (d'après CASTANY 1962)*

Ce phénomène est plus complexe que le modèle proposé dans la figure 10 ; selon l'importance des venues d'eau terrestres et la morphologie de l'aquifère, l'eau de mer avance plus ou moins loin de la côte ; les forages réalisés à de faibles altitudes doivent être implantés après des reconnaissances poussées (voir III).

L'étude de ces quelques sources nous a fait découvrir l'hydrogéologie. Les notions d'aquifère, de mur imperméable et d'alimentation d'une nappe seront développées dans les chapitres suivants.

## II - Alimentation des nappes d'eau souterraine : les entrées

### Notions étudiées :

**Evapotranspiration** : phénomène par lequel l'eau, proche de la surface du sol peut être soustraite par évaporation physique ou prélevée par la végétation.

**Infiltration** : passage de l'eau à travers la surface du sol avec mouvement descendant de l'eau dans la zone non saturée jusqu'à la zone saturée.

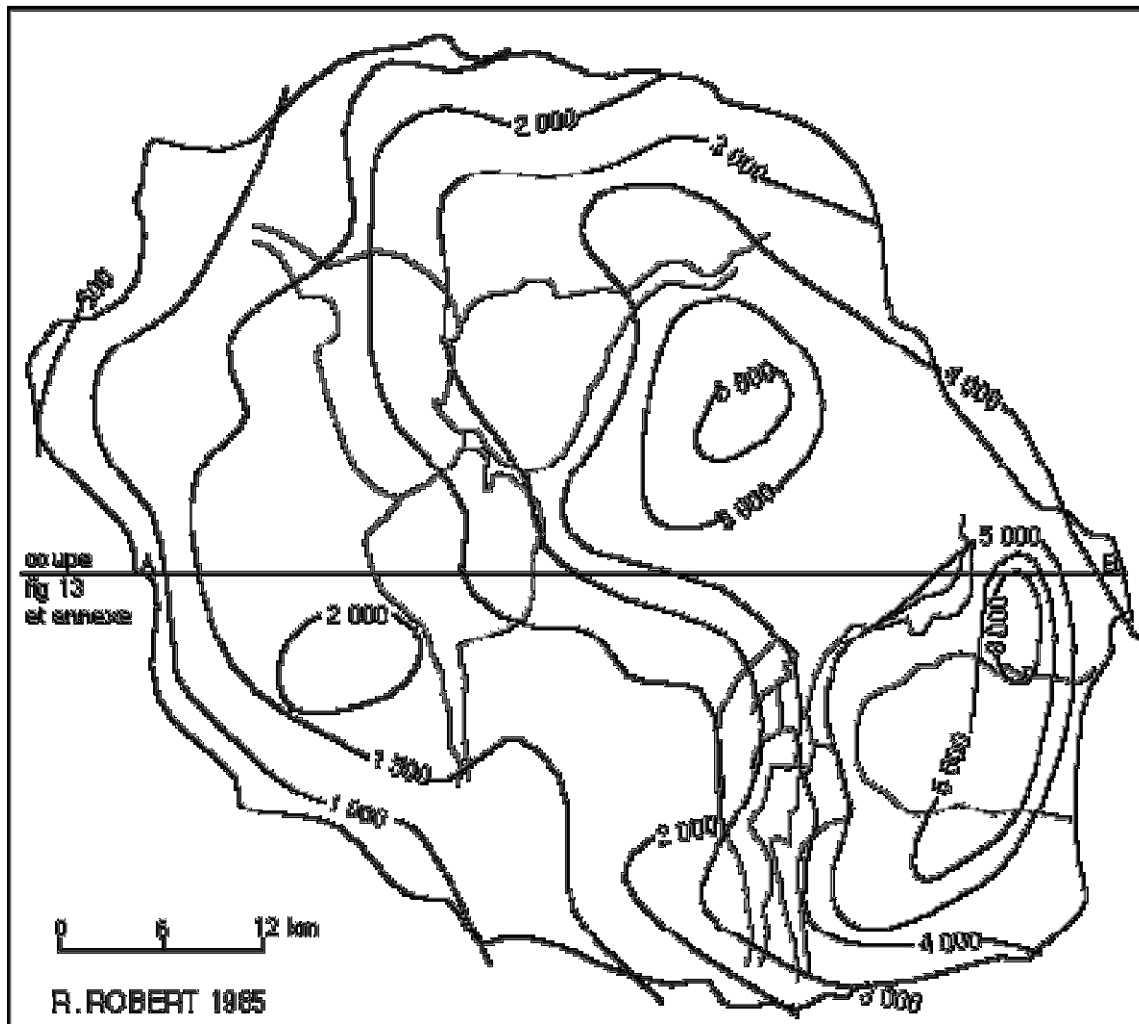
**Pluie efficace** : ensemble de l'eau pluviale qui ruisselle et de l'eau qui s'infiltré.

**Ruissellement** : écoulement des eaux de pluie à la surface du sol.

Nous avons vu dans ce qui précède, la relation étroite qui existe entre le débit des sources et les pluies assez fortes.

### 1) Les pluies

Chaque année, le Service Régional de Météo France publie un Bulletin climatologique reprenant, entre autre, la pluviométrie mensuelle des stations.



*Fig 11 : Pluviométrie moyenne annuelle (en mm), période 1958 - 1980*

Les données de 1958 à 1980 ont été étudiées par R. ROBERT (voir bibliographie) ; il définit cinq types de perturbations qui peuvent être regroupés en trois pôles principaux :

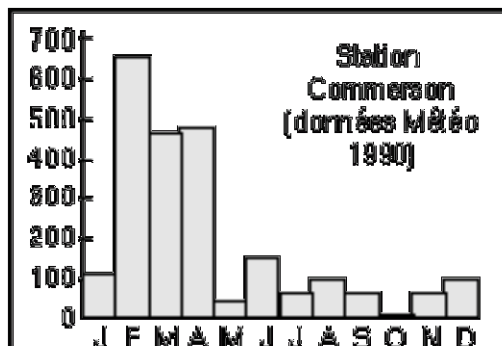
- les pluies liées aux circulations d'alizés (qui ventilent l'île 3 jours sur 4),
- les pluies de perturbations tropicales, occasionnelles mais toujours abondantes, elles sont parfois dévastatrices mais comptent beaucoup pour la recharge des nappes,
- les pluies de perturbations non tropicales, de moindre importance.

Ces pluies sont irrégulièrement réparties dans l'année (fig 12) et le climat tropical humide de l'île se résume en 2 saisons :

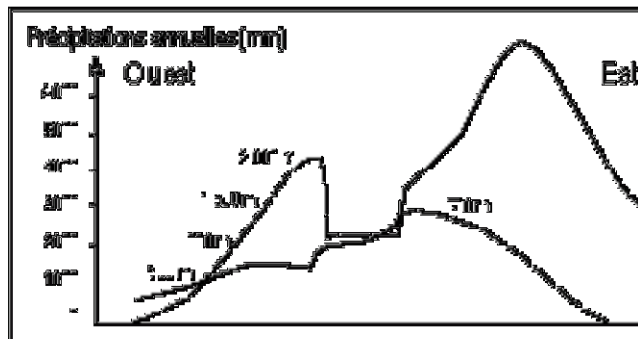
- une saison chaude et humide,
- une saison "hivernale" fraîche et sèche ;

nous verrons que seules les pluies de la saison chaude peuvent recharger les nappes.





*Fig 12: Histogramme des pluies mensuelles en mm.*



*Fig 13: Coupe altitude - précipitations simplifiée; (M. RAUNET 1991)*

La répartition spatiale des précipitations est complexe (fig 13) : le versant "au vent", soumis aux pluies d'alizés, reçoit de 2 à 9 m d'eau par an alors que le versant "sous le vent" ne reçoit que 0,5 à 2 m par an.

## 2) La partition due au sol (voir P. THONON, Bull. APBG 4, 1984)

Nous avons montré, figure 2, les trois devenir des eaux de pluie : le ruissellement, l'évapotranspiration et l'infiltration.

### a- Le ruissellement (voir données ORE)

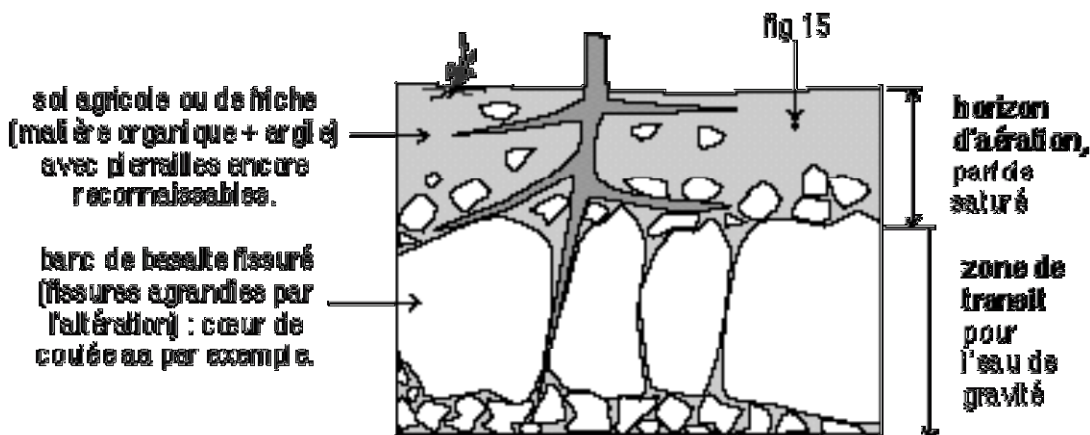
Il dépend de nombreux facteurs :

- du sol, résultant de l'altération des roches superficielles. Par exemple, le sol récent de la Plaine des Sables, laisse passer la quasi-totalité de l'eau ; à l'opposé, les terrains anciens de la Montagne sont imperméables,
- du couvert végétal ; la forêt permet la formation d'un sol capable de retenir l'eau ("la forêt est une éponge"). Des sources de faible débit ont un réservoir de ce type ; par contre, un sol argileux, fraîchement érodé ou nettoyé ne laissera rien passer verticalement,
- de la pente ; la forte déclivité de notre île favorise le ruissellement,
- et de l'intensité de la pluie : quand elle dépasse ce que le sol est capable d'absorber, une grande partie de l'eau des averses ruisselle en surface.

Remarque : Un des grands problèmes de la Réunion est **l'érosion** de son sol ; les ravines charrient trop souvent une eau boueuse provenant des terres agricoles. Les étudiants du Laboratoire de Géographie Physique, sous la responsabilité de J. BOUGERE, ont mesuré les départs de terre dûs au ruissellement ; par exemple pour une parcelle sarclée une fois par mois : 24 t / ha / an en moyenne ; en 87-88 : 284 t / ha ! le cyclone Clotilda et les pluies de Février 88 ayant été particulièrement érosives.

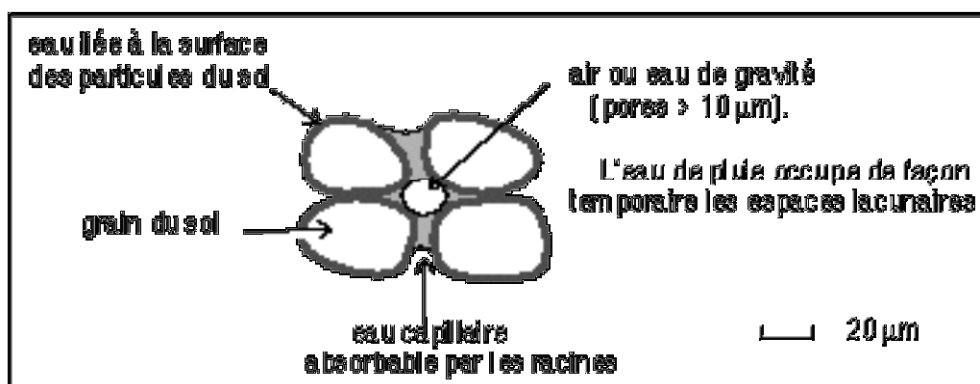
### b- Que devient l'eau qui a pénétré dans le sol ?

Nous représentons dans la figure 14 une coupe géologique possible d'un terrain volcanique superficiel.



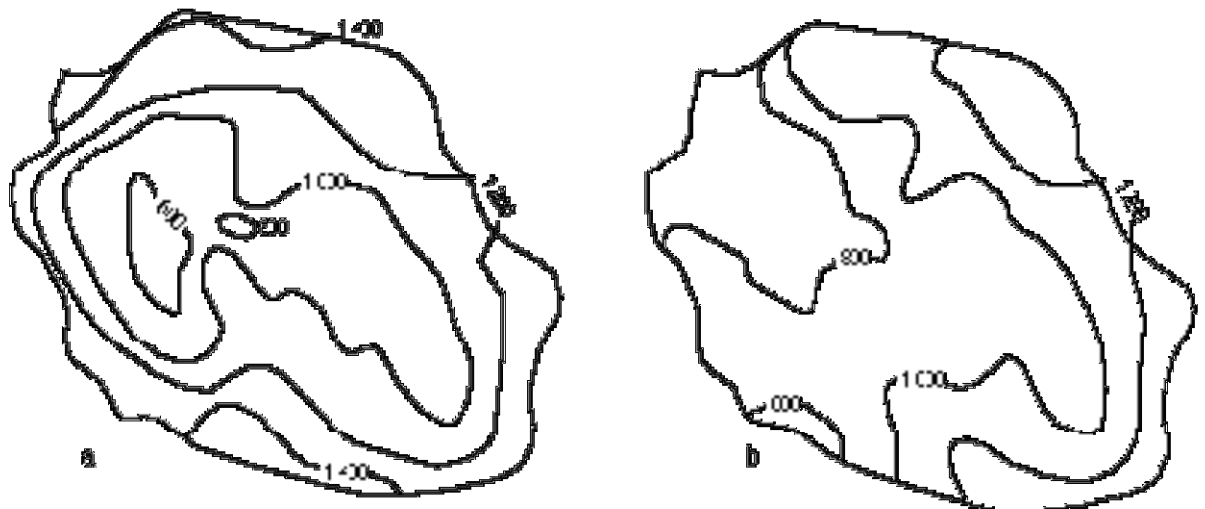
*Fig 14 : Coupe d'un sol sur coulée âgée d'une dizaine de milliers d'années.*

Les sols ont généralement une structure poreuse ; après une pluie, les espaces vides entre les particules solides du sol (pores) seront partiellement remplis d'eau.



*Fig 15 : Les formes de l'eau dans le sol (d'après DUCHAUFOUR)*

Le plus souvent, l'eau non liée (aux particules du sol, voir fig 15) retournera dans l'atmosphère par la transpiration des végétaux (voir annexes) et un peu par évaporation ; la réunion de ces deux phénomènes sera appelée "évapotranspiration" (ET).



*ETP : l'évapotranspiration potentielle est l'ET maximale d'un couvert végétal bien couvert, abondamment pourvu en eau*

*l'ETR est l'ET réelle ; cette grandeur prend en compte la quantité d'eau réellement disponible pour les végétaux*

**Fig 16 : Valeurs de l'ETP (a) et de l'ETR (b) en mm / an**

*Moyennes annuelles de la période 1971 - 1981 ; d'après A. BARGEAS 1984.  
(Remarque : la concordance ETP-ETR de la partie est de l'île)*

Si la pluie est importante (saison des pluies), les lacunes du sol seront pleines d'eau, le sol sera **saturé** ; si cette saturation est entretenue par des pluies de longue durée ou par un apport de surface, l'eau contenue dans les pores de diamètre supérieur à 50  $\mu\text{m}$  d'abord, puis celle contenue dans des pores plus petits (mais > 10  $\mu\text{m}$ ) ne sera pas utilisée par les végétaux et descendra : **elle s'infiltrera** jusqu'à ce qu'elle rencontre un mur imperméable, alors elle rechargera une nappe.

Remarques : Cette dernière partie n'est vraie que si le sol est perméable.

S'il n'y a pas de sol et si les roches affleurantes sont fissurées ou divisées (Enclos, Plaine des Sables, Maïdo), toute l'eau ou presque s'infiltré.

De ce qui précède, nous définirons **l'infiltration efficace (IE)** par :

$$IE = P - (R + ETR).$$

En réalité, elle est difficile à quantifier car l'évapotranspiration réelle (**ETR** fig16) et surtout le ruissellement (**R**) ne sont pas connus avec précision.

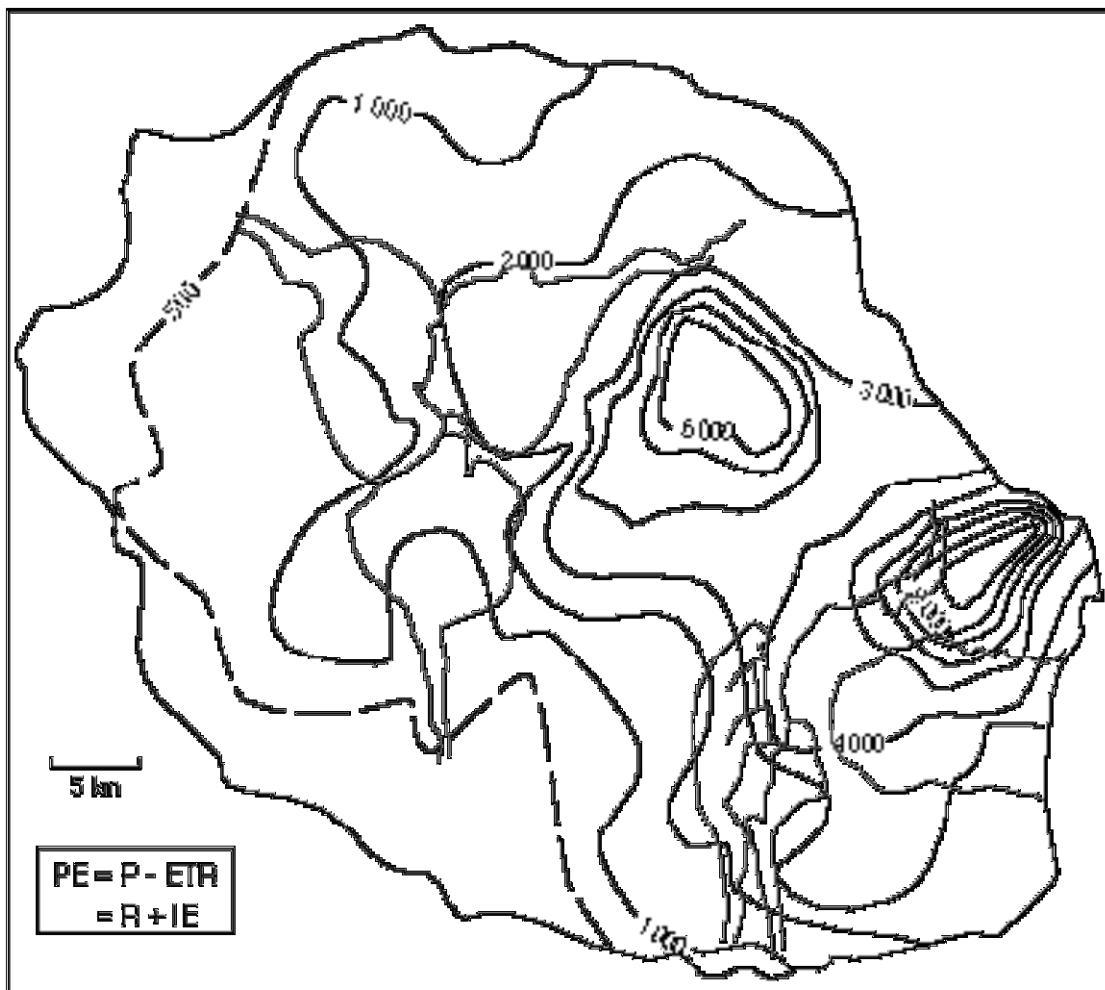
Deux cartes concernant l'évapotranspiration (fig 16) ont été construites par A. BARGEAS (BRGM 1984). L'évapotranspiration potentielle (**ETP**) est estimée par des calculs intégrant les différents paramètres météorologiques (température, ensoleillement...) ; pour un sol pourvu d'une végétation très couvrante. Elle est égale à l'ETR quand la hauteur de pluie est régulièrement supérieure à la demande des végétaux, c'est-à-dire quand le sol contient en permanence de l' "eau facilement mobilisable".

La part du ruissellement est largement méconnue pour diverses raisons ; TOUCHEBOEUF en 1960 propose quelques coefficients de ruissellement :

- 10 à 25 % (de la pluie) sur les pentes extérieures du Piton des Neiges,
- 20 à 30 % dans les cirques,
- 10 à 15 % sur la Plaine des Palmistes et la Plaine des Cafres,
- 0 à 15 % sur le Massif de la Fournaise (entre la Rivière Langevin et la Rivière de l'Est).

Le BRGM, dans l'Atlas hydrogéologique (1986) présente une carte des **pluies efficaces** ( $PE = IE + R = P - ETR$ ) issue des travaux de A. BARGEAS (fig 17).

Sur la côte ouest, cette pluie efficace (500 mm) est concentrée sur 4 mois par an.



*Fig 17: Carte des pluies efficaces pour la période 1971 - 1985 (d'après BRGM 1986) ; les isohètes sont en mm / an.*

Entre les zones d'infiltration et les sources se situe le domaine des nappes, objets de recherche pour les communes en manque d'eau.

### III - Les nappes d'eau souterraine

#### Notions étudiées :

**Carte piézométrique** : représentation cartographique de la surface piézométrique d'une nappe libre par des lignes équipotentiels (reliant les points de même altitude). Pour la construire, on mesure d'abord l'altitude de la surface de l'eau dans tous les ouvrages entrant dans la nappe puis on trace sur une carte les lignes équipotentiels (fig 23).

**Nappe d'eau souterraine** : masse d'eau comprise dans la zone saturée d'un aquifère, cette eau est généralement en mouvement.

**Perméabilité** : aptitude d'un milieu à se laisser traverser par un fluide ; elle s'exprime en m / s.

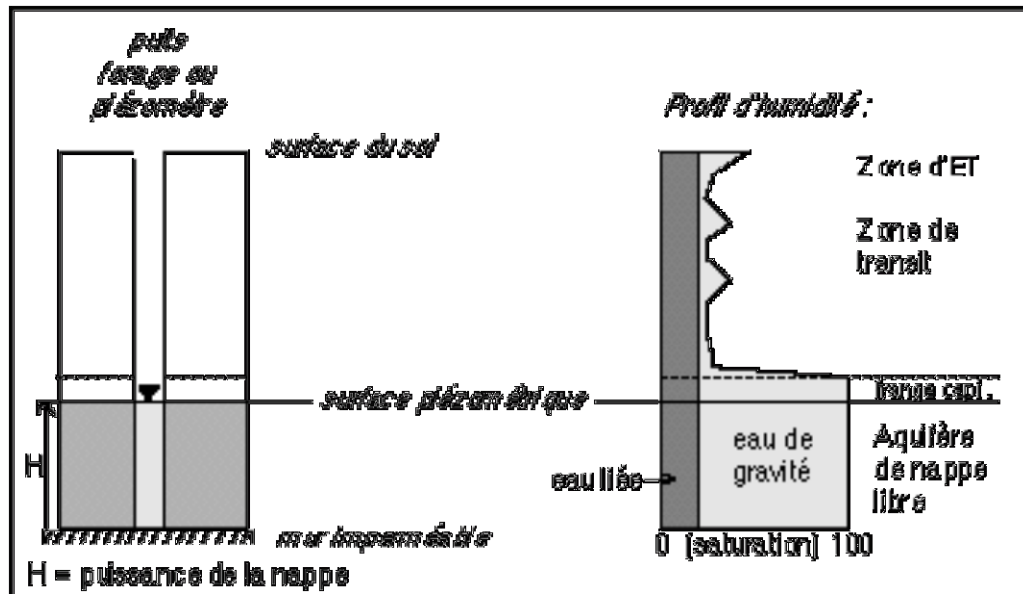
**Porosité efficace** : rapport du volume d'eau gravitaire qu'un milieu peut contenir à l'état de saturation puis libérer sous l'effet d'un drainage complet, à son volume total.

**Surface piézométrique** = surface libre d'une nappe (non captive) ; l'écoulement se fait le long des lignes de plus grande pente de cette surface.

#### 1) Qu'est-ce qu'une nappe d'eau souterraine ?

L'eau infiltrée descend (voir A II 2 b) et finira par rencontrer un niveau imperméable (ou le biseau salé), elle remplira alors les vides (d'un aquifère), fissures ou pores communiquant entre eux pour réaliser de bas en haut un niveau saturé ; la roche réservoir pleine d'eau est l'**aquifère saturé**.

La couche d'eau remplissant les vides d'un aquifère saturé est une **nappe d'eau souterraine**, sa surface supérieure est appelée **surface piézométrique** ; pratiquement elle correspond au niveau de l'eau dans les puits.



*Fig 18 : Zonallé sol / eau souterraine (d'après CASTANY 1982)*

Remarque : La frange capillaire est alimentée par l'eau de la zone saturée remontant par ascension capillaire, sa limite supérieure n'est pas mesurable par des dispositifs simples ; seule la surface piézométrique l'est, elle définira en fait la surface de la nappe libre.

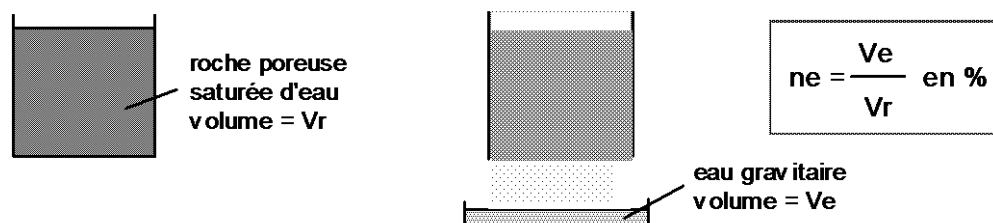
## 2) Comportement des roches vis à vis de l'eau souterraine

Nous définirons d'abord deux paramètres importants pour comprendre l'accumulation et la circulation des eaux souterraines : la porosité et la perméabilité.

- La **porosité**  $n$  est la propriété d'un milieu poreux ou fissuré, de comporter des vides interconnectés ou non

$$n = \text{volume des vides} / \text{volume total}, \text{ en } \%$$

En pratique, seule la porosité efficace ( $n_e$ ) est intéressante :



$n_e$  caractérise la capacité d'une roche à contenir de l'eau utilisable.

- La **perméabilité (K)** exprime la résistance du milieu à l'écoulement du fluide qui le traverse.

Le coefficient de perméabilité  $K$  a la dimension d'une vitesse et s'exprime en  $m / s$  :

- roche perméable :  $K > 10^{-4} m / s$
- roche semi-perméable :  $10^{-9} < K < 10^{-4} m / s$  (perméabilité "mauvaise")

- roche imperméable :  $K < 10^{-9}$  m / s (argiles).

### **a- les formations perméables = les roches réservoirs**

Les coulées de lave aa ("en gratons") et pahoehoe, sont généralement aquifères, leur grande porosité efficace ( $n_e = 10$  à 30 % selon E. CUSTODIO 1975 ; 8 à 10% selon G. CASTANY 1982) étant imputable :

- d'abord à la grande quantité de pores connectés au niveau des passages scoriacés ("gratons") des laves aa,
- aux fentes de retrait découpant les coeurs massifs de ces coulées (sauf dans les cas de coulées très épaisses),
- aux vides des coulées pahoehoe (tubes, contacts entre petites unités, fentes de retrait et de soulèvement...).

Le déplacement de l'eau souterraine est principalement horizontal car :

- la perméabilité horizontale des "gratons" est supérieure à celle des fissures,
- la perméabilité verticale diminue avec la profondeur du fait de la compaction.

*Remarque* :  $n_e$  peut être faible pour des coulées :

- épaisses (10m et plus),
- très compactées (gratons écrasés et cassures refermées),
- colmatées par des minéraux hydrothermaux.

Les projections des cônes scoriacés sont perméables, mais leur volume est très faible par rapport à celui des laves (volcanisme effusif), aussi ont-elles peu d'importance pour l'hydrogéologie des terrains basaltiques.

Des alluvions propres, peu ou non compactées peuvent constituer des aquifères, mais leur perméabilité est faible par rapport à celle des coulées : l'eau circule moins vite dans les alluvions que dans les gratons.

### **b- Les formations à faible perméabilité : les murs imperméables**

- *Les imperméables régionaux* :

\* Les pyroclastites argilisées émises lors d'éruptions hydromagmatiques paroxysmales : ces produits peuvent recouvrir de grandes surfaces ; c'est le cas des zones bordant les caldéras des Sables et de l'Enclos. Ces éruptions violentes pourraient être associées à des effondrements caldériques (P. BACHELERY 1981), les produits hydrolisés recouvrent alors tout le relief autour du point d'émission.

Les niveaux de sources de Grand Pays, inaccessibles, semblent dues à de tels substratums imperméables (fig 8).

\* Les paléosols, formés de matériaux volcaniques argilisés recouverts et fossilisés ensuite par des coulées.

\* Les formations profondes colmatées par des fluides hydrothermaux ; elles apparaissent au fond des cirques, des grandes rivières qui entaillent le Piton des Neiges, de Grand Pays et elles ont été mises en évidence dans le forage profond du Grand Brûlé.

• *Les imperméables de vallée*

\* Les alluvions anciennes hétérogènes, les coulées boueuses (écroulements en masse de matériel volcanique) deviennent imperméables quand elles sont compactées à la suite d'un enfouissement sous des coulées plus récentes.

\* Les coulées de vallées épaisses, peu diaclasées.

Après la mise en place de ces roches et leur recouvrement, la vallée ancienne (**paléovallée**), dont le fond et les flancs sont imperméables (par altération ou nappage par des produits peu perméables) a pu disparaître, mais elle constitue un **drain majeur des écoulements souterrains** ; nous en avons vu un exemple à Grand Galet (fig 6).

Deux rivières, en cours de recreusement recueillent l'eau infiltrée dans les limites de leur ancienne vallée beaucoup plus étendue que l'actuelle : la Ravine Saint Gilles et la Rivière des Marsouins issue du cirque disparu du même nom.

### **c-Modifications apportées par les structures géologiques**

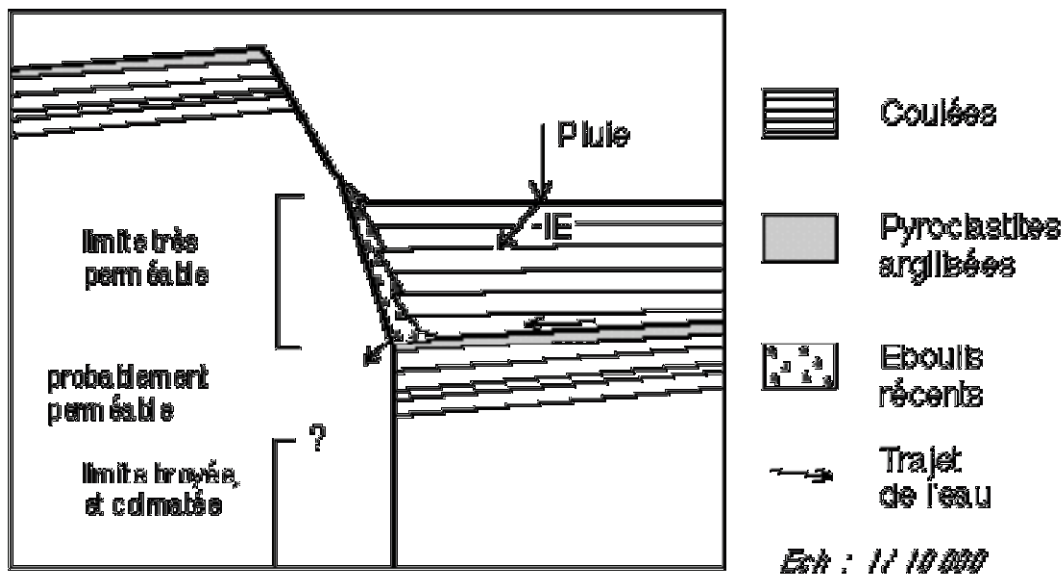
Le comportement de l'eau souterraine n'est pas simple dans certaines régions car l'accumulation des coulées de lave et des pyroclastites peut être compliquée par l'intrusion de cheminées volcaniques (dykes) et par des fractures aux propriétés hydrauliques variables.

Nous classerons ces structures en trois groupes :

- les structures perméables : failles en extension, dykes feuilletés, contact lave / falaise par éboulis (fig19);
- les structures sans influence : failles refermées sans colmatage ;
- les structures imperméables : failles colmatées par des dépôts hydrothermaux, failles avec zone broyée et argilisée, faisceau de dykes massifs sécants par rapport à la pente des coulées (rift zones hawaïennes).

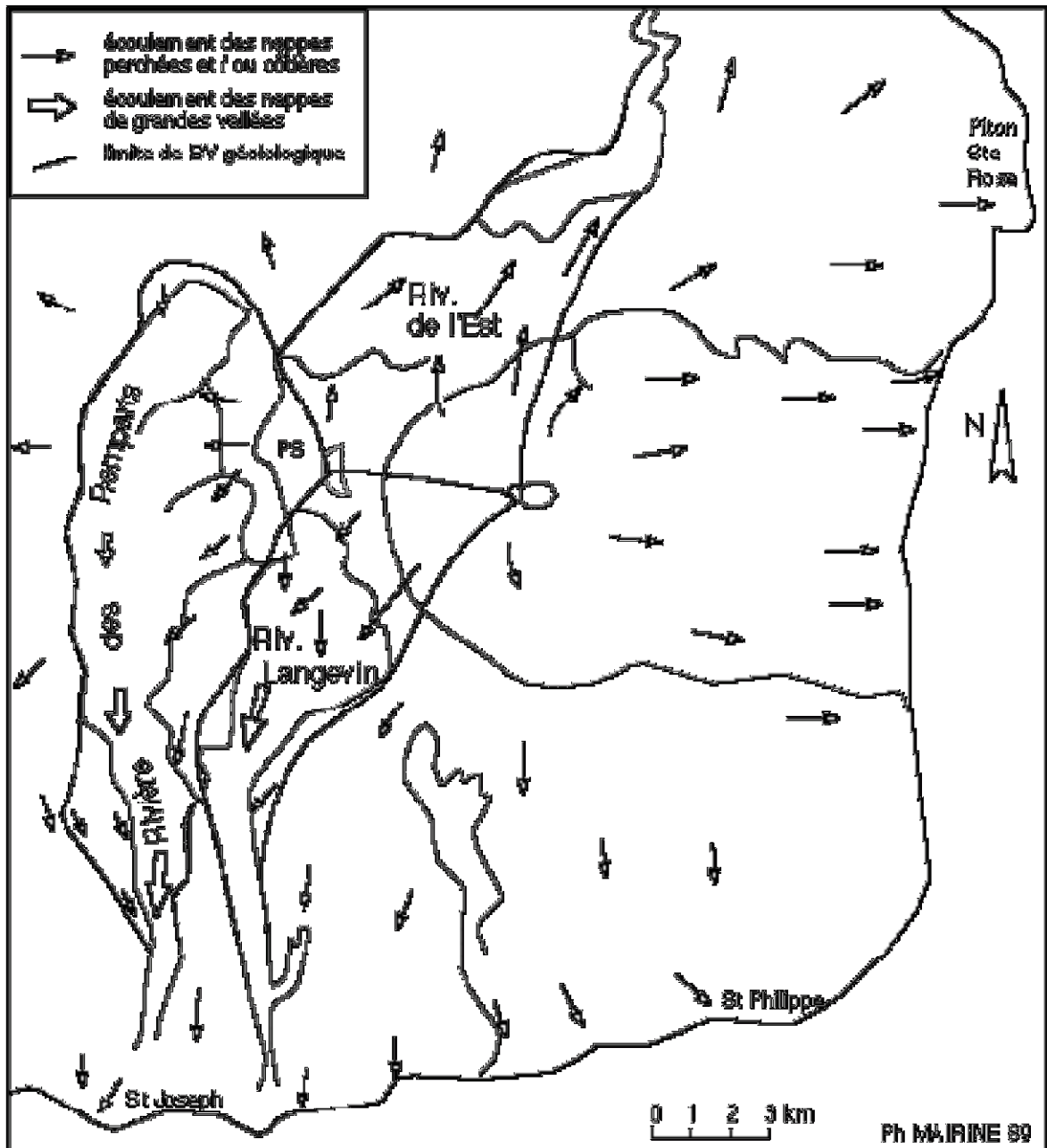
Le comportement de l'eau souterraine au contact des limites caldériques ne peut pas être observé directement. Cependant, l'étude des sources de Grand Pays (Rivière Langevin), des affluents de la Rivière des Remparts et de la Rivière de l'Est ainsi que l'observation des limites du pit-crater effondré le 29 Mars 86 dans le Dolomieu ont permis l'élaboration d'hypothèses reprises dans les figures 8 et 19.





*Fig 19 : Coupe au niveau d'une limite caldérique*

L'étude des sources et une meilleure connaissance des structures anciennes du Volcan ont permis de comprendre comment l'eau circule dans le Massif de la Fournaise. L'ensemble des informations est résumé dans la figure 20.



*Fig 20 : Bassins versants géologiques (BV géologiques) des grandes rivières et écoulement supposé de l'eau souterraine dans le Massif de la Fournaise.*

### 3) Les nappes d'eau souterraine à La Réunion

Nous entrons ici dans un domaine incertain où de jolies hypothèses ont été assassinées par d'horribles forages improductifs ou saumâtres ; en effet, il y a un monde (à la Réunion) entre les descriptions ponctuelles des points d'eau et la généralisation des données ; deux forages implantés à 100 m l'un de l'autre peuvent être différents car l'eau souterraine, quand on s'éloigne de la côte, s'écoule le plus souvent dans des paléovallées ; les nappes seront donc étroites et un puits creusé dans l'axe d'une ancienne vallée sera productif, un autre 100 mètres à côté restera sec.

Dans la zone littorale, là aussi, les secteurs intéressants sont peu larges et, pour compliquer le tout, l'eau marine peut envahir des bandes longues de plusieurs centaines de mètres à la faveur de tubes de lave ou de structures très lacunaires ; ailleurs, les alluvions côtières ralentissent les sorties d'eau douce et favorisent la formation de nappes littorales (J. L. JOIN 1992).

La recherche des nappes et surtout des zones d'écoulements souterrains préférentiels n'est donc pas évidente.

Le seul domaine où ont été appliquées les théories continentales avec un succès visible, est celui des deltas alluvionnaires, à la sortie des trois cirques (voir fig 23).

Nous retrouvons dans la figure 21 les différents types de sources étudiées dans le paragraphe A-I :

- source 1a : source perchée (type Gabriel),
- source 1b : source perchée de paléovallée latérale, son débit peut être important (ex : source Casala dans la Rivière des Remparts),
- source 2 : source de grande rivière (type Grand Galet),
- source 3 : source côtière, étroite (ex : port de Vincenzo).

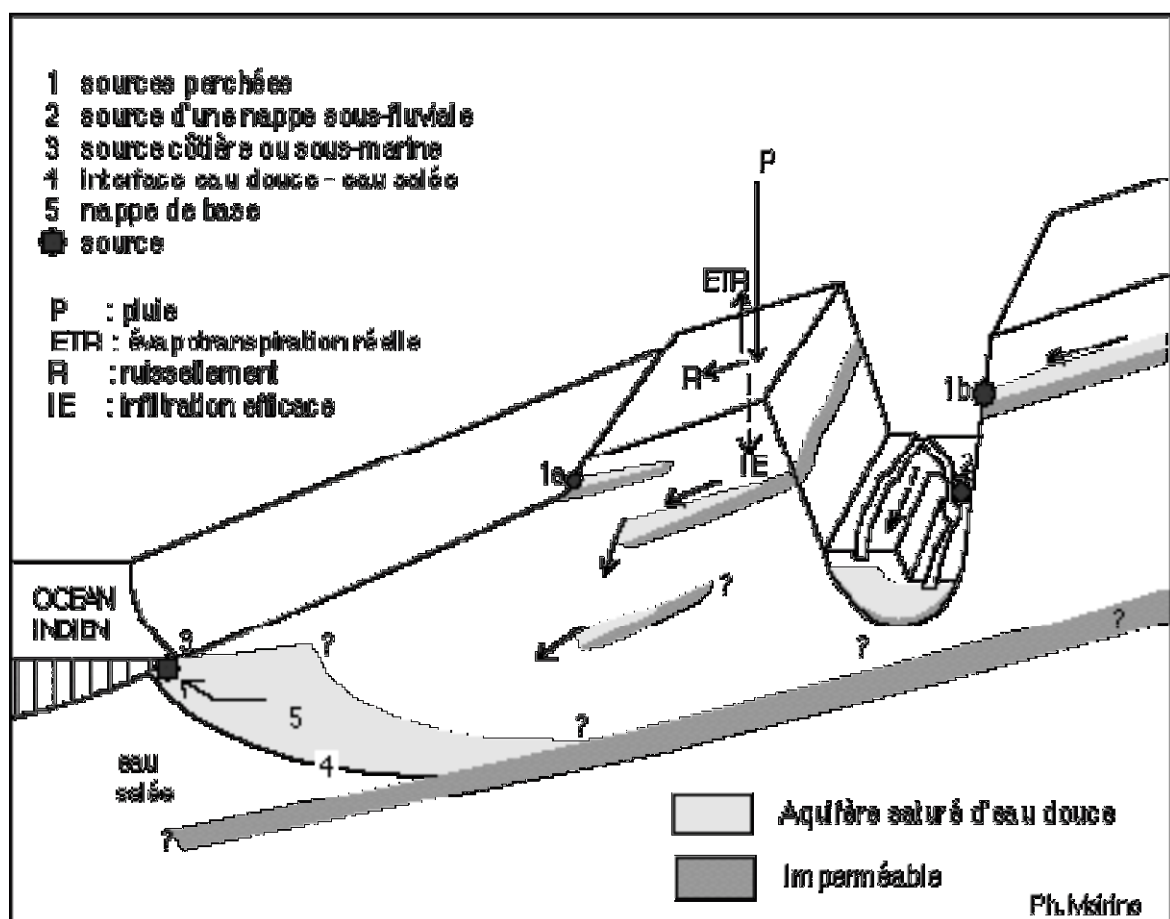
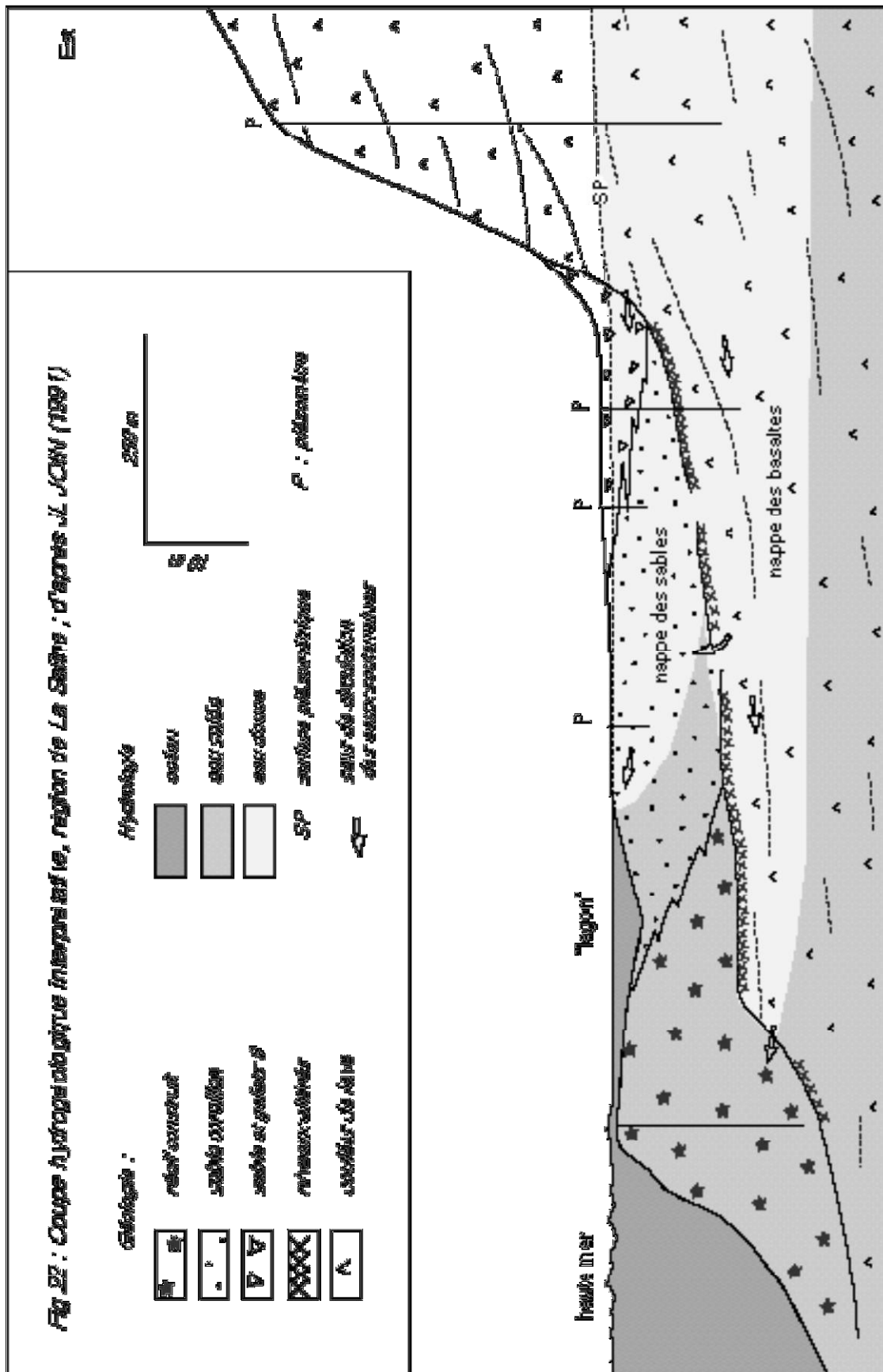


Fig 21 : Esquisse des structures aquifères du Massif de la Fournaise



La figure 22, extraite de la thèse de J. L. JOIN (1992), résume plusieurs années de recherche sur la zone ouest. Deux nappes superposées sont alimentées par "l'eau des basaltes" avec un débit calculé, pour une période d'étiage, de 3,2 l / s pour 100 m de côte.

Les nappes alluviales, représentées fig 23 font l'objet d'un suivi quantitatif et qualitatif depuis plusieurs années pour la ville du Port.

La mesure de la cote de la surface d'une nappe dans :

- les puits : ouvrages où un homme peut descendre (en général tout ouvrage entrant dans une nappe pour puiser de l'eau),
- les forages : ouvrages forés et équipés d'une pompe,
- les piézomètres : forages sans pompe,

permet d'établir une **carte piézométrique** représentant la surface de cette nappe ; elle se lit comme une carte topographique, les lignes de courant suivent les lignes de plus grande pente (= de plus grand **gradient hydraulique : i**), perpendiculaires aux isopièzes (courbes de niveau de la surface piézométrique).

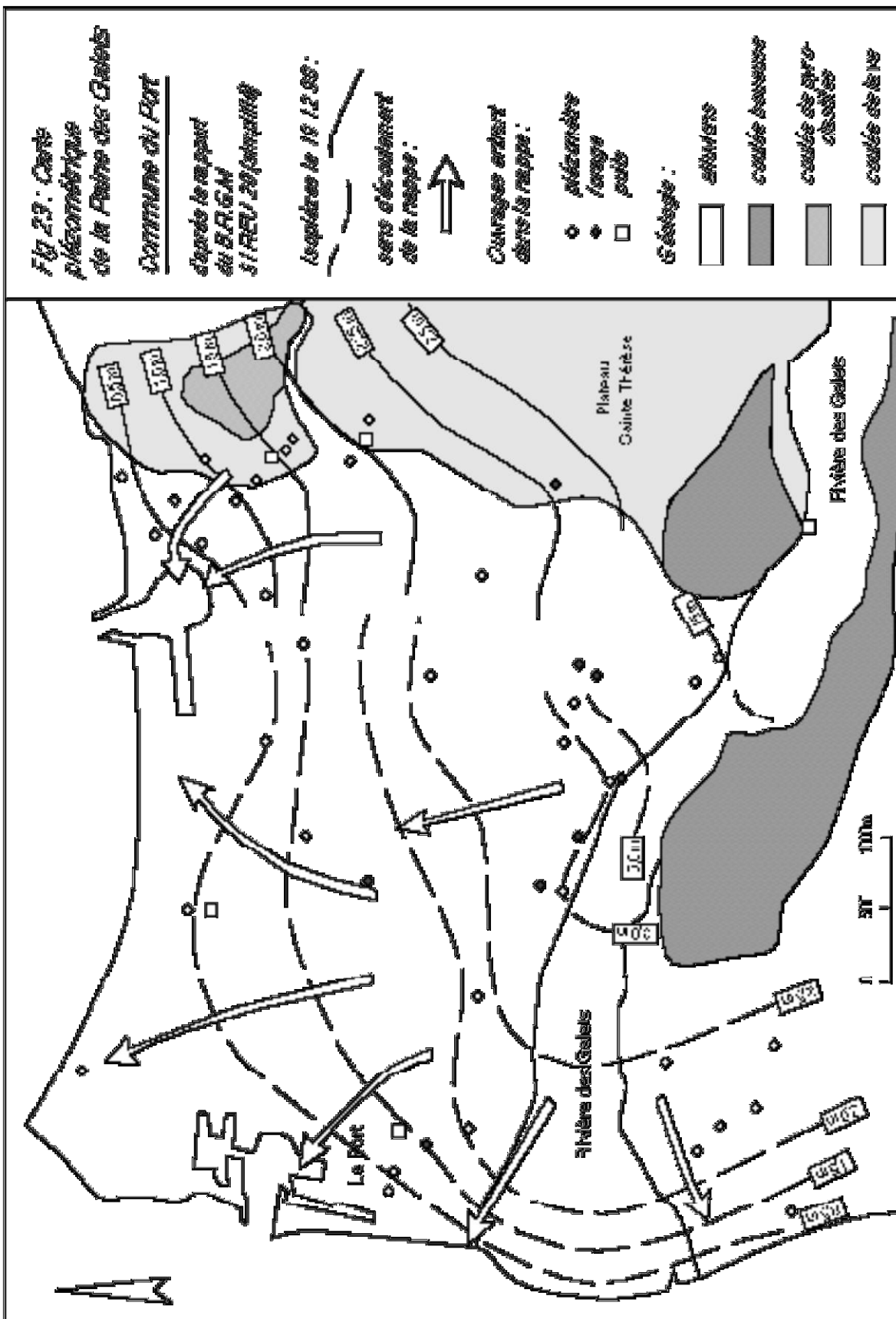
Quand on connaît aussi la perméabilité de l'aquifère (K), son épaisseur (= puissance H), sa pente (i), on peut calculer un débit théorique de la nappe à travers une section de longueur L :

$$Q \text{ (m}^3\text{/s)} = K \text{ (m/s)} \times H \text{ (m)} \times L \text{ (m)} \times i$$

Ceci n'est valable que pour des terrains homogènes et pour une nappe d'épaisseur régulière ; ce qui est rarement le cas à la Réunion.

Remarque : Nous ne parlerons pas dans ce fascicule de "nappes captives". [Une nappe de ce type remplit tous les vides d'un aquifère coincé entre deux niveaux imperméables (voir CASTANY)].

Les nappes existent, mais il faut les localiser puis en tirer profit pour le développement de l'île ; malheureusement, elles ne sont pas également réparties dans notre département ; par exemple, les régions où la pluie efficace est peu importante (côte ouest) et celles où des structures souterraines dévient l'eau latéralement (Petite Ile) ne peuvent pas posséder de nappes à débit élevé.



## B - RECHERCHE, EXPLOITATION ET GESTION DES NAPPES D'EAU SOUTERRAINE

### Notions étudiées :

**Débit optimum** : ensemble des prélèvements d'eau jugés possibles dans un aquifère sans risque de provoquer une surexploitation = débit de production assuré.

**Forage** : puits de petit diamètre creusé mécaniquement et destiné à l'exploitation d'une nappe d'eau souterraine ou d'un réservoir de pétrole.

**Périmètre de protection** : domaine délimité autour d'un captage (source, puits) dans lequel diverses mesures sont prises dans le but de protéger la qualité de l'eau contre les risques de pollution.

**Sondages électriques** : méthode permettant d'établir l'épaisseur et la résistivité des couches de terrain à la verticale du centre du dispositif de mesure (fig 26 et 27).

**Thermographie infrarouge aéroportée** : elle rend visible les températures de la surface survolée. En domaine côtier, elle met en évidence la répartition des masses d'eau de diverses origines (fig 25).

### I - Le captage des sources

Toutes les sources de la Réunion sont connues et fichées à la Banque de données du Sous Sol (BSS), gérée par le BRGM (voir annexe). L'ORE (Observatoire Réunionnais de l'Eau) possède aussi une banque de données sur les sources et les nappes de la région ; ses données et des synthèses sont immédiatement disponibles sur le service Minitel : 36 14 ORE.

Beaucoup sont captées mais les débits prélevés ne couvrent pas les besoins de l'économie et des habitants.

Quelques galeries de faible longueur ont été creusées au niveau de la source pour **améliorer le captage** ; elles permettent de concentrer des écoulements et de protéger les ouvrages, mais ce type de travaux doit être fait avec précautions pour ne pas détériorer l'imperméable et perdre la source.

La figure 24 présente les aménagements réalisés au Tévelave pour récupérer le maximum d'eau s'écoulant dans le Bras de Jeanne et ses affluents (voir aussi fig 4 : la source Gabriel).

Actuellement dans le département, deux galeries drainent des eaux souterraines d'un aquifère émergeant plus en aval :

- la galerie du Bras Guillaume, dans les Hauts de Saint Denis, le débit capté le 6 Juin 86 était de 44,3 l / s ;

- la galerie de Grand Galet (voir fig 6 et 7).



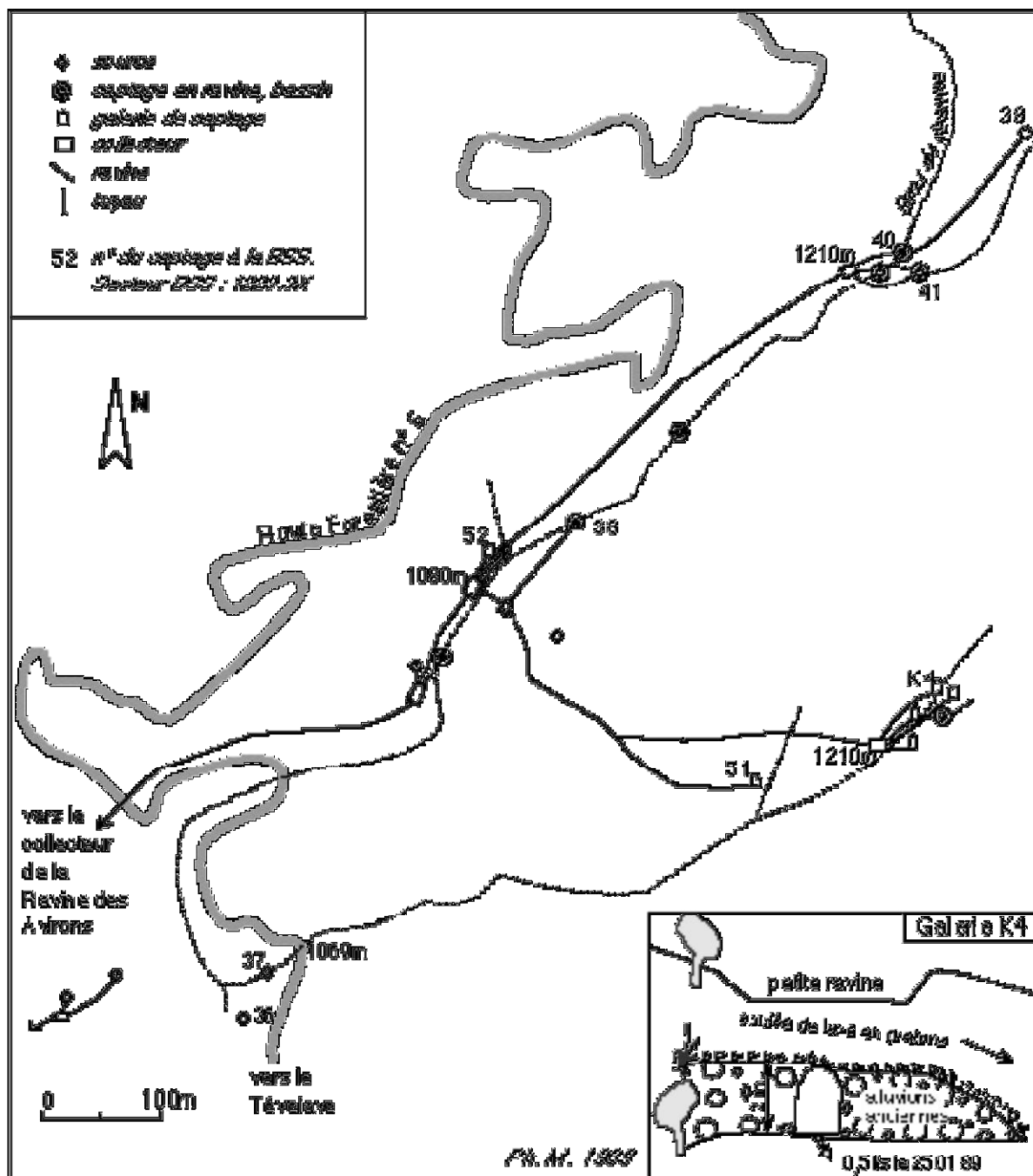


Fig 24 : Situation des captages du Bras de Jeanne et des galeries DDA

## II - La recherche de l'eau souterraine

A la Réunion la recherche d'eau souterraine est une science difficile, particulièrement sur la côte ouest. Pour mettre le maximum de chances de son côté, le bureau d'étude chargé de la prospection des gisements d'eau d'un secteur doit, après analyse de la documentation existante, allier des méthodes directes à des méthodes indirectes.

## 1) Les méthodes directes

Il s'agit essentiellement du levé d'une **carte géologique** à grande échelle (1 / 10 000<sup>ème</sup> par exemple) ; pour cela il est indispensable de sillonner d'abord le terrain avec cartes, boussole, photos..., et ensuite d'étudier des photos aériennes ou de satellites pour compléter des contours, mieux connaître les structures géologiques et parfois même les découvrir.

Ce travail constitue une première approche des formations aquifères probables, des structures guides d'écoulements souterrains (paléovallées, faisceau de dykes, failles...) et des zones d'infiltration.

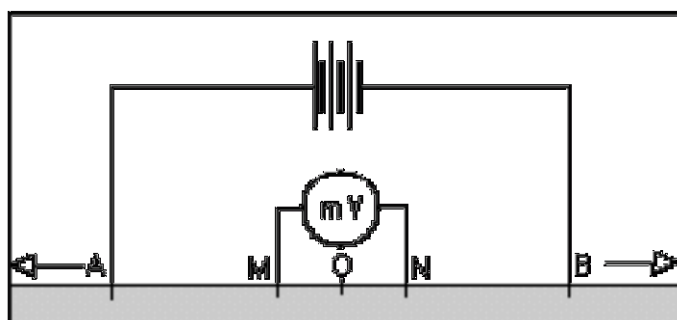
On peut consulter à ce propos la carte géologique et la notice de la Ravine Saint Gilles (P. BACHELERY et J. COUDRAY) éditées en 1988 par le Conseil Général.

## 2) Quelques méthodes indirectes

- Pour les zones côtières ouest et sud, le géologue dispose des résultats d'une campagne de **thermographie** aéroportée menée en Mai 1985 par l'Université de la Réunion.

La mesure à distance du rayonnement thermique infra-rouge de la surface de l'océan met en évidence les arrivées d'eau douce en mer (fig 25 et annexe) ; en effet, l'eau terrestre étant plus froide (20 - 22°C) que l'eau salée (24 - 26°C), le signal capté sera différent. A partir des points de sortie repérés, il faudra essayer ensuite de remonter les circulations préférentielles vers l'amont.

- Une méthode géophysique : le **sondage électrique**, consiste à envoyer un courant dans le sol entre deux électrodes A et B et de relever la différence de potentiel entre deux électrodes de mesure M et N (voir fig 26). En faisant varier les distances AB et MN sur une ligne droite, des calculs permettent au géologue d'établir une colonne (= log) indiquant une succession des couches de résistivités différentes à la verticale du centre O (fig 27).



*Fig 26 : Dispositif de sondage électrique*

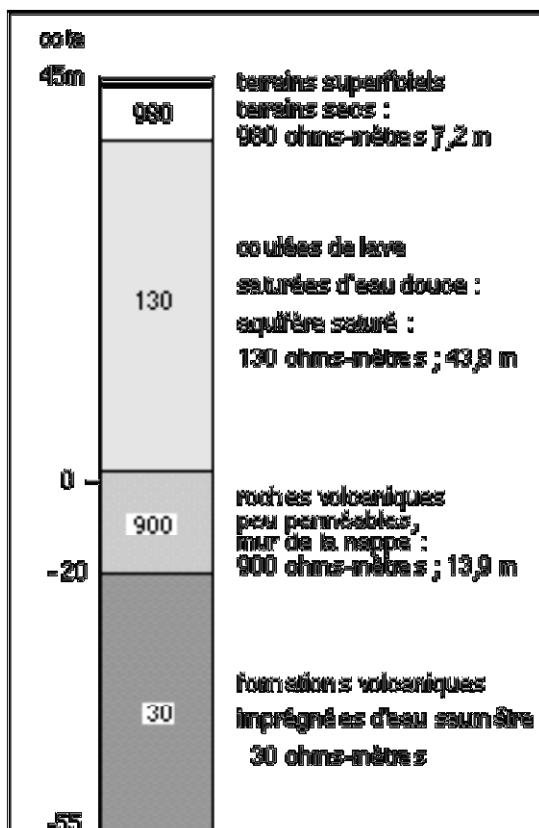
Remarque : Cette méthode reste d'utilisation délicate ; malgré l'emploi de logiciels performants, une connaissance sommaire des terrains reste fondamentale pour interpréter les données ; par exemple, l'épaisseur d'une couche de roche doit être estimée pour en déduire sa résistivité.

Exemples de résistivités :

- roches "sèches" : 1 000 - 9 000  $\Omega$ m,
- roches saturées d'eau douce : qq  $10^2$   $\Omega$ m,
- roches saturées d'eau saumâtre : qq  $\Omega$ m,

la profondeur d'investigation, de l'ordre de  $AB/10$ , atteint 100 m pour une ligne AB de longueur usuelle 1 km.

Quand les points de mesure sont nombreux, on construit une ou plusieurs cartes de résistivité du sous-sol à la même altitude (- 20 m ...). Le tracé des lignes d'isorésistivité visualisera les zones d'invasion d'eau saumâtre s'il y en a ou, au contraire les zones drainantes.



*Fig 27:*  
*Exemple de sondage électrique*

**Commune de l'Etang Salé**

**Sondage électrique P 11**

réalisé en 1985 par  
le Laboratoire de Géologie  
de la Faculté des Sciences

x = 55° 21' 20,3"  
y = 21° 15' 15,0"  
z = 45 m

• D'autres méthodes indirectes sont testées à La Réunion ; par exemple la polarisation spontanée (PS) qui a déjà été utilisée pour détecter les mouvements de fluides minéralisés dans la Fournaise ; elle semble prometteuse car il serait possible d'établir depuis la surface la carte piézométrique d'une nappe.

La géologie de surface, l'étude des travaux antérieurs et une ou deux campagnes de géophysique fournissent ainsi un faisceau de données permettant de délimiter une ou plusieurs zones supposées contenir des réserves d'eau souterraine appréciables ; il restera ensuite à vérifier ces hypothèses par forage.

### III - Exploitation d'une nappe par un puits ou un forage

#### 1) Réalisation d'un forage

Quelque temps après la remise du rapport de reconnaissance, un forage est implanté dans une des zones choisies par le bureau d'étude ou à proximité, car un chantier ne s'installe pas n'importe où.

Le géologue qui suit les travaux établit au fur et à mesure de l'avancement un **"log" de forage**, c'est-à-dire la description de la colonne lithostratigraphique des roches traversées par l'ouvrage. Pour cela :

- il étudie les "cuttings" (roches broyées remontées avec la boue ou la mousse de forage) ou, plus rarement, les "carottes" (colonnes de roches) ;
- il consulte le cahier de chantier où sont indiquées les vitesses d'avancement du forage (ce qui permet de repérer les niveaux tendres et durs) et la couleur de la boue (ou de la mousse) qui revient du fond.

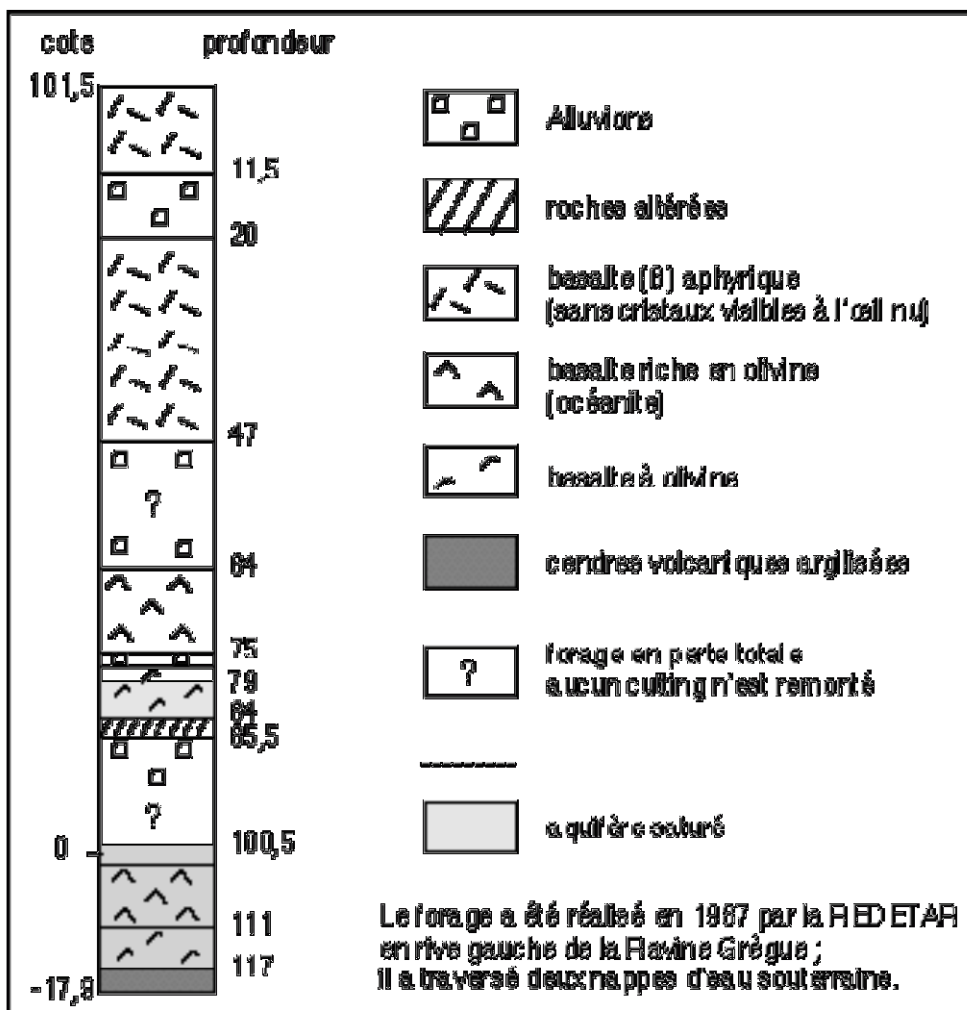


Fig 28 : Log du forage de Gréques (St Joseph) ; interprétation de l'auteur.

A la fin, il réalise des "diagraphies" ; ce sont des mesures en continu le long du trou, de divers paramètres physiques.

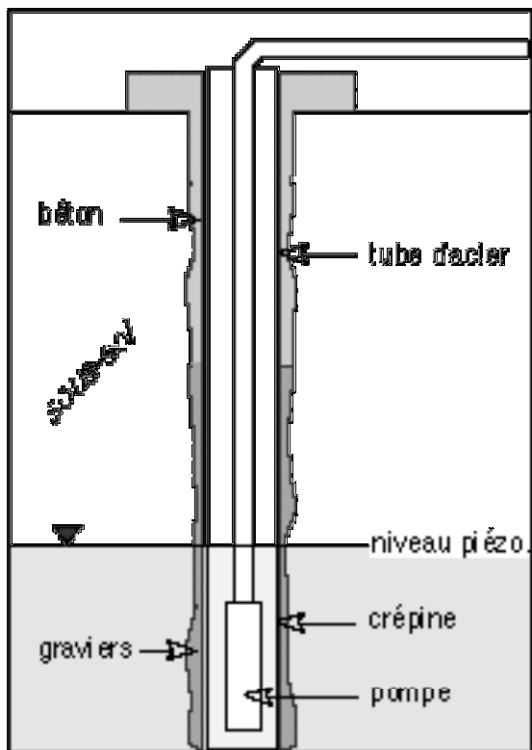
## 2) Equipement et essais de puits

Si le forage contient de l'eau douce et n'est pas entré dans le niveau saumâtre, il sera équipé puis testé.

### a- Equipement.

Le premier équipement consiste à installer dans le forage un tube d'acier troué ("crépiné") sur la hauteur de l'aquifère saturé.

Ensuite, l'ouvrage est "développé" : les foreurs effectuent des pompages par à coups pour extraire de l'aquifère la boue qui s'y est injectée et aspirer les éléments fins existant à ce niveau. Finalement, quand le puits sera propre, (pores et fissures du terrain dégagés) on placera autour de la crépine, un massif filtrant (graviers calibrés) et on bétonnera par dessus pour éviter les pollutions (fig 29).



*Fig 29 : Schéma simplifié d'un forage équipé.*

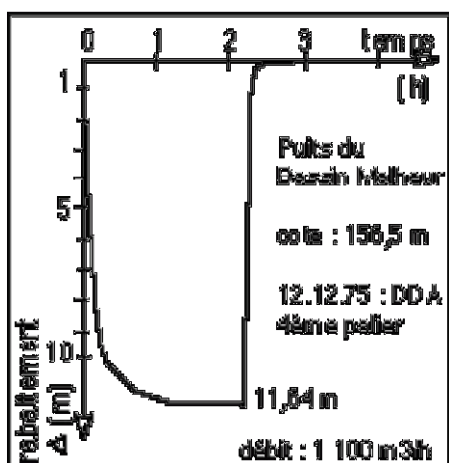
**b- Essais de puits**

Enfin on réalise une série de pompages de courte durée (1 ou 2h) séparés par des temps égaux de repos.

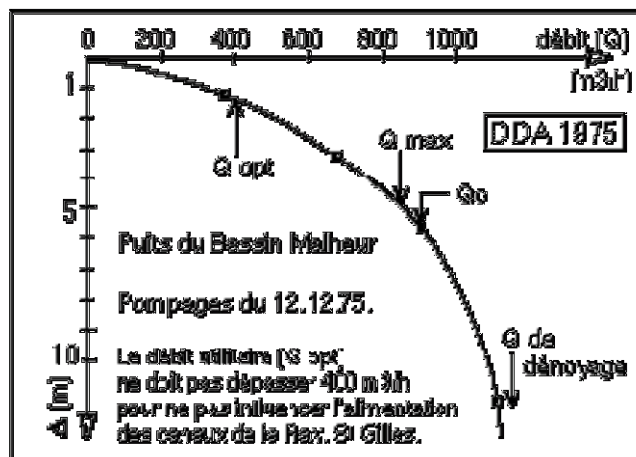
A chaque pompage à débit constant ("palier" de débit), on suit la descente du niveau de l'eau dans le forage : on mesure le rabattement  $\Delta$  (c'est à dire la mesure de la différence de hauteur entre le niveau initial et le niveau à un temps de pompage donné).

La figure 29 montre un palier réalisé dans le puits du Bassin Malheur (Ravine Saint Gilles) le 12 Décembre 1975.

Les rabattements des divers paliers sont ensuite reportés sur une courbe en fonction du débit (Q). Cette courbe caractérise le puits, c'est la fiche d'identité de l'ouvrage. Celle du puits du Bassin Malheur est représentée figure 31.



*Fig 30 : Essai de pompage*



*Fig 31 : Courbe caractéristique d'un puits*

Si certaines conditions de départ sont réalisées, cette courbe donne les caractéristiques de l'ensemble aquifère + ouvrage de captage avec, entre autre, l'indication du débit optimum d'utilisation ;

---> débit critique ( $Q_c$ ) : il correspond au point de la courbe où la pente devient forte ; au-delà, l'écoulement dans l'aquifère sera davantage turbulent, il y aura risque de colmatage par entrainement d'éléments fins et le pompage coûtera plus cher au  $m^3$  ;

---> débit maximum ( $Q_{max}$ ) : il correspond à un rabattement égal au tiers de la puissance (= hauteur) de l'aquifère saturé, traversé jusqu'à l'imperméable (le puits est alors "complet") ; généralement  $Q_c < Q_{max}$  ;

---> débit optimum ( $Q_{opt}$ ) : c'est le débit du prélèvement jugé possible dans un aquifère tout au long de l'année, sans risque de surexploitation ; pour cela sera fixé un "rabattement admissible" qu'il faut éviter de dépasser.

Remarque : L'eau de la ravine Saint Gilles, pérenne en dessous du Bassin Bleu (cote 230 m), provient d'une nappe complexe de grande paléovallée, son débit est intéressant toute l'année. Le puits du Bassin Malheur est le seul creusé en altitude.

### **c- le pompage d'essai de longue durée**

Il est exécuté à débit constant pendant au moins 42 h, avec suivi du niveau de l'eau pendant et après le pompage dans le forage et dans un autre forage de petit diamètre (piézomètre) situé à proximité.

Le pompage d'essai poursuit deux buts principaux :

- la mesure sur le terrain de quelques paramètres de l'aquifère ;
- l'observation directe en vraie grandeur de l'effet de l'exploitation sur l'aquifère et l'évaluation de la ressource en eau souterraine exploitable.

Remarque : A la Réunion, l'alimentation des nappes est irrégulière et il faut suivre les variations saisonnières de la surface piézométrique pour quantifier de façon réaliste le débit utilisable toute l'année. Selon les caractéristiques de la nappe et son alimentation, le niveau piézométrique peut varier de quelques décimètres à plusieurs mètres dans l'année. Par exemple :

- piézomètre P1B3 de la Plaine du Gol : variation maximale de 0,4 m au cours des années 89 à 91 (données ORE),
- piézomètre P1B2 de Saint Louis : variation maximale de 6,2 m au cours des années 86 à 91 (données ORE).

### **3) Chimie des eaux**

Les eaux de la Réunion sont peu minéralisées (sauf les eaux thermominérales étudiées en C) car le temps de séjour souterrain est bref (quelques jours à quelques années) à cause des fortes pentes de l'île et de la grande perméabilité des coulées de lave ce qui ne permet pas à l'eau de dissoudre des quantités appréciables de sels minéraux.

Voici par exemple l'analyse de l'eau émergeant dans la Rivière des Remparts à la cote 60 (Source Lebon) :

Date de prélèvement :	SiO <sub>2</sub> : 29,0 mg / l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> : 0,95 mg / l
19 Janvier 84	Ca <sup>++</sup> : 0,50 mg / l	Cl <sup>-</sup> : 0,0 mg / l
Temp. eau : 19°C	Mg <sup>++</sup> : 0,41 mg / l	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup> : 0,27 mg / l
Conductivité : 89 µS/cm	Na <sup>+</sup> : 0,24 mg / l	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> : 0,01 mg / l
pH : 7,3		PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> : 0,01 mg / l

Une autre analyse figure sur les étiquettes des bouteilles Edéna.

Dans notre département, les eaux souterraines non littorales sont généralement potables ; pour assurer une sécurité maximale vis à vis des agents pathogènes, elles sont systématiquement chlorées.

Une eau est "potable" quand elle répond aux normes physico-chimiques et bactériologiques fixées par la loi du 3 janvier 89. Elle devrait être limpide, sans couleur, sans saveur ni odeur, "équilibrée en sels minéraux" et ne pas comporter d'impuretés chimiques toxiques au-delà des normes admises ni de microbes pathogènes.

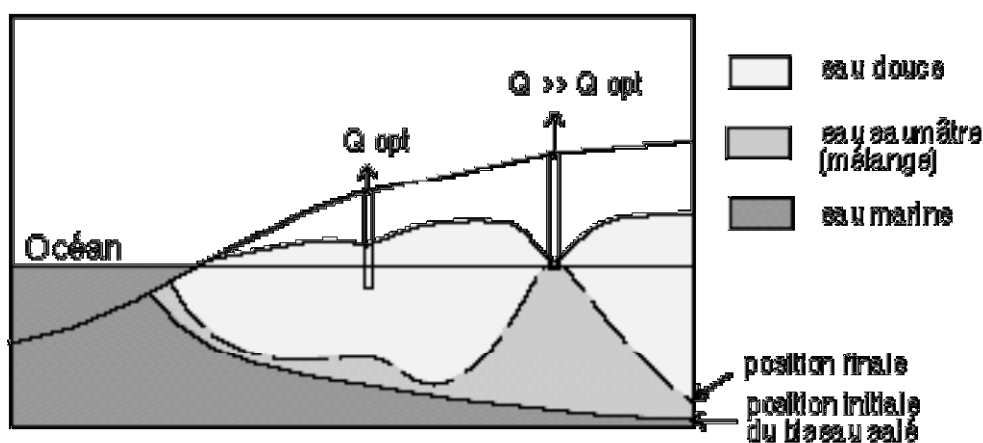


#### 4) Les risques de pollution

Deux pollutions menacent les eaux souterraines :

a • la remontée d'eau saumâtre par pompage excessif dans les aquifères côtiers. Si on abaisse trop le toit piézométrique, l'eau salée du biseau (voir fig 10 et 32) n'est plus contenue et remonte vers le puits ; certaines pelouses de la Saline les Bains s'en souviennent encore !

Le rétablissement de l'équilibre ancien peut prendre des mois.



*Fig 32 : Schéma illustrant l'effet d'un surpompage sur le biseau salé (F. BRISAUD 1988)*

b • des infiltrations de polluants dans les zones d'alimentation des nappes ou à proximité des captages ; contre cela, il faudrait établir des "**périmètres de protection**" pour protéger la qualité de l'eau captée. Ceux-ci n'ont pas encore été mis en place à la Réunion mais ce problème sera pris en compte prochainement par l'administration.

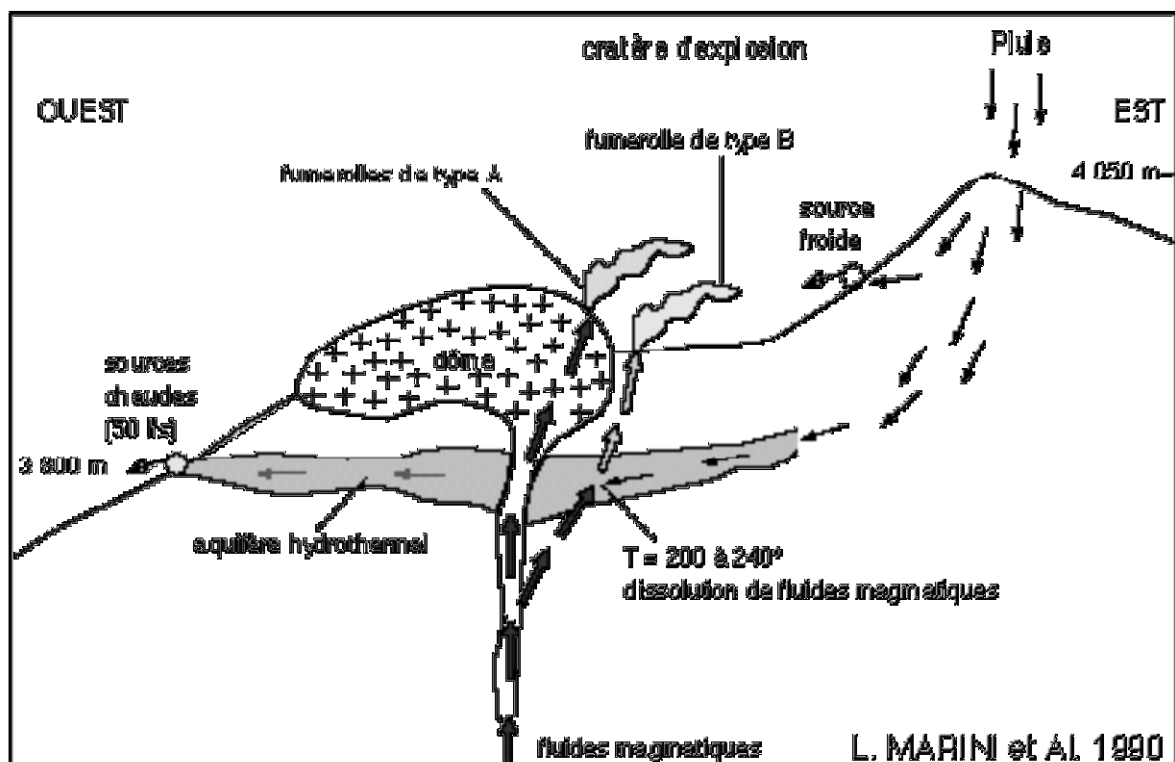
Remarque : Il ne faudrait pas croire, à la lecture de ce qui précède, qu'il suffit de creuser pour exploiter une eau souterraine en quantité illimitée. Celle-ci est mal partagée et certaines communes doivent se contraindre à choisir des projets économes en eau et prôner une politique respectant cette richesse.

## C - EAU SOUTERRAINE ET VOLCANISME

### I - Un modèle de circulations hydrothermales

La capitale de l'Equateur est située sur le flanc du volcan actif Guagua Pichincha ; au vu des risques volcaniques élevés de ce secteur, une étude des sources et des fumerolles a été entreprise par les géochimistes des universités de Pise et de Quito pour définir un marqueur quantifiant la montée en pression du magma.

Le modèle résultant de leurs travaux montre plusieurs formes d'activité hydrothermales d'un volcan (fig 31)



*Fig 33 : Circulations hydrothermales dans le volcan Guagua Pichincha (Equateur)*

### II - Les circulations hydrothermales à la Réunion

Dans les deux massifs volcaniques de La Réunion, la circulation des fluides chauds et minéralisés (fluides hydrothermaux) n'est pas encore parfaitement appréhendée ; la planche 9 de l'Atlas hydrogéologique (BRGM, 1986) présente une hypothèse plausible pour le Piton des Neiges.

Les eaux thermales de cet édifice ont une température comprise entre 29 et 42°C, leur minéralisation est élevée ; nous donnons comme exemple une analyse effectuée en 1978 par le BRGM de l'eau de la source Irénée alimentant les thermes de Cilaos :

Temp. eau : 38,5 °C (1978)	SiO <sub>2</sub> : 140 mg / l	
	Ca <sup>++</sup> : 172 mg / l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> : 1889 mg /
pH : 6,1	Mg <sup>++</sup> : 103 mg / l	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup> : 84 mg /
conductivité : 1913 μS/cm	Na <sup>+</sup> : 365 mg / l	

Lors d'une visite, le 25 Janvier 91 des mesures indiquaient une température de 37 °C et un débit de la source de 7 m<sup>3</sup> / h (2 litres / s).

A la Fournaise, seules des eaux recueillies dans la galerie d'accès à la prise EDF de la Rivière de l'Est présentent une conductivité "anormale" ; les analyses chimiques et isotopiques de ces fluides ont mis en évidence une contamination par du CO<sub>2</sub> magmatique (NICOLINI et Al 1989). Le suivi des caractères physico-chimiques de l'eau d'un ou deux points de sortie remarquables pourrait servir à détecter des montées de magma dans la partie nord-est du Volcan.

### III - Eaux souterraines et éruptions

En milieu basaltique, les éruptions sont généralement effusives ; mais quand le magma rencontre en profondeur de grandes quantités d'eau, il se produit plusieurs phénomènes simultanés :

- l'eau se vaporise --> la pression des gaz s'accroît énormément,
  - le magma réagit chimiquement avec l'eau, il y a hydratation du verre volcanique avec formation de palagonite jaune,
  - le magma devient plus visqueux ;
- tout ceci augmente considérablement l'explosivité du magma, l'éruption sera dite **hydromagmatique** ; le magma et les roches encaissantes seront pulvérisés et projetés haut et loin.

Les débris de magma vitrifiés sont appelés des hyaloclastites, ils se déposent, avec les morceaux de roches arrachés à l'encaissant, autour de la bouche éruptive en formant un cône surbaissé avec un large cratère.

Le premier piton Grand Anse, le Piton Vincenzo et le volcan de la Pointe du Gouffre en sont des exemples.

Au centre du Massif de la Fournaise, des éruptions ont été rendues paroxysmales par de grandes quantités d'eau infiltrée profondément de façon inhabituelle. Par exemple, il y a 3 200 ans, l'effondrement d'une partie de l'Enclos fut associé à des projections d'énormes quantités de matériaux hydromagmatiques : les cendres de Bellecombe (P. BACHELERY 1981) qui ont imperméabilisé les reliefs environnants.