

Introduction : objectifs, références bibliographiques

### I. Phases et cheminements de l'eau

#### 1) Composantes et flux impliqués dans le cycle de l'eau

##### a) Les divers états de l'élément eau

Changements d'état de l'eau, taux de saturation de l'air (humidité absolue et relative)

##### b) Les flux de matière et d'énergie

Bilan hydrologique mondial, réservoirs et temps de résidence ; flux d'énergie radiative et eau ; eau et bilan énergétique de la Terre

#### 2) Les mécanismes du cycle de l'eau

##### a) Les précipitations

##### b) L'interception (par la végétation)

##### c) L'évapotranspiration

##### d) La dualité ruissellement - infiltration

L'eau dans le sol s./.; genèse du ruissellement et écoulement de crue

### II. Spatialisation et mesures en hydrologie continentale

#### 1) Le bassin versant

Hydrosystème, réservoirs, réseaux de drainage, fonctionnement

#### 2) La notion de bilan hydrologique

## Introduction

### Objectifs :

Evocation des paramètres quantifiables des transferts de l'eau entre les grands réservoirs : **précipitations, évapotranspiration et écoulements**. D'un point de vue spatial, on se focalisera sur le **domaine continental**.

### Quelques références bibliographiques :

- [Bases] Jacques G. (1996) - *Le cycle de l'eau*. Hachette (coll. « les Fondamentaux »), Paris, 160 p.
- [Complet et synthétique] Cosandey C. et coll. (2003) - *Les eaux courantes. Géographie et environnement*. Belin (coll. « BelinSup Géographie »), Paris, 240 p.
- [Complet et synthétique, mais surtout intéressant pour les cas d'étude] Giret A. (2007) - *Hydrologie fluviale*. Ellipses, Paris, 262 p.
- [Détaillé] Lambert R. (1996) - *Géographie du cycle de l'eau*. Presses Universitaires du Mirail (coll. « Amphi 7 »), Univ. Toulouse-Le Mirail, 440 p.
- [Détaillé] Anctil F., Rouselle J., Lauzon N. (2005) - *Hydrologie ; cheminements de l'eau*. Presses internationales polytechniques, Ecole Polytechnique de Montréal, 317 p.
- [Détaillé] Cosandey C., Robinson M. (2012) - *Hydrologie continentale*. Armand Colin (coll. « U »), Paris, 2e éd., 448 p.
- [Technique] Réménieras G. (1965) - *L'hydrologie de l'ingénieur*. Eyrolles (« coll. du centre de recherches et d'essais de Chatou », n° 6), Paris, 2e éd., 456 p.

Et un cours en ligne qui servira de référence dans ce diaporama de synthèse (voir diapositive suivante) :

**Musy A. (2005) - Hydrologie générale. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne [en ligne : <https://echo2.epfl.ch/e-drologie/>]**

## Principales sections à assimiler...

...dans le cours en ligne d'André Musy (ce qui n'empêche pas de lire davantage...) :

### I.1) Composantes et flux impliqués dans le cycle de l'eau

**Musy - sections 1.2 et 1.4** : <https://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre1/main.html>

### I.2) Les mécanismes du cycle de l'eau

**Musy - section 1.3** : <https://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre1/main.html>

#### a) Les précipitations

**Musy - section 3.1** : <https://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre3/main.html>

#### b) L'interception (par la végétation)

**Musy - sections 4.1 et 4.3** : <https://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre4/main.html>

#### c) L'évapotranspiration

**Musy - section 4.1** : <https://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre4/main.html>

#### d) La dualité ruissellement - infiltration

**Musy - section 6.3.1** : <https://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre6/main.html>

**Musy - sections 10.1 à 10.5** : <https://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre10/main.html>

### II.1) Le concept de bassin versant

**Musy - section 2.1** : <https://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre2/main.html>

### II.2) La notion de bilan hydrologique

**Musy - section 1.5** : <https://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre1/main.html>

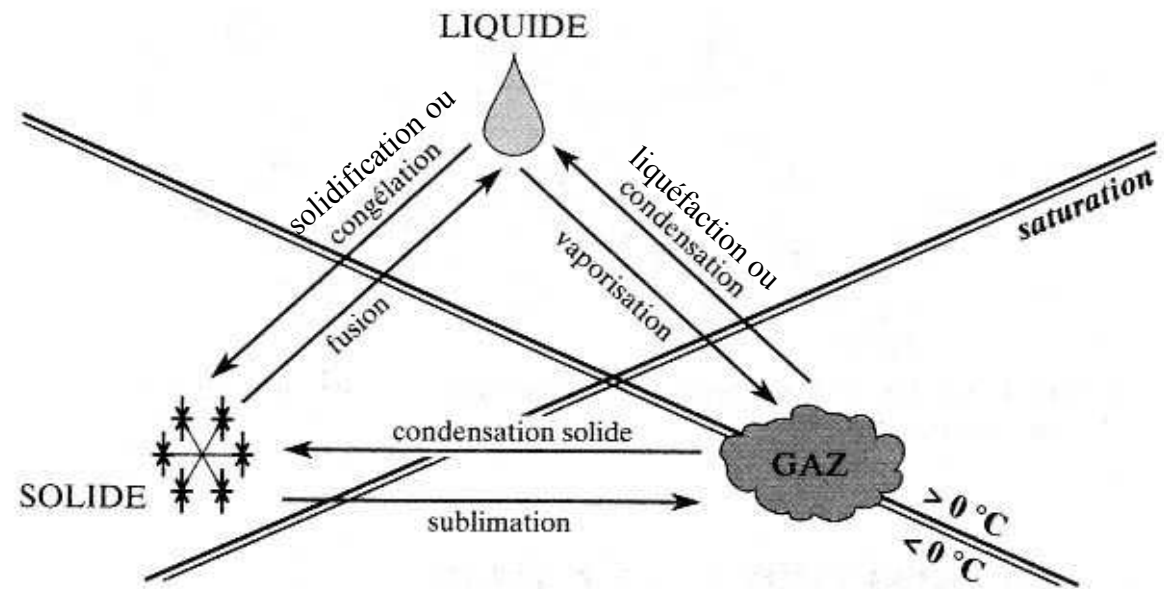
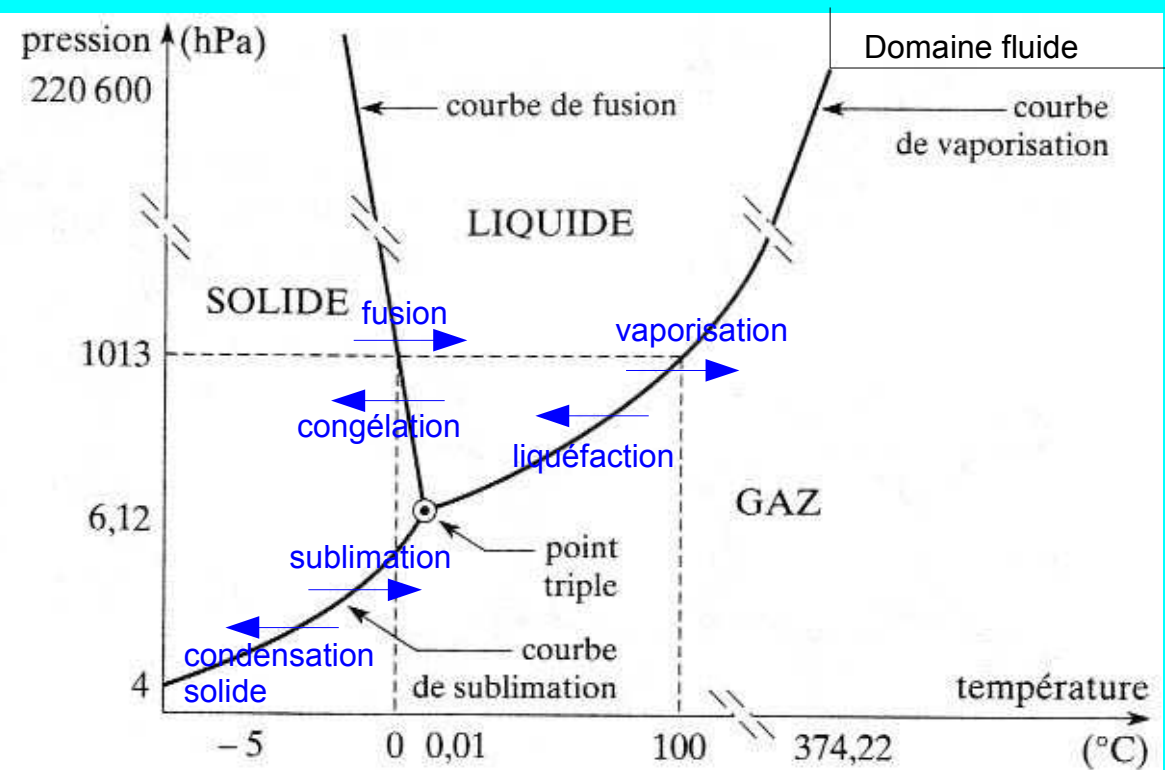
Dans les diapositives qui suivent, vous trouverez d'autres supports illustrés.

# Cheminements de l'eau

## I.1) a) Changements d'état de l'eau

Les processus vers la droite absorbent de la chaleur, ceux vers la gauche libèrent de la chaleur.

Diagramme valable pour l'eau en tant que corps pur. Dans l'atmosphère intervient le taux de saturation (ou degré hygrométrique) de l'air. On parle alors plutôt d'évaporation et de condensation à l'interface gaz - liquide.



Source : Jacques (1996), modifié

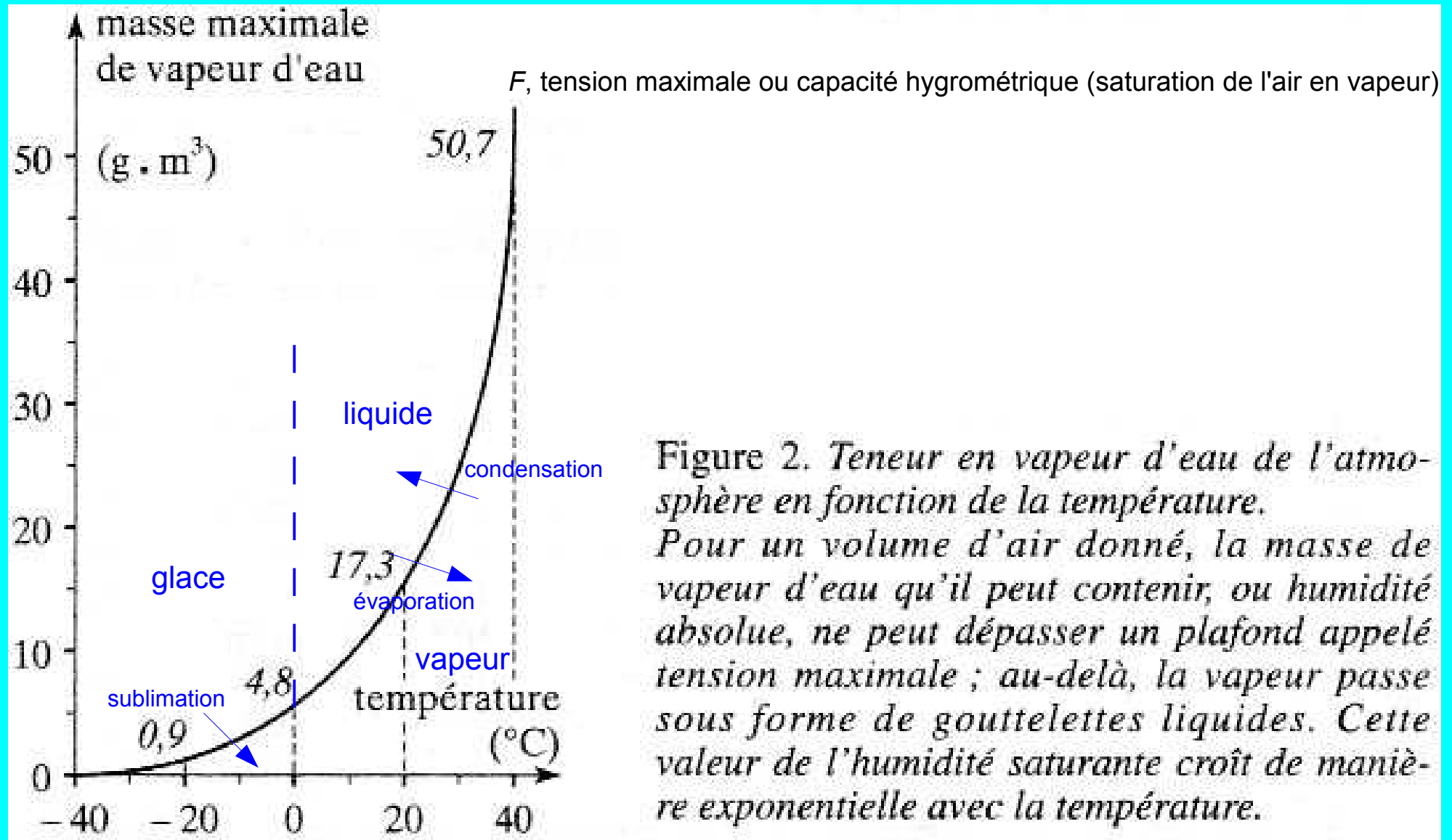
Figure 5. Changements d'état.

À pression ordinaire, il est possible de passer d'un état aux deux autres en faisant varier la température : par définition, l'eau passe à l'état solide à  $0^\circ\text{C}$  et à l'état gazeux à  $100^\circ\text{C}$ .

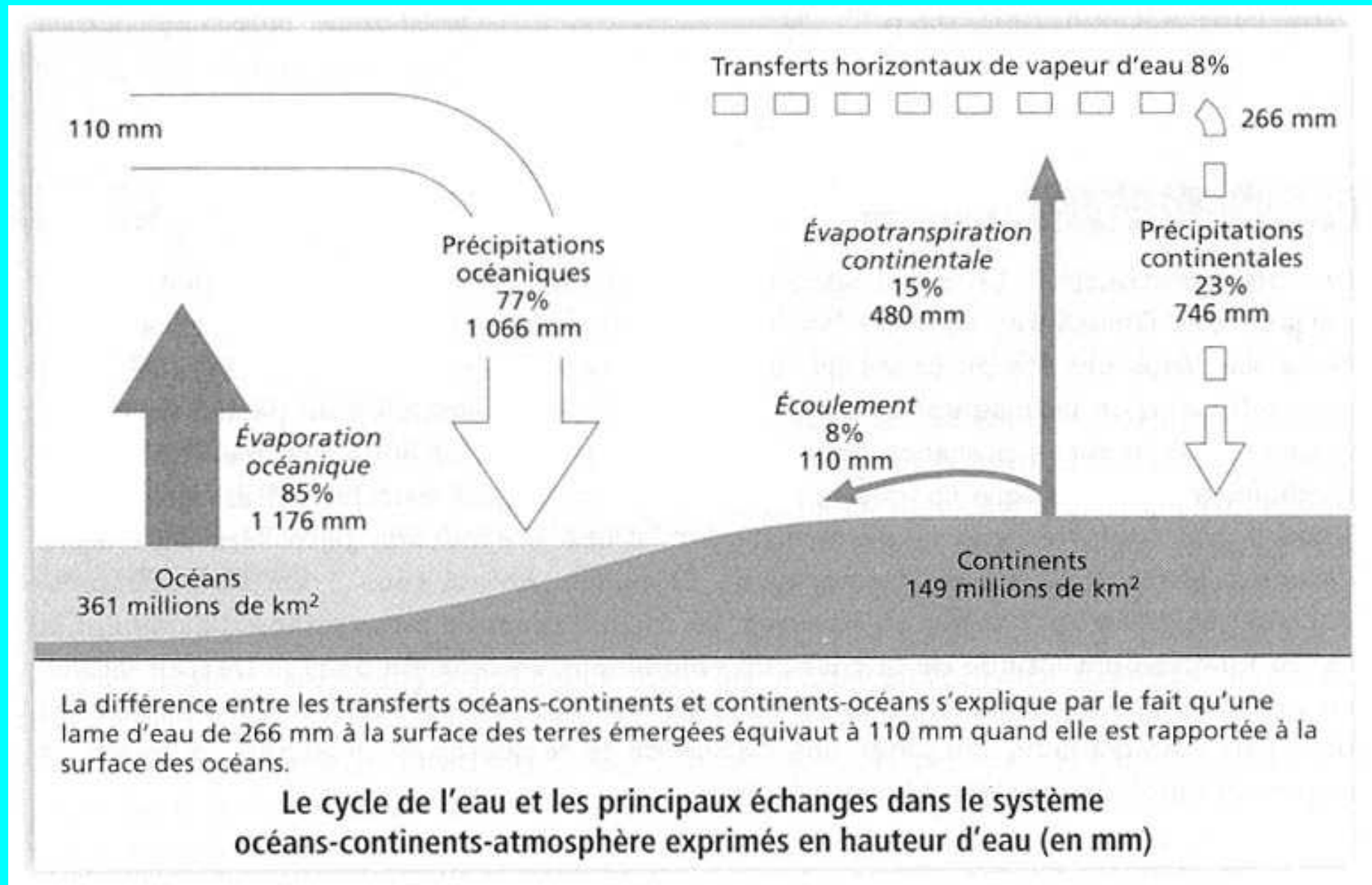
# Cheminements de l'eau

## I.1) a) Taux de saturation de l'air

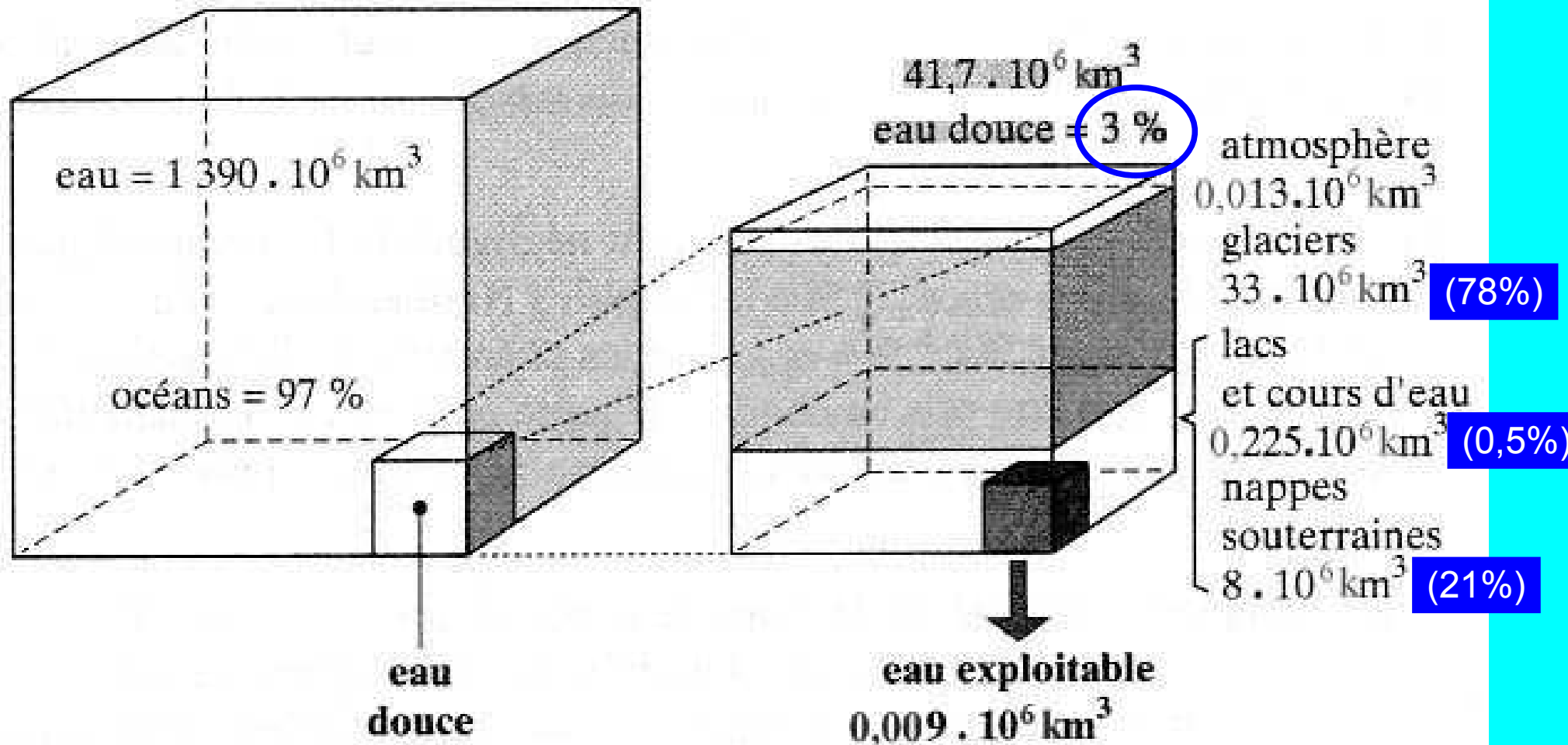
Distinguer humidité absolue ( $f$  en  $\text{g}/\text{m}^3$ ), tension maximale ou pression de vapeur saturante ( $F$ ) et humidité relative ( $f/F \times 100$ ).



## I.1) b) Transferts hydrologiques



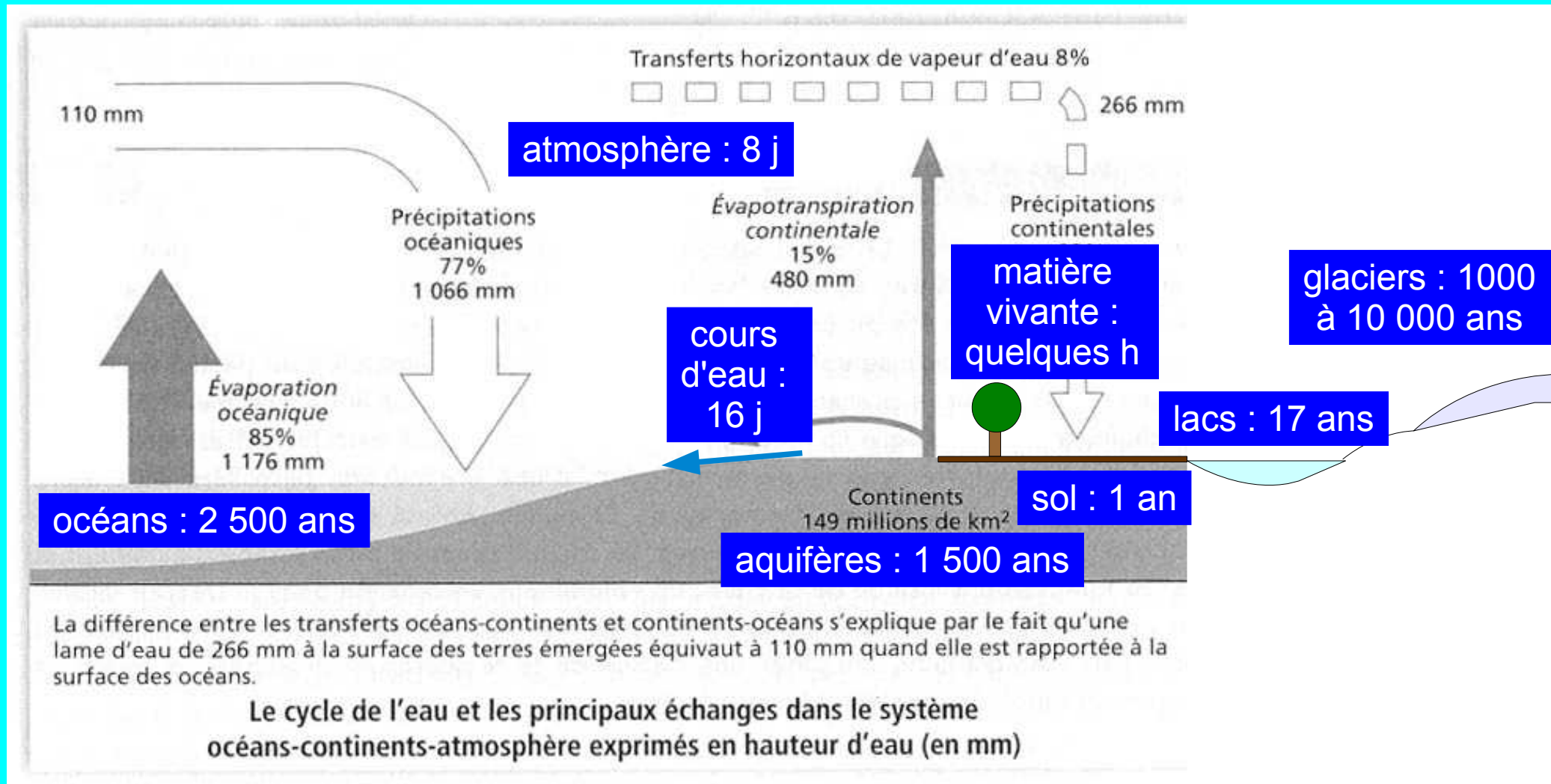
## I.1) b) Réservoirs de l'hydrosphère



Source : Jacques (1996), modifié



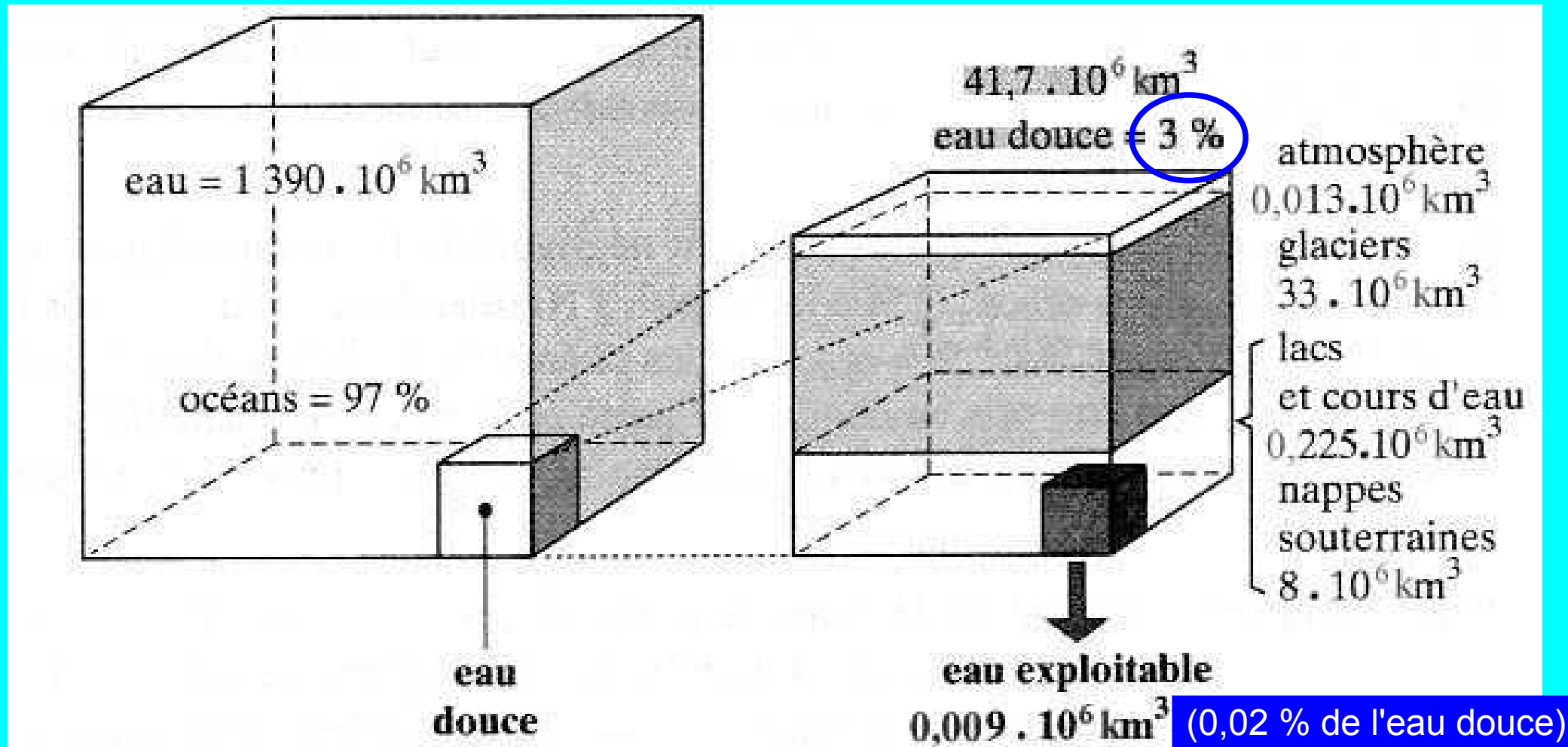
## I.1) b) Temps de résidence



Source : Lageat (2004), complété par données de Jacques (1996)



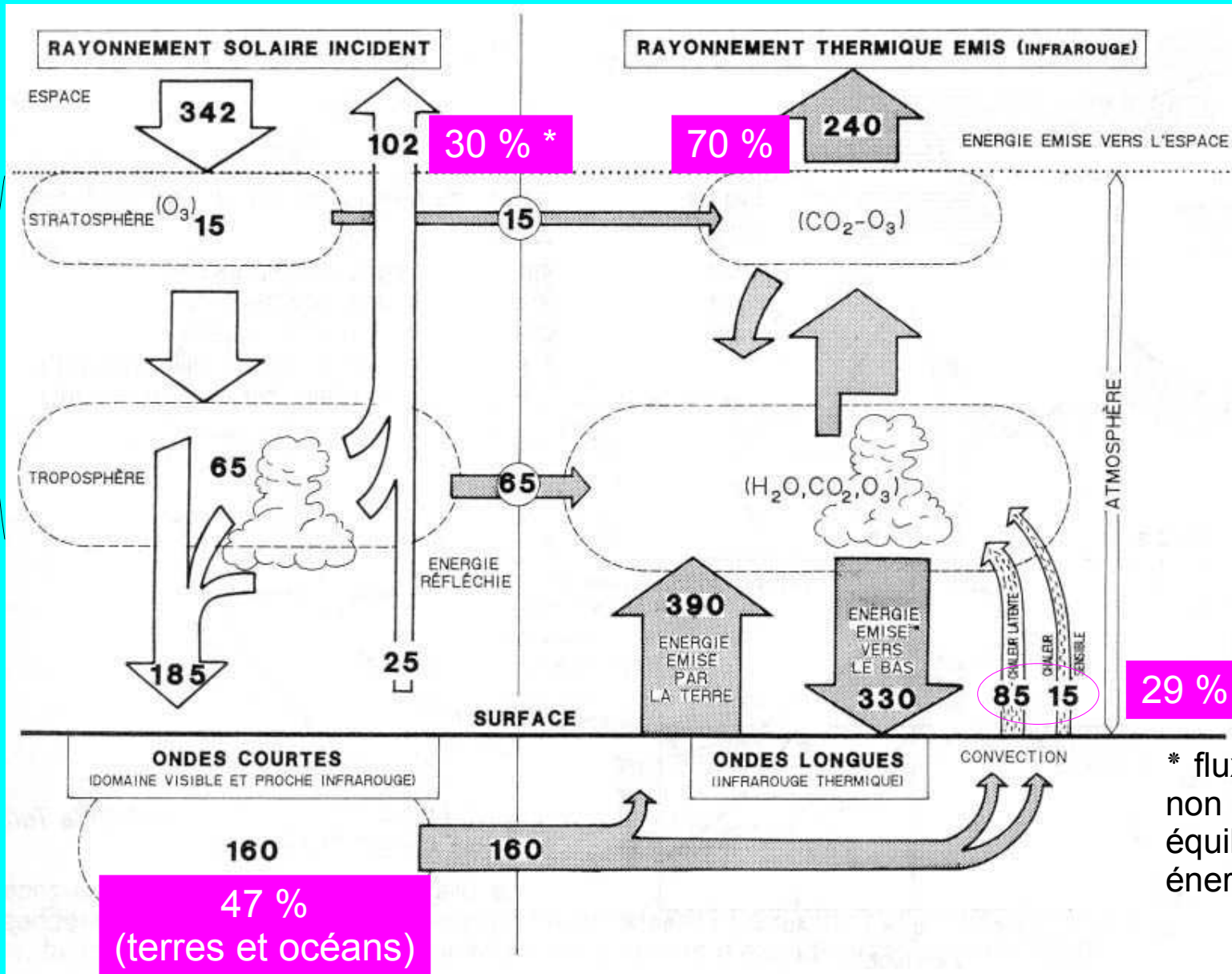
## I.1) b) Ressource pour l'Homme



Source : Jacques (1996), modifié

\* réflexion =  
albédo moyen  
de la Terre

23 % (des  
240 W/m<sup>2</sup>  
absorbés)



\* flux de chaleur  
non radiatifs, qui  
équilibrent le bilan  
énergétique

Figure I.1. — Le bilan radiatif de la Terre (les valeurs sont en W.m<sup>2</sup>), d'après Kandel et Foucart (1992).

Source : Cojan et Renard (1999), modifié

# Cheminements de l'eau

## I.2) a) Précipitations

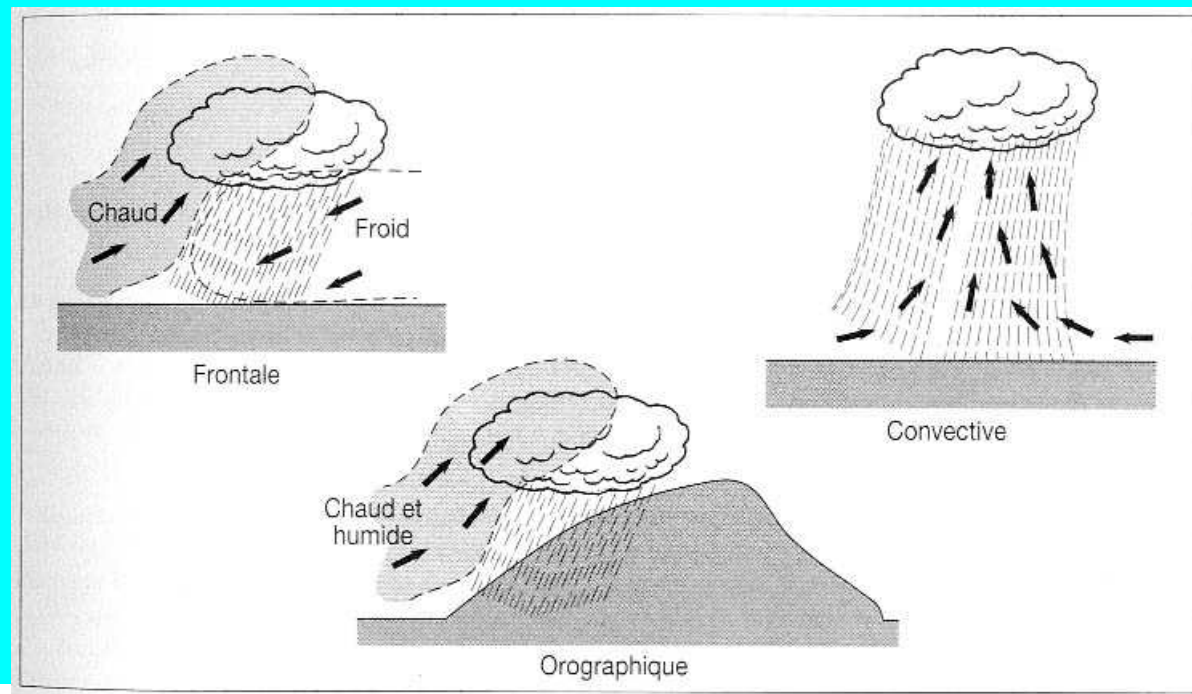
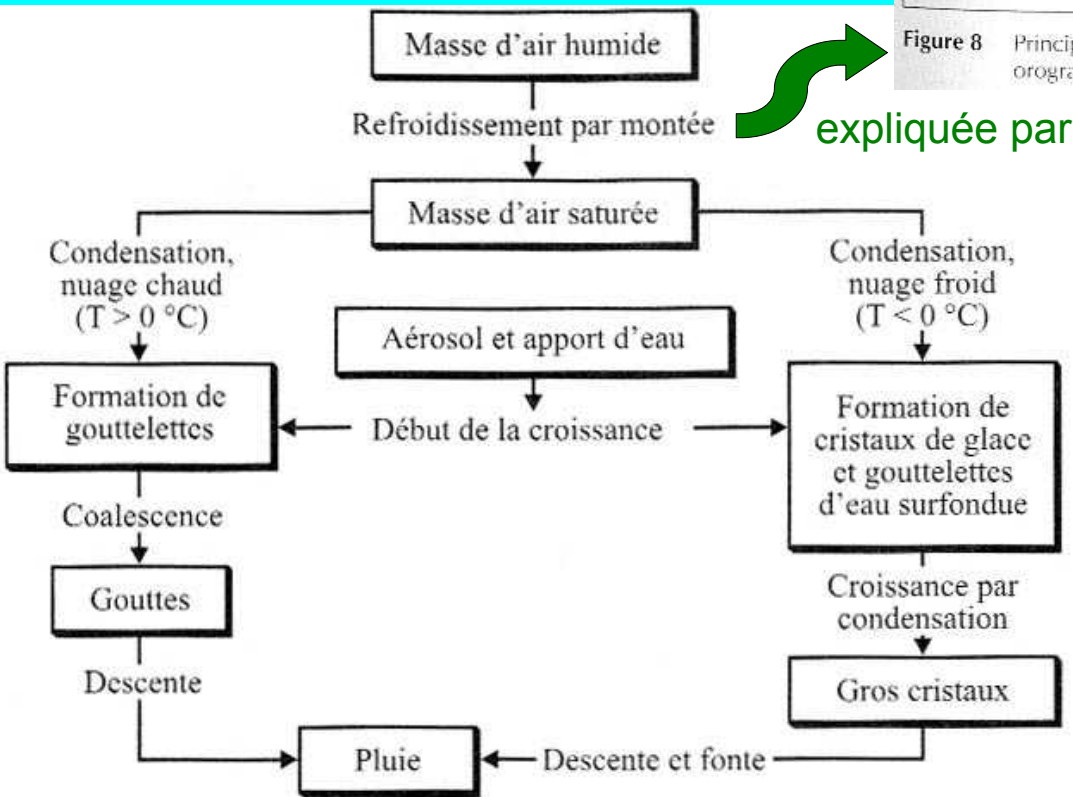


Figure 8 Principaux mécanismes d'ascendance, susceptibles de générer des précipitations : a, frontale ; b, convective ; c, orographique.

Source : Cosandey et Robinson (2000)



Source : Anctil et al. (2005)

Figure 4.1 Concept des processus de formation des précipitations.

## I.2) b) et c) Interception et évapotranspiration

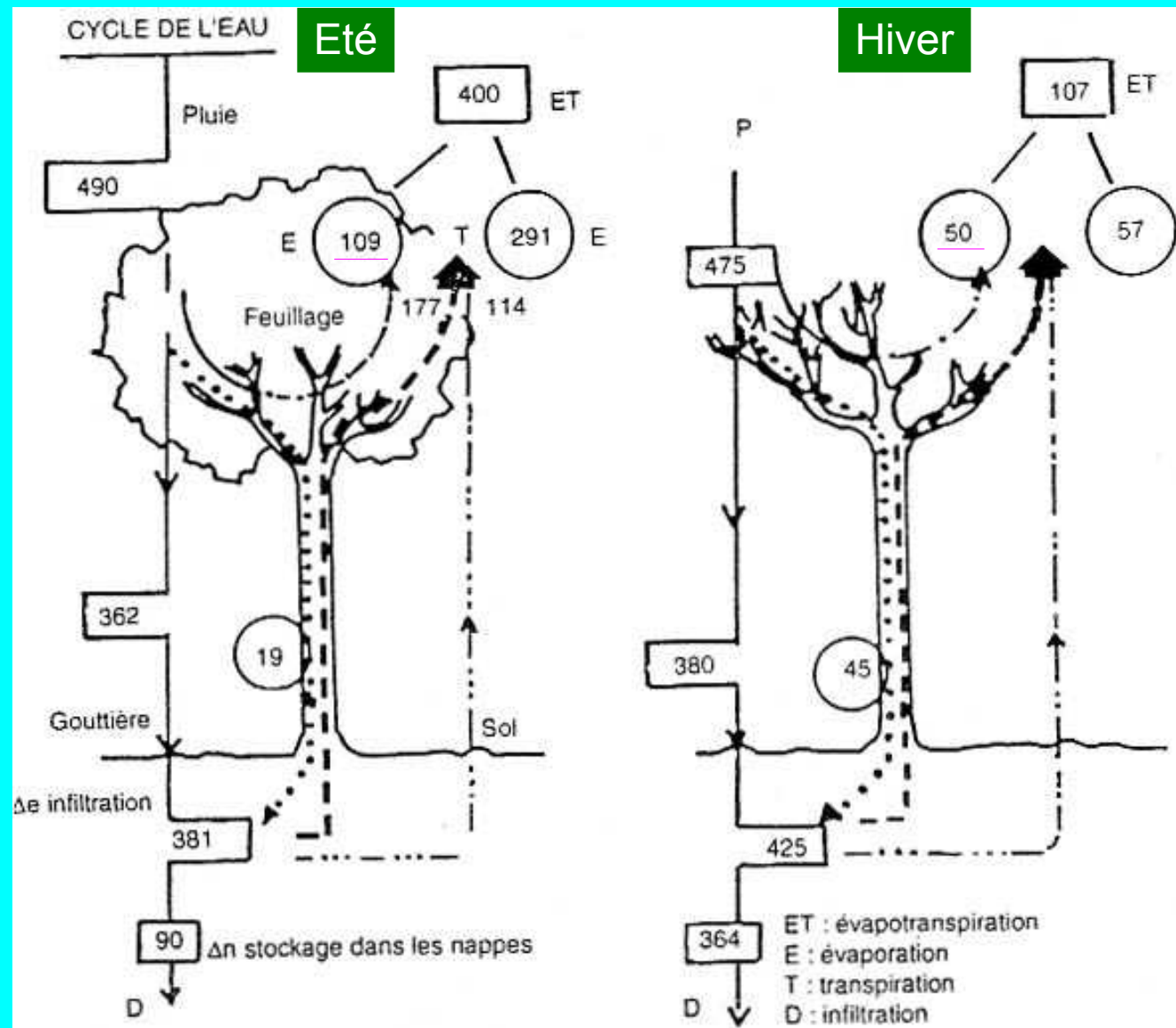
Estimation de l'interception et de l'évapotranspiration (ET) selon les saisons, dans une chênaie :

- interception =  $\sim 1/5$ e des précipitations en été et  $1/10$ e en hiver ;
- ET =  $\sim 4/5$ e des précipitations en été et  $1/5$ e en hiver.

A précipitations sensiblement égales, ET presque 4 fois plus importante en été qu'en hiver.

75 à 80 % des précipitations rejoignent le sol par égouttage ; l'essentiel est prélevé par la végétation en été et infiltré en hiver.

Source : Guiton (1998)



Bilan hydrique saisonnier avec feuillage et sans feuillage dans une chênaie (Belgique)  
(d'après G. Schnock)

Les valeurs sont en mm de précipitations.  
\*Précis d'écologie végétale\* de G. Lemee (1978)

Fig. 23 - Le cycle de l'évapotranspiration suivant les saisons  
Expérience de laboratoire [135].



## I.2) d) Ruissellement - infiltration

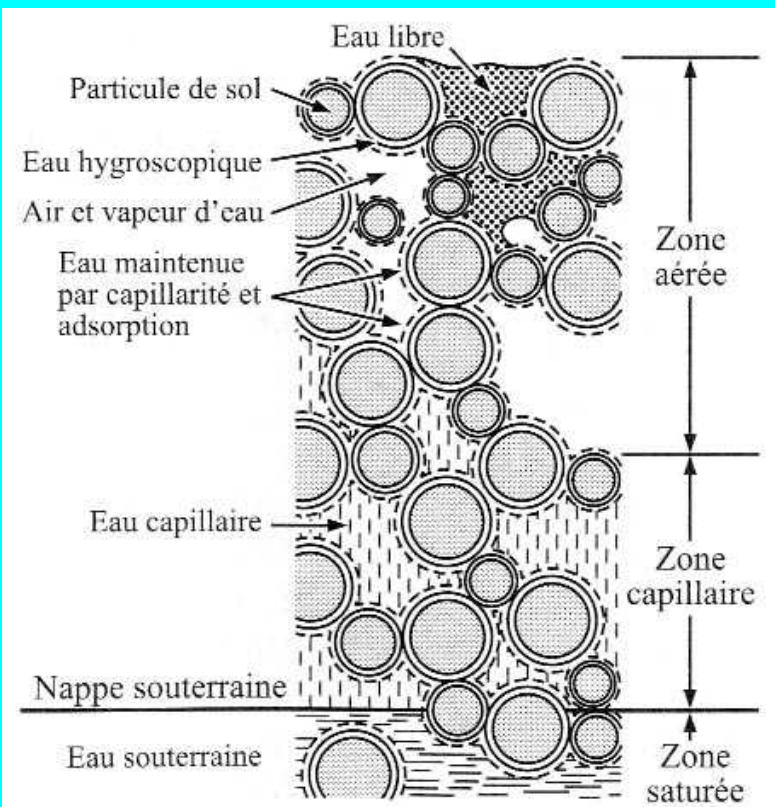
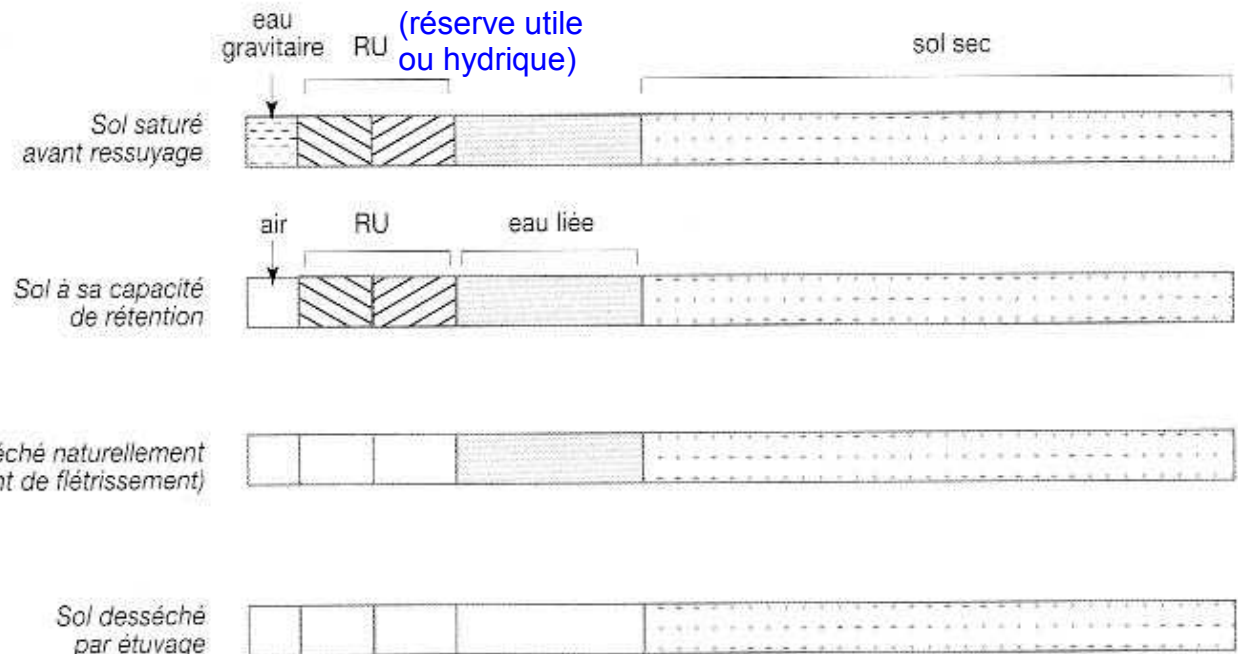


Figure 6.6 Eau dans les sols.

Source : Ancil et al. (2005)

Distinguer :

- eau libre (gravitaire, dont le mouvement dans le sol correspond au ressuyage) ;
- eau de rétention capillaire (mobilisable par évaporation ou extraction racinaire et qui constitue la véritable réserve hydrique) ;
- eau liée (hygroscopique et pelliculaire, quasiment non mobilisable de façon naturelle).



Source : Cosandey et Robinson (2000)

Figure 44 Les différentes liaisons de l'eau et du sol. Source : d'après Brochet et Gerbier, 1974.

## I.2) d) Ruissellement - infiltration

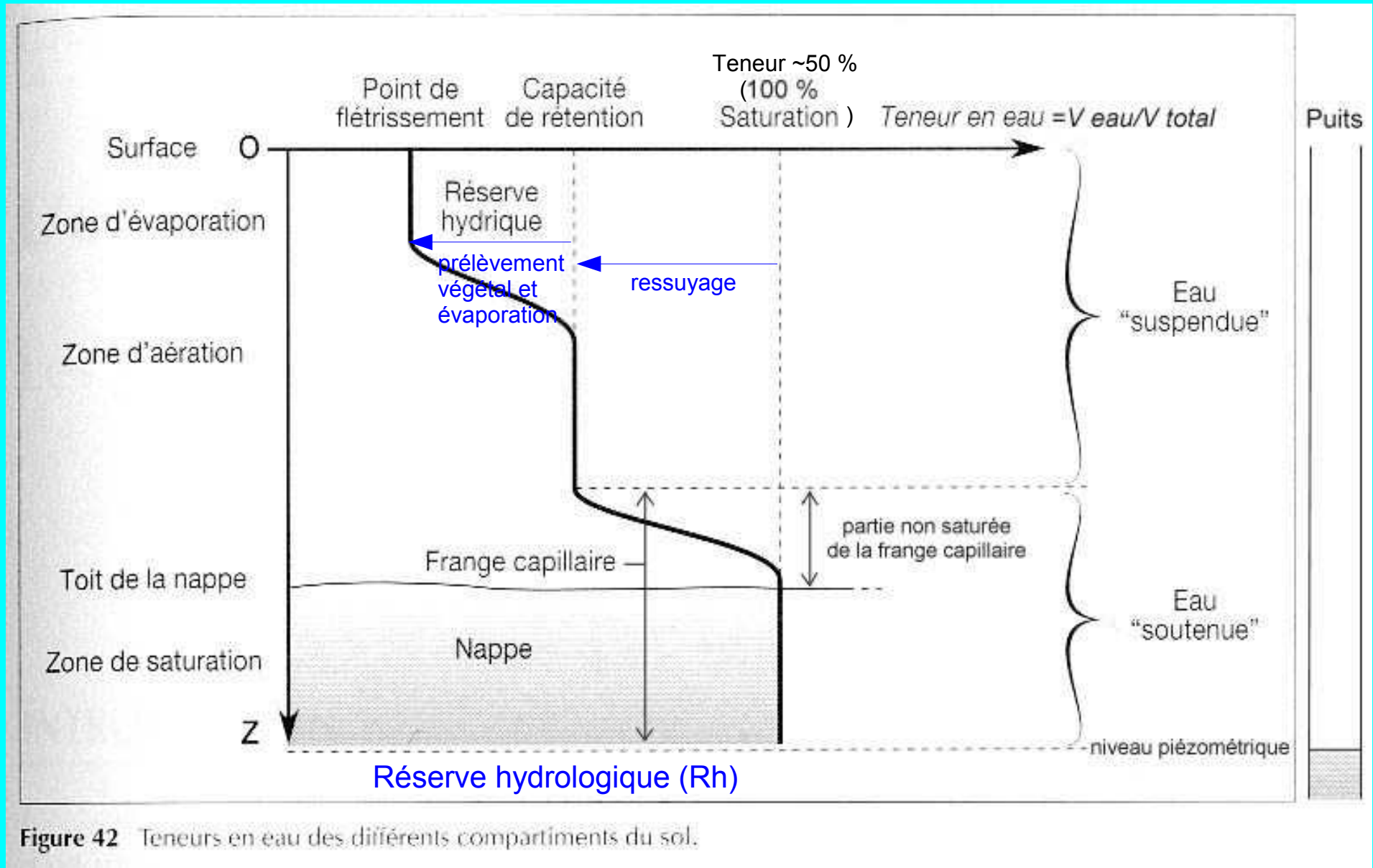
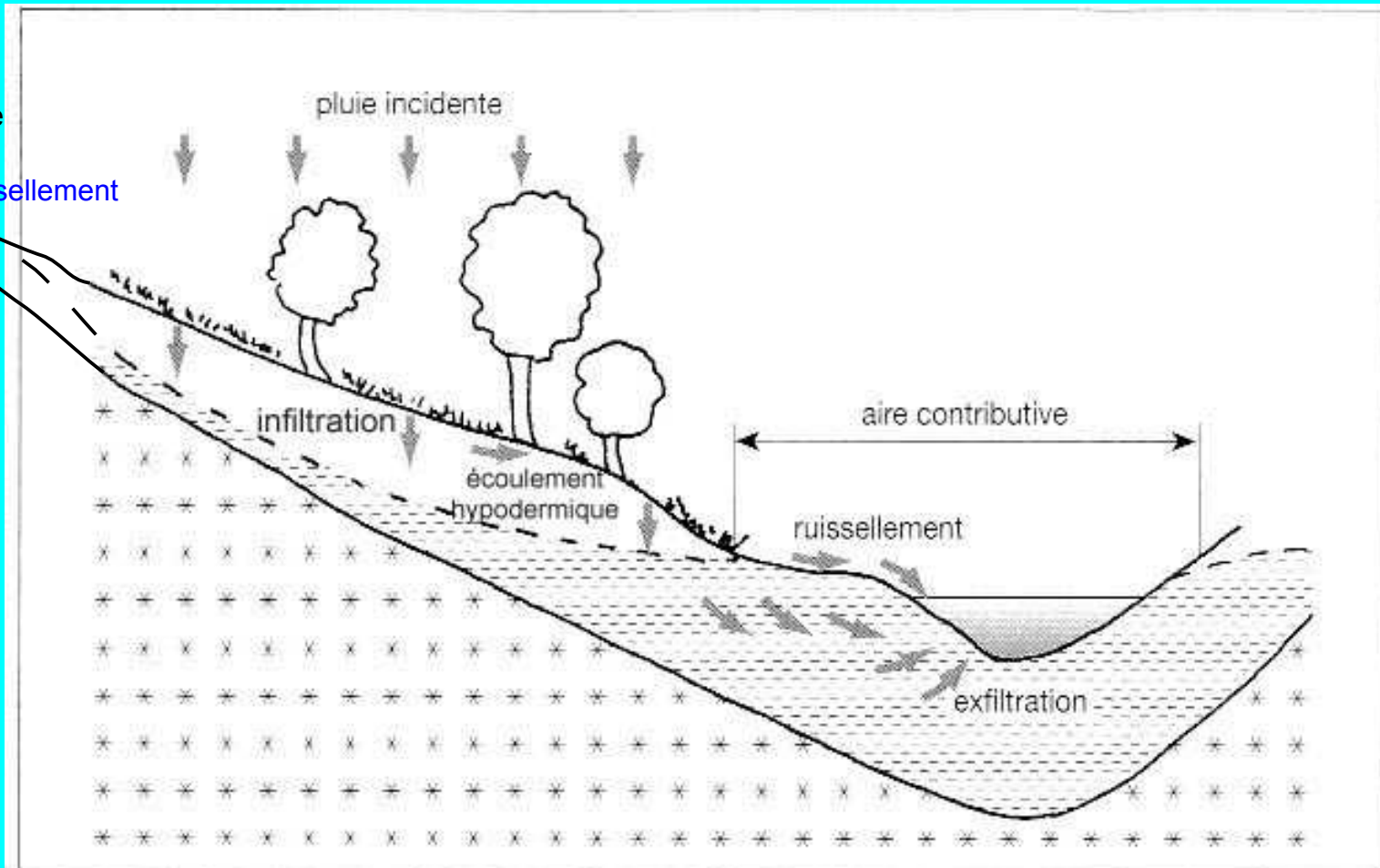


Figure 42 Teneurs en eau des différents compartiments du sol.



**Figure 83** Genèse des écoulements de crue à partir des aires contributives saturées. En dehors des périodes pluvieuses, la nappe est sub-affleurante dans le talweg, à proximité du cours d'eau, et drainée par celui-ci. Dès qu'il se met à pleuvoir, la pluie s'infiltré. Il faut peu de temps pour faire affleurer la nappe de fond de vallon, et alors le sol n'est plus capable d'absorber l'eau de pluie. L'eau qui tombe sur cette surface saturée, ne pouvant plus pénétrer dans le sol, ruisselle et atteint rapidement le cours d'eau proche.

Ces processus peuvent se produire sur un versant, selon la profondeur du terrain imperméable.

Source : Cosandey et Robinson (2000), modifié

Distinguer le ruissellement :  
 - par dépassement d'un seuil d'infiltration ("hortonien", intensité de la pluie supérieure à la vitesse d'infiltration) ;  
 - par dépassement d'un seuil de saturation (théorie des "aires contributives saturées" ; figure ci-contre).



## II.1) Le bassin versant en tant qu'hydrosystème

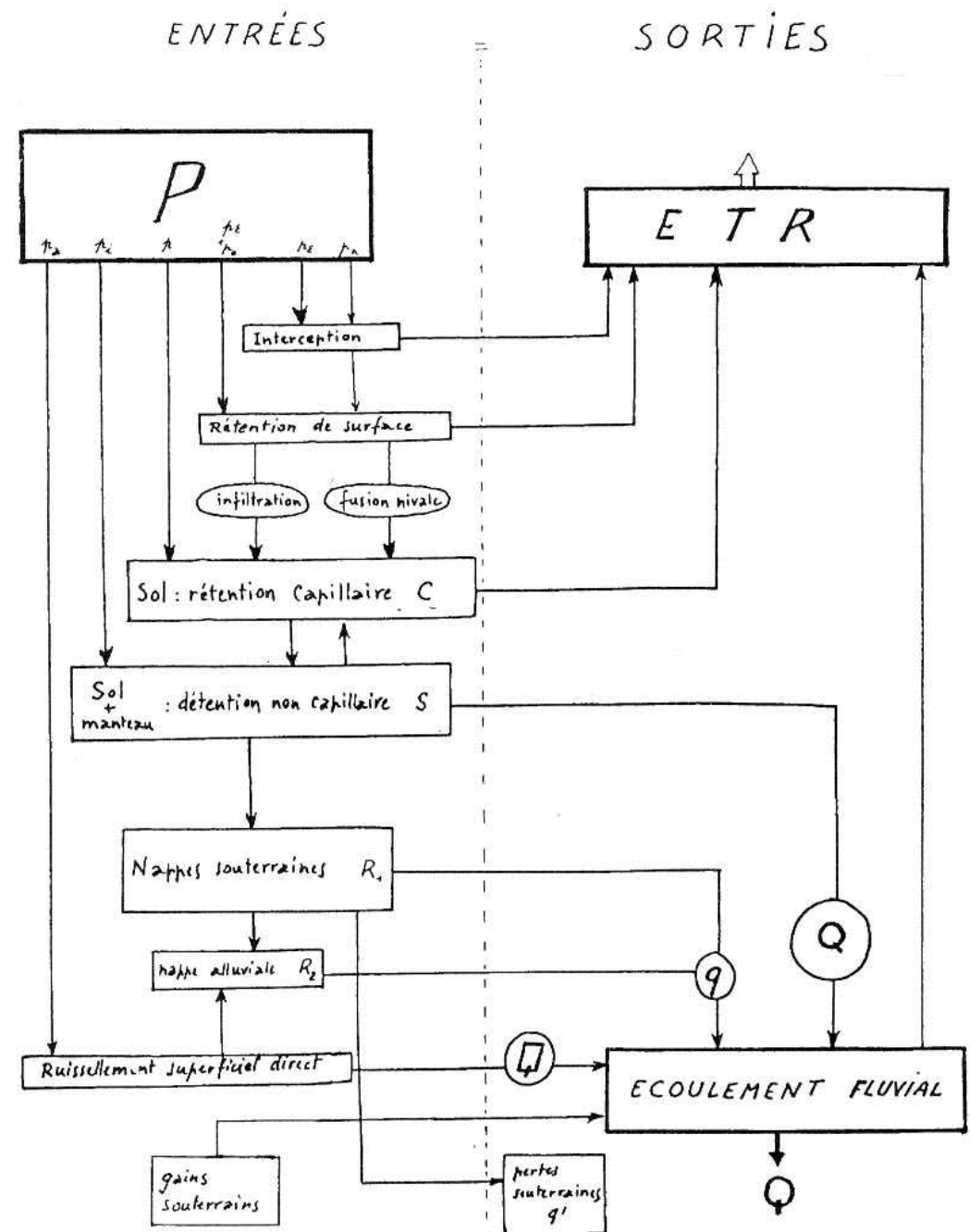
La géographie et l'histoire d'un bassin versant crée des conditions de circulations hydrologiques spécifiques, en lui attribuant des composantes, une organisation et un fonctionnement particuliers (cf. exemple de Vezon).

En tant qu'unité hydrologique, le bassin versant présente des entrées d'eau sous forme de précipitations, un stockage dans différents réservoirs et des sorties sous forme d'écoulements et d'évapotranspiration (figure ci-contre et cf. le bilan hydrologique).

Abréviations :  $p_a$  = pluie d'averse ruisselante ;  $p_i$  = pluie d'infiltration ;  $p$  = précipitations journalières ou mensuelles ;  $p_e$  = précipitation d'interception ;  $p_o$  = précipitation occulte (rosée, gelée blanche, givre) ;  $p_n$  = précipitation nivale ;  $Q$  = débit de ruissellement superficiel direct ;  $q$  = débit dû à l'écoulement des nappes ;  $Q$  = débit dû à l'écoulement hypodermique ;  $Q$  = débit total.

Source : Lambert (1996)

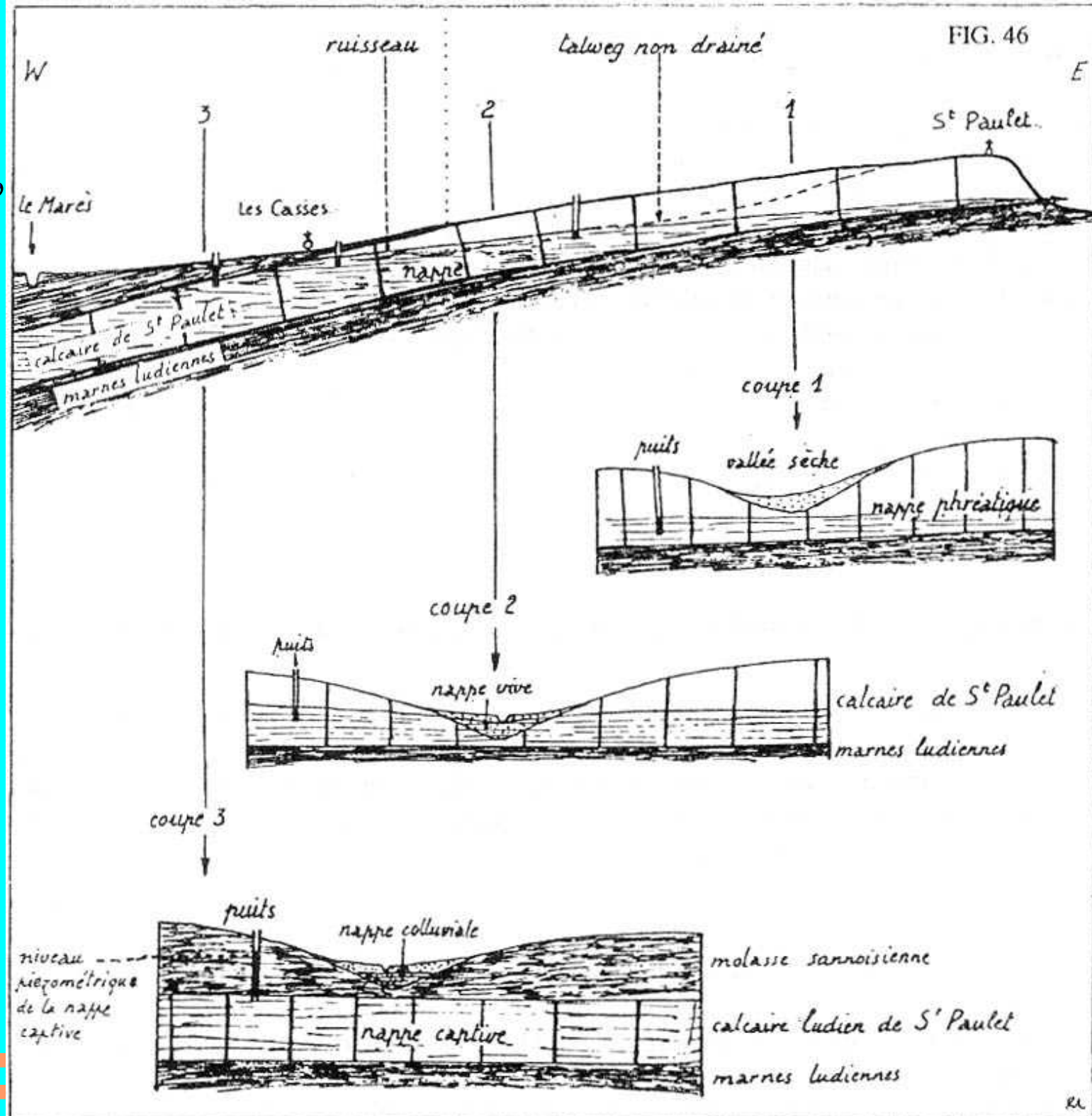
### BILAN HYDROLOGIQUE D'UN B.V.



# Cheminements de l'eau

## II.1) Réservoirs, réseaux de drainage et fonctionnement

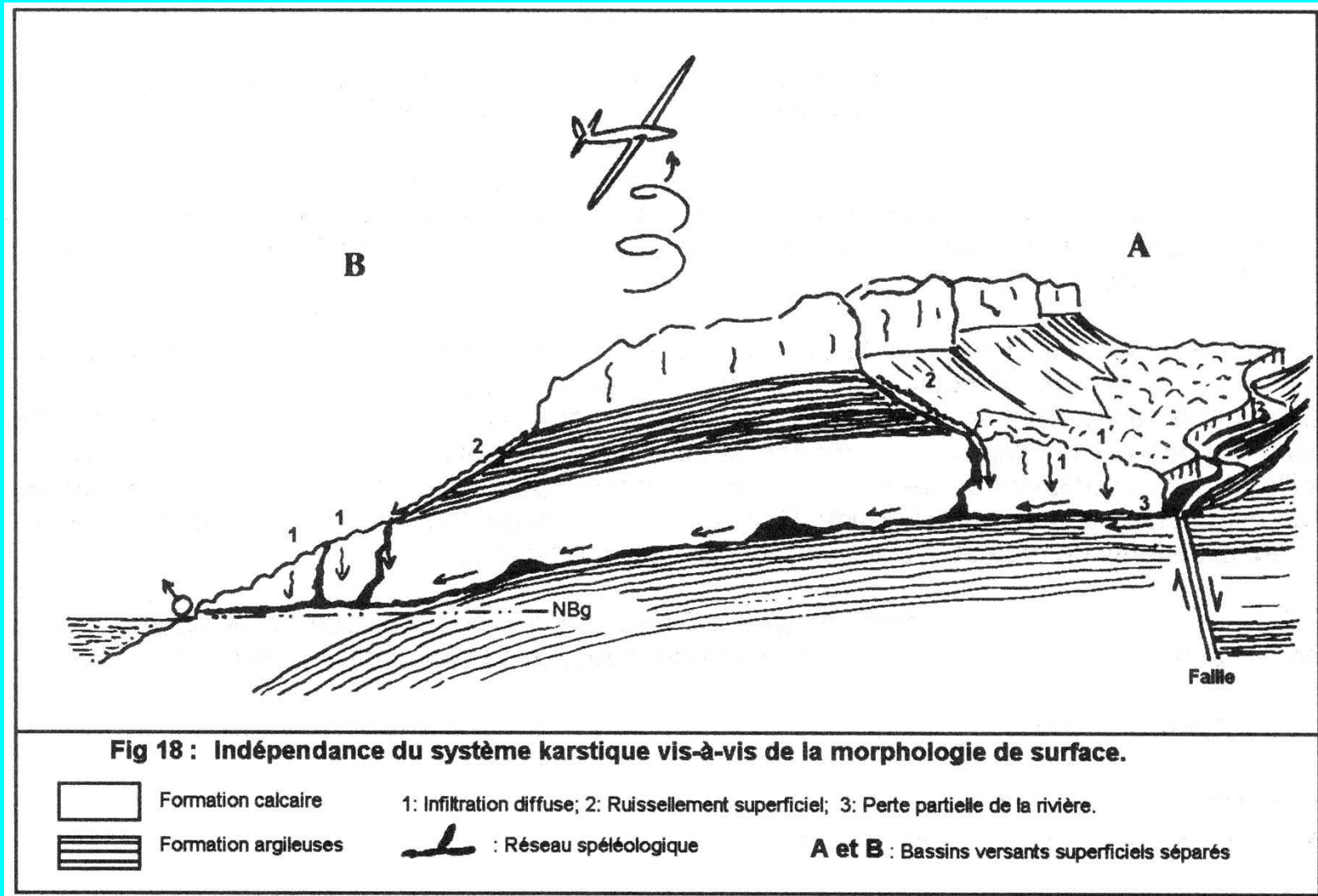
Exemple des réservoirs souterrains ; contexte hydrogéologique général en structure sédimentaire monoclinale



Source : Lambert (1996)

## II.1) Réservoirs, réseaux de drainage et fonctionnement

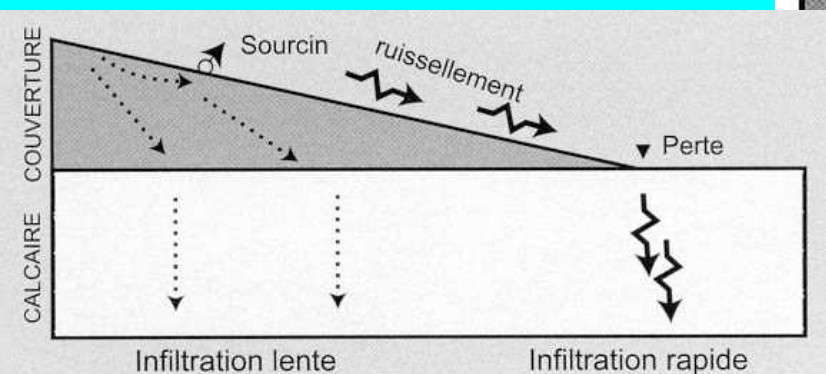
Représentation schématique de la dissociation entre alimentations hydrologiques superficielles et souterraines



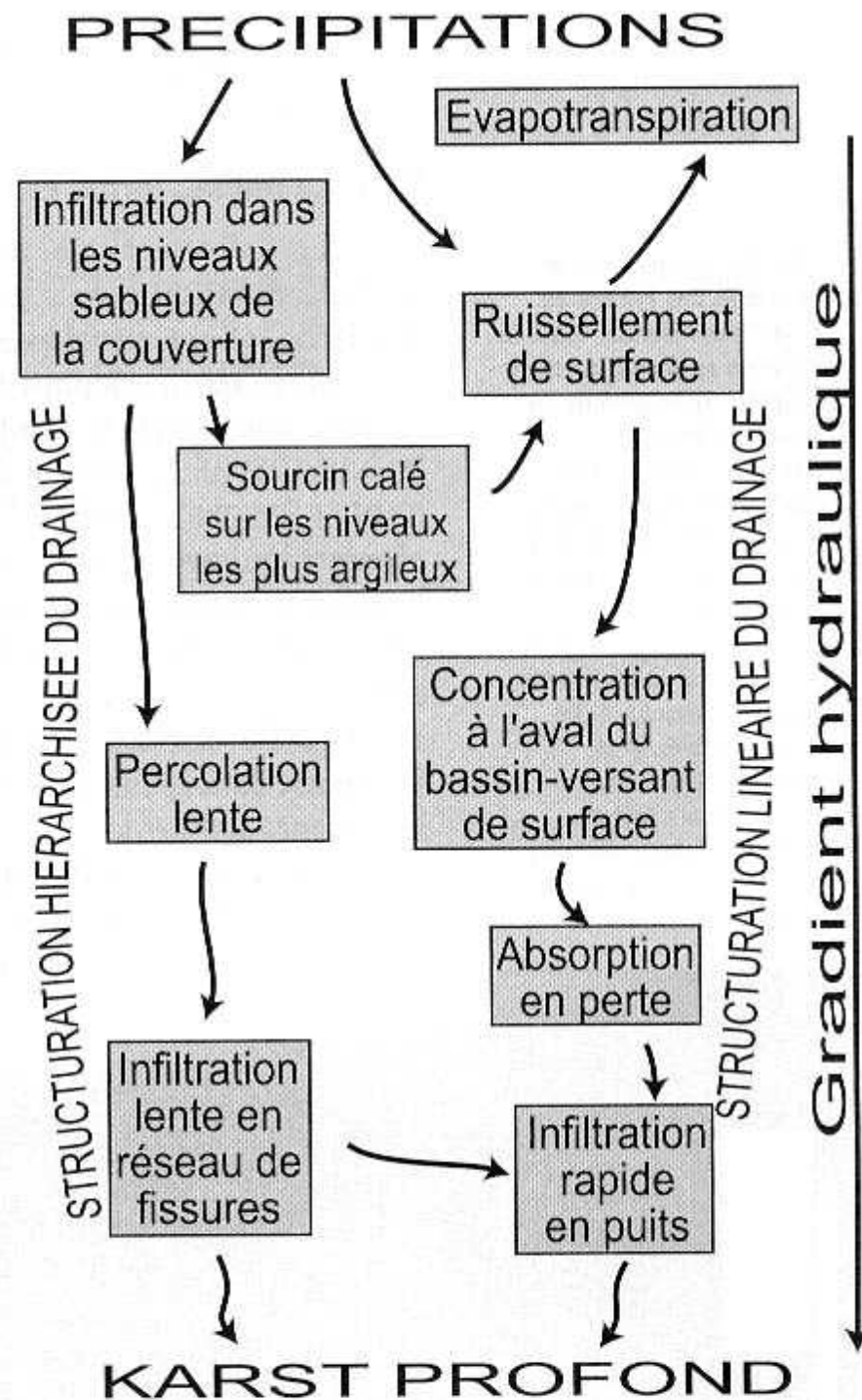


## II.1) Réservoirs, réseaux de drainage et fonctionnement

Exemple de fonctionnement par réseaux de drainage différenciés : modalités de circulation de l'eau dans le Barrois, par double dynamique d'infiltration dans un karst couvert de contact lithostratigraphique



Source : Jaillet (2005)



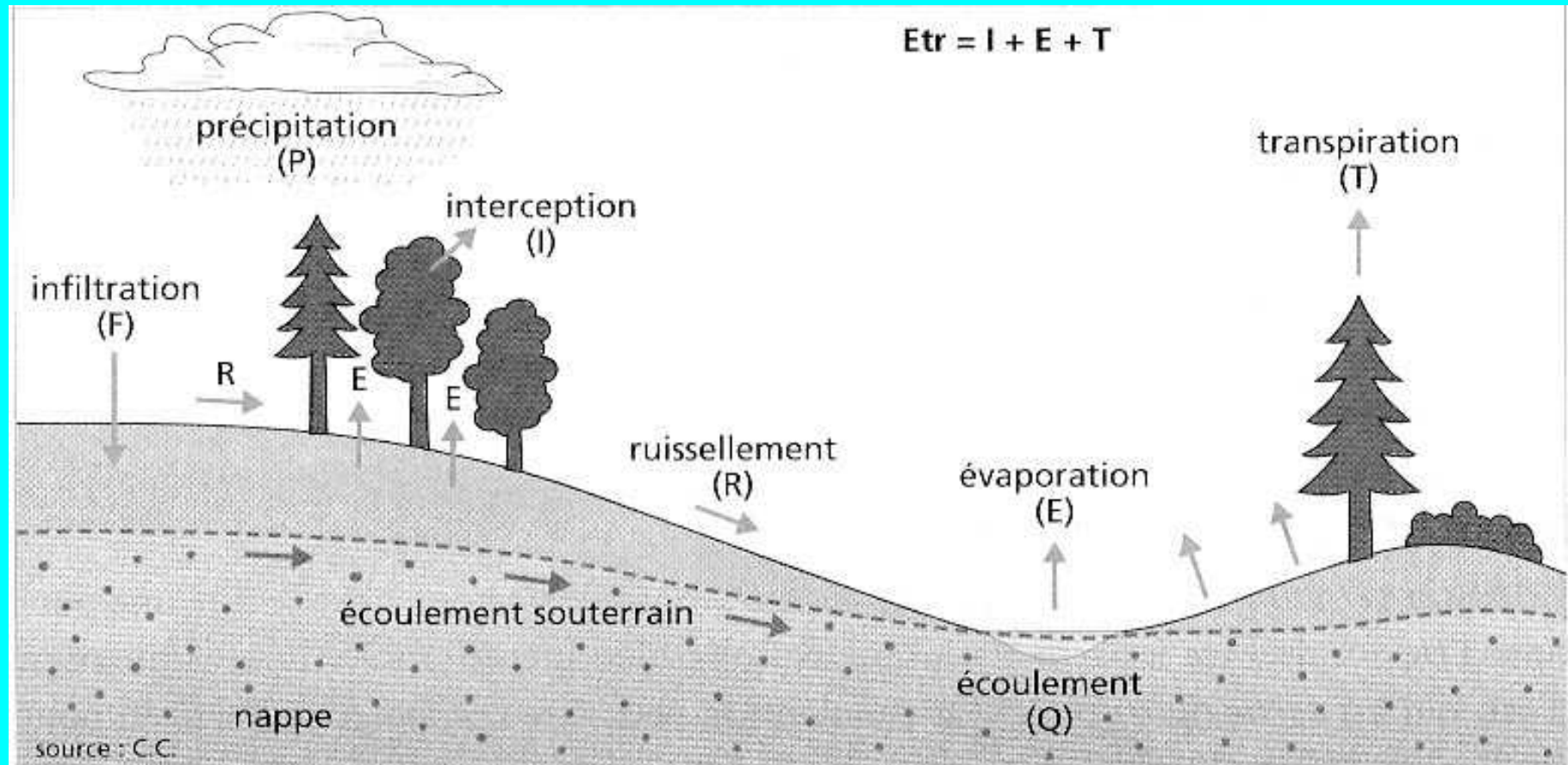


Figure 3 : le cycle de l'eau à l'échelle régionale.

Source : Cosandey et coll. (2003)

$$P = E_{tr} + Q + \Delta R$$

(précipitations = évapotranspiration + écoulements + variations de réserves en eau souterraine)

évaporation de l'eau  
interceptée, de surface et de  
subsurface + transpiration

débit alimenté par  
les sources et le  
ruissellement

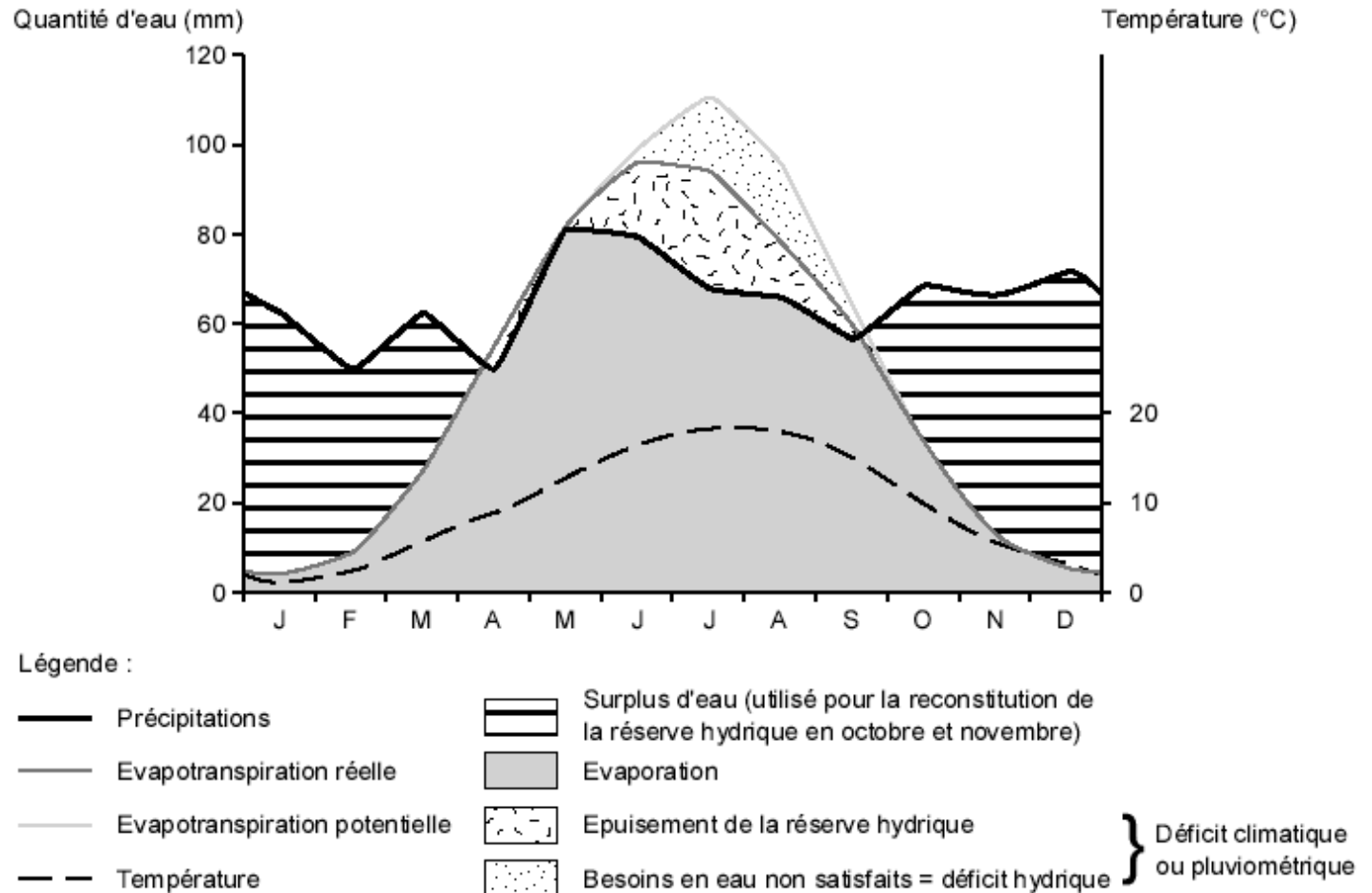
réserve utile ( $R_u$ )  
et réserve  
hydrologique ( $R_h$ )

## II.2) Bilan hydrologique

Exemple de bilan hydrique (budget entrées/sorties d'eau d'une unité pédologique).

L'évapotranspiration réelle (ETR) est estimée à partir du calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP).

Bilan hydrique à la station de Rosières-en-Haye, période 1971-1988 (d'après données AERM) :



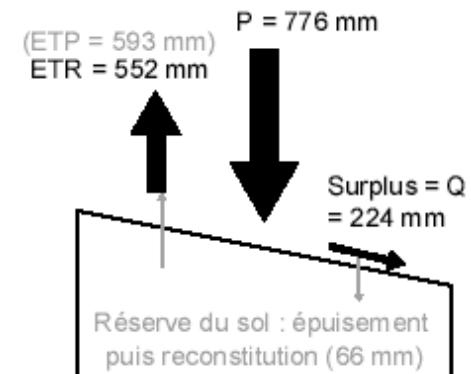
Bilan hydrologique moyen annuel à Rosières, période 1971-1988 (d'après données AERM) :

Exemple de bilan hydrologique (budget entrées/sorties d'eau d'une unité hydrologique).

Légende :

XXX → Paramètre intervenant dans le bilan annuel

XXX → Paramètre n'intervenant pas dans le bilan annuel





## II. Bassin versant et bilan hydrologique

Il est possible de réaliser un modèle de fonctionnement hydrologique, avec données quantitatives, sur la base du schéma général présenté précédemment ; exemple ci-contre.

Source : Lambert (1996)

