

Université Frères Mentouri Constantine 1
Faculté de Sciences de la Terre, de Géographie et
d'Aménagement du Territoire
Département des Sciences Géologique

HYDROGEOLOGIE FONDAMENTALE 2

RABAH GUERIREM

(4)

la limite entre roches carbonatées et roches non carbonatées, est située ^{plus de} à 50% de carbonate. Les roches non carbonatées, seront soit des argiles, soit du quartz par exemple. La terminologie devient alors marine dans le premier cas ou bien soit calcaire gréseux, soit grès calcaire dans le second cas suivant l'importance de l'élément calcaire par rapport au sable.

On peut considérer que les calcaires proprement dits contiennent plus de 90% de calcite, les dolomies possédant plus de 90% de dolomite.

Il résulte de ces constatations que sous la dénomination de roches carbonatées sont englobées des roches qui contiennent toutes un pourcentage important de carbonate, mais qui par ailleurs possèdent des minéraux et des éléments chimiques très différents.

Mais la composition chimique ne constitue pas le seul élément susceptible de différencier les roches carbonatées et d'influencer leur comportement; la texture et la structure y contribueront également.

A.1.2) texture et structure.

A.1.2.1) Texture.

C'est d'abord à l'échelle microscopique donc au niveau de la texture qu'apparaît la différenciation des roches carbonatées. Les distinctions qui ont été faites ont d'abord porté sur les calcaires. On distingue dans une lame mince d'un calcaire, d'une part des corps figurés (allochems ou grains), d'autre la matrice ou le ciment qui unit les grains. ^{part}

La taille ainsi que la distribution des différents éléments

(5)

A.1.2.2) La structure.

A, l'échelle de l'affleurement, donc au niveau de la structure, apparaît également la diversification des roches carbonatées. Les structures sédimentaires telles que la stratification sont, en effet, très variables et les calcaires peuvent par exemple former des bancs peu épais, répétés au mètre, ou au contraire très puissants.

A.2) PROPRIÉTÉS PHYSICO-CHIMIQUES DES CALCAIRES ET DES DOLOMITES EN REGARD DE LA KARSTIFICATION.

A.2.1) Propriétés chimiques

La solubilité de CaCO_3 dans l'eau pure est très faible et de l'ordre de 14 à 15 mg/l à 25°C pour les pressions partielles de CO_2 de l'atmosphère normale. Elle est d'ailleurs légèrement plus faible pour la calcite que pour l'aragonite.

La solubilité du MgCO_3 au contraire est beaucoup plus forte. Elle serait de 94 à 117 mg/l à 25°C pour les mêmes pressions partielles en CO_2 .

Pour la dolomite qui est un carbonate double $(\text{Ca}, \text{Mg})\text{CO}_3$, le problème est plus complexe.

La mise en solution du CaCO_3 n'est pas due seulement à une simple dissolution mais à une véritable attaque chimique en présence d'ions acides. Les acides mis en cause sont divers, acides nitrique, et nitreux, acides organiques, acide mellurique, mais c'est essentiellement sous l'action du gaz carbonique que la mise en solution s'effectue. Le système à étudier (anhydride carbonique CO_2 , eau H_2O et carbonate de calcium CaCO_3) se répartit sur trois phases, en contact.

(6)

- l'une gazeuse (atmosphère contenant une certaine proportion de CO_2)
- l'autre liquide (solution ionique dans l'eau),
- la dernière enfin solide (carbonates solides).

L'évolution du système est liée aux échanges de CO_2 à l'interface gaz-liquide, aux réactions ioniques ainsi qu'aux transferts, en milieu liquide et aux échanges de carbonates ou d'ions sous des carbonates à l'interface solide-liquide.

* les quantités de CaCO_3 pouvant être mises en solution grâce à ces réactions chimiques sont importantes.

En particulier, l'atmosphère du sol, beaucoup plus riche en CO_2 que l'atmosphère libre (jusqu'à 50 fois) permet une mise en solution beaucoup plus importante dans les eaux d'infiltration que dans les eaux de surface.

* les réactions chimiques passent obligatoirement par la phase liquide et sont donc tributaires des circulations d'eau.
en partie

* la vitesse d'évolution du système CO_2 - H_2O - CaCO_3 dépend à l'interface gaz-liquide, de la vitesse de diffusion du CO_2 influencée par l'agitation de l'eau et la température, et dans le milieu liquide, des vitesses de réactions ioniques, dont certaines sont immédiates et d'autres plus lentes.

* la durée séparant la première chaîne ^{de réactions} gaz-liquide (CO_2 - H_2O) de la dernière, liquide-solide (H_2O - CaCO_3) est variable et dépend notamment des conditions hydrauliques. Elle peut atteindre plusieurs jours. Sous ces conditions, la durée de transfert d'eau intervenue nécessairement dans la dissolution,

(6)

- l'une gazeuse (atmosphère contenant une certaine proportion de CO_2)
- l'autre liquide (solution ionique dans l'eau),
- la dernière enfin solide (carbonates solides).

L'évolution du système est liée aux échanges de CO_2 à l'interface gaz-liquide, aux réactions ioniques ainsi qu'aux transferts en milieu liquide et aux échanges de carbonates ou d'ions sous des carbonates à l'interface solide-liquide.

* les quantités de CaCO_3 pouvant être mises en solution grâce à ces réactions chimiques sont importantes.

En particulier, l'atmosphère du sol, beaucoup plus riche en CO_2 que l'atmosphère libre (jusqu'à 50 fois) permet une mise en solution beaucoup plus importante dans les eaux d'infiltration que dans les eaux de surface.

* les réactions chimiques passent obligatoirement par la phase liquide et sont donc tributaires des circulations d'eau.
en partie

* la vitesse d'évolution du système CO_2 - H_2O - CaCO_3 dépend à l'interface gaz-liquide, de la vitesse de diffusion du CO_2 influencée par l'agitation de l'eau et la température, et dans le milieu liquide, des vitesses de réactions ioniques dont certaines sont immédiates et d'autres plus lentes.

* la durée séparant la première chaîne ^{de réactions} Gaz-liquide (CO_2 - H_2O) de la dernière, Liquide-solide (H_2O - CaCO_3) est variable et dépend notamment des conditions hydrauliques. Elle peut atteindre plusieurs jours. Dans ces conditions, la durée des trajets d'eau interviendra nécessairement dans la dissolution.

(7)

Lors de la mise en solution des carbonates, la présence d'ions étrangers au système $\text{CO}_2 - \text{H}_2\text{O} - \text{CaCO}_3$ modifie considérablement les équilibres et par là même la cinétique des réactions par formation de complexes.

* Ces résultats montrent que la karstification est un phénomène comparable à une dissolution. Elle est due à la nature de la roche et aux réactions chimiques qui l'affectent. Au cours de ce processus l'eau joue un rôle déterminant.

A.2.2) Propriétés physiques

A.2.2.1) Propriétés mécaniques

Les propriétés mécaniques de la roche sont celles qui nous permettent de comprendre son comportement à l'égard des contraintes. C'est au niveau de la texture et de la structure de ces propriétés interviennent.

On voit qu'une roche soumise à un état de contrainte, soit de compression, soit de tension, se déforme. Cette déformation, d'abord élastique, devient ensuite plastique. Au-delà d'une certaine valeur des contraintes, la déformation devient permanente. Le comportement permanent d'une roche dépend de la plasticité, plus cette dernière est faible, plus la roche est permanente. Nous retiendrons que les roches carbonatées présentent une tendance à la fracturation et non, à des déformations multiples sous des conditions de température et de pression relativement faibles.

(8)

A.2.2.2) La porosité

A, la différence des propriétés mécaniques, la porosité n'intervient qu'à l'échelle microscopique. Il est important de définir les différents types de porosité rencontrés.

* La porosité absolue nous entendons « l'ensemble des vides d'une roche, d'un matériau poreux »

* la porosité utile correspond aux vides en communication les uns avec les autres.

* la porosité effective est « la fraction de la porosité correspondant à la contenance en eau gratuite ».

* Dans les roches carbonatées, la cimentation et la recristallisation interviennent, nous réservons le terme de porosité aux ensembles qui possèdent les propriétés d'un milieu poreux.

~~x~~ Compte tenu de la définition que l'on veut donner de la porosité, on voit que c'est essentiellement la texture qui en détermine l'importance.

En conclusion on peut classer les roches carbonatées parmi les roches peu perméables, ou parfois imperméables.

(9) A.5) ALTERATION DES ROCHES CARBONATÉES, KARSTIFICATION.

A.3.1) Fissuration

Le comportement courant des roches carbonatées sous un état de contrainte est à l'origine de l'importante fissuration qui caractérise ces roches. Ce sont les fissures dues à des tensions qui au point de vue de la karstification, s'avèrent les plus intéressantes et permettent ainsi le cheminement des eaux.

La pression et la température augmentent le seuil de plasticité des roches carbonatées. C'est surtout en surface que la fissuration est la plus importante.

A.3.2) Karstification

- (*) La corrosion et l'érosion mécanique constituent les deux éléments fondamentaux du processus de karstification.
- (*) (*) - La corrosion représente essentiellement le résultat des actions chimiques sur les roches carbonatées, où l'action de l'eau est déterminante.
La circulation des eaux se fait généralement par l'intermédiaire des fissures.
La circulation des eaux peut être favorisée par la corrosion et réciproquement, celle-ci sera d'autant plus intense que la circulation est importante.
- En l'absence de circulation d'eau, la corrosion est très ralentie.
- (*) (*) - L'érosion mécanique dépend de l'action mécanique de l'eau qui elle-même dépend essentiellement de la charge transportée, en rapport avec son énergie donc avec sa quantité et avec la vitesse.

10) si un conduit est élargi par action mécanique, une plus grande quantité d'eau, dotée d'une vitesse plus importante, pourra circuler amenant l'action mécanique à s'intensifier.

- Ainsi, la karstification apparaît, au départ, comme l'élargissement, l'agrandissement non pas de tous les vides, mais de certains d'entre eux, là où il y a une circulation plus facile de l'eau. Il apparaît dans ce cas une hiérarchisation des vides, les vides les plus importants sont situés soit dans les zones où l'énergie cinétique de l'eau est la plus importante (par exemple l'érosion mécanique domine), soit en des zones privilégiées liées aux facteurs chimiques, lorsque c'est la corrosion qui est prédominante.

A.4) Conclusion:

Les propriétés tant chimiques que physiques de roches carbonatées leur confère un modèle particulier auquel a été donné le nom de karst.

Le processus de karstification est d'autant plus marqué au niveau des roches carbonatées quand celle-ci sont plus fissurées. La fissuration favorise les circulations d'eau dans une roche qui à l'origine possédait une faible perméabilité. L'un des résultats de cette karstification est l'établissement de tout un réseau de drainage souterrain.

Plus les vides sont grands, plus les circulations sont aisées et plus la karstification s'intensifie, inversement plus la karstification est importante et plus les roches peuvent perdre de leur volume. Ce phénomène de karstification est essentiellement lié à des réactions en solution. Dans le cas des roches carbonatées, la mise en solution est le résultat d'une chaîne de processus chimiques liés au CO_2 .

- Les roches carbonatées qui au départ étaient peu perméables et représentaient des mauvais aquifères, en raison de la technique, apparaissent des fissures qui favorisent la karstification donnant ainsi des bons aquifères.

ETUDE DES AQUIFERES KARSTIQUES

Comme les aquifères karstiques sont hétérogènes et les lois classiques d'écoulement ne sont pas applicables. Dans ce cas on est obligé d'étudier les systèmes karstiques d'une manière différente de celle des milieux poreux et fissurés.

- Dans un premier lieu on essaye de voir comment fonctionnent les systèmes karstiques sans tenir compte de leur morphologie.

- on extrait les informations fournies par l'eau qui sort du karst une fois qu'elle est l'a traversé, cela revient à quantifier tous les paramètres propres à l'eau (paramètres hydrodynamiques et paramètres hydrochimiques)

- De ce fait cela revient à faire une étude pluridisciplinaire →

- hydrodynamique
- hydrochimique
- hydrothermique

I] IDENTIFICATION DES SYSTEMES KARSTIQUES

IA) Etude terrain.

Pour mener à bien une telle étude, il est nécessaire d'avoir une bonne connaissance du milieu à étudier, de ce fait il faut déterminer la nature de l'aquifère, ses propriétés, ~~ses caractéristiques~~ ses relations avec l'extérieur ainsi que son évolution dans le temps.

① - Nature de l'aquifère ⇒ vient à déterminer les différentes formations géologiques présentes dans le secteur à étudier + ~~aspect~~ on classe les terrains suivant leur intérêt hydrogéologique.

- terrains favorables à un développement karstique
- terrains favorables à la formation d'aquifères poreux et fissurés.
- terrains imperméables

② - propriétés du réservoir ⇒ ses propriétés reprennent sur l'étude tectonique qui a affecté la région.

• d'un côté on parle de la tectonique compressive qui provoque en surface la fracturation des terrains karstiques et d'autre part grâce à la fracturation, cette tectonique compressive a pu donner naissance à des empilements rocheux et déterminer des directions préférentielles de circulations internes de l'eau

• le style tectonique simple détermine la structure et la forme des réservoirs. Le sens de circulation des eaux est généralement lié à la direction et au plongement des axes des plis

③ - relation avec l'extérieur : Il est important de déterminer la position ~~des~~ des formations imperméables & ainsi que leurs relations avec les aquifères.

D'un côté ils peuvent constituer une limite aux circulations des eaux à l'intérieur des aquifères, de l'autre côté parfois leur positionnement favorise le renouvellement de surface ce qui ~~est possible dans~~ dans l'alimentation du système karstique peut participer à

(4) - L'évolution dans le temps des aquifères : cela revient à une étude géomorphologique du secteur qui est lié également à une érosion ~~karstique~~ ^{de surface}, une érosion fluviale, une érosion karstique et une érosion glaciaire

- L'érosion de surface aboutit à la formation de surfaces plus ou moins planes.

- L'érosion fluviale aboutit à la formation de vallées.

- L'érosion karstique à la formation de dépensiers, des dolines, des gorges et de grottes

- L'érosion glaciaire aboutit aux dépôts de formations glaciaires

Une fois qu'on a défini les caractéristiques géologiques et géomorphologiques, on va s'intéresser à l'alimentation ainsi ainsi que les limites des systèmes karstiques.

(B) - Caractéristiques climatiques :

Cette partie est basée sur l'étude des précipitations et de températures.

Ces données permettent d'estimer la quantité de pluie que reçoit le bassin d'alimentation, leur répartition dans le temps et dans l'espace ainsi que les quantités d'eau soustraite à l'alimentation par évapotranspiration.

(2) - Evolution de la lame d'eau moyenne précipitée sur le bassin.

en général deux méthodes permettent l'estimation de cette valeur moyenne

• la méthode des isohyètes [P. B. P.]
• — — — de Thiessen

méthode des isotopés :
$$p = \frac{\sum (s_i \cdot l_i)}{\sum (s_i)}$$

③ Evolution de l'évapotranspiration

- généralement on utilise la formule de Turc

$$D = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

P = lame d'eau précipitée ou le lamier d'alimentation en mm

$$L = 300 + 25T + 0,005T^3$$

T = température moyenne annuelle en °C

① Limites des systèmes hydrauliques

cela revient à définir les limites des bassins versants des systèmes hydrauliques.

C Méthodes utilisant les données de débits

① - Analyse par corrélation

cette méthode permet de voir la liaison qui peut exister entre les différentes sources présentes dans le secteur étudié.

- lorsque r est grand on a une bonne liaison \Rightarrow donc les 2 sources appartiennent au même système hydraulique
- lorsque r est faible \Rightarrow on a une mauvaise corrélation \Rightarrow les deux sources appartiennent à deux systèmes différents.

④

- lorsque le coefficient de corrélation est grand \Rightarrow on a une bonne liaison \Rightarrow donc les 2 sources appartiennent au même système karstique.

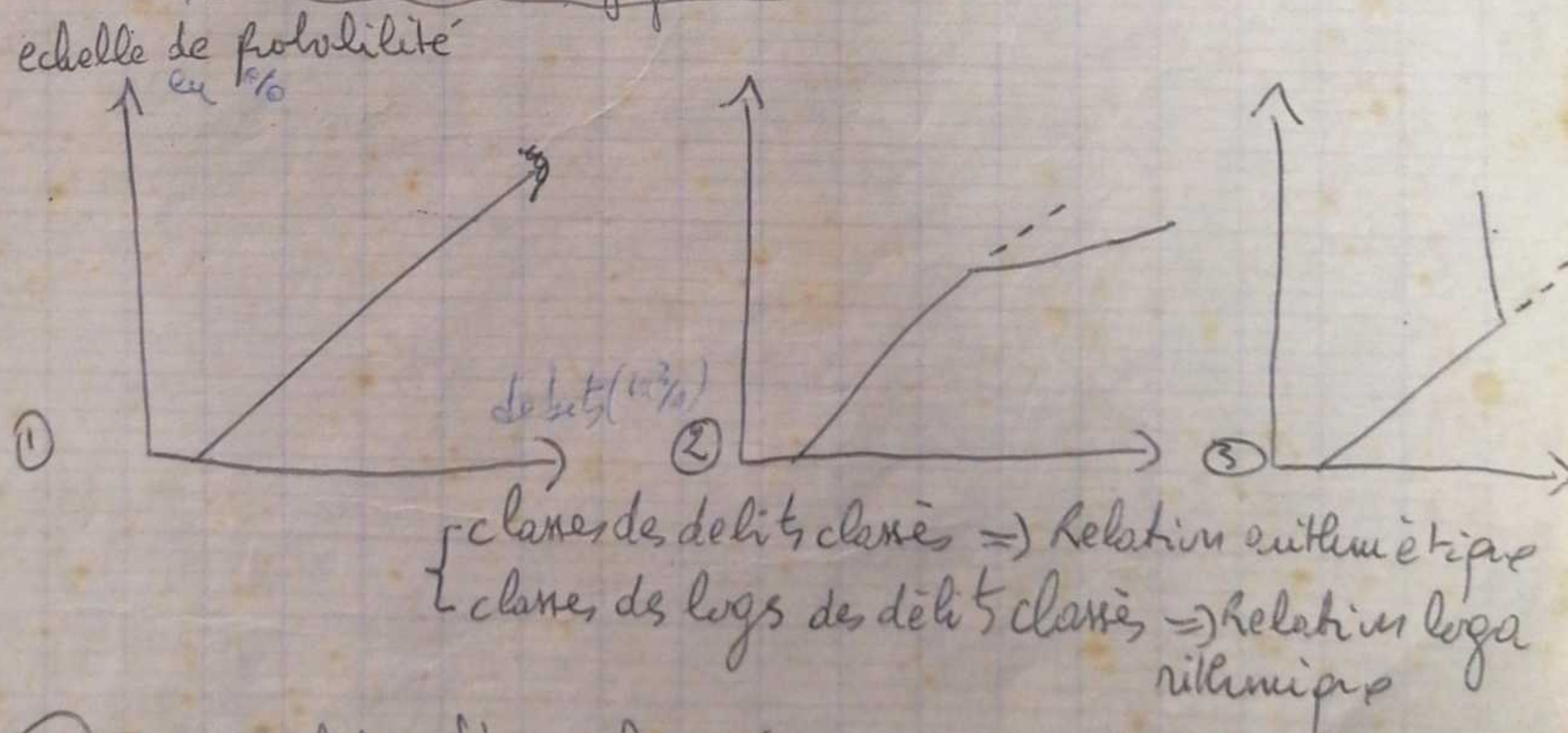
- lorsque le coefficient de corrélation est faible \Rightarrow on a une mauvaise corrélation \Rightarrow les 2 sources appartiennent à deux systèmes différents.

② L'analyse des délits classés.

cette analyse permet de mettre en évidence des structures particulières, ces dernières traduisent les variations de la loi d'écartement suivie par les sources karstiques.

Ces anomalies peuvent correspondre soit à la mise en fonctionnement de top - pleins ou à un effort supplémentaire au bassin versant.

on a 3 cas de figure:



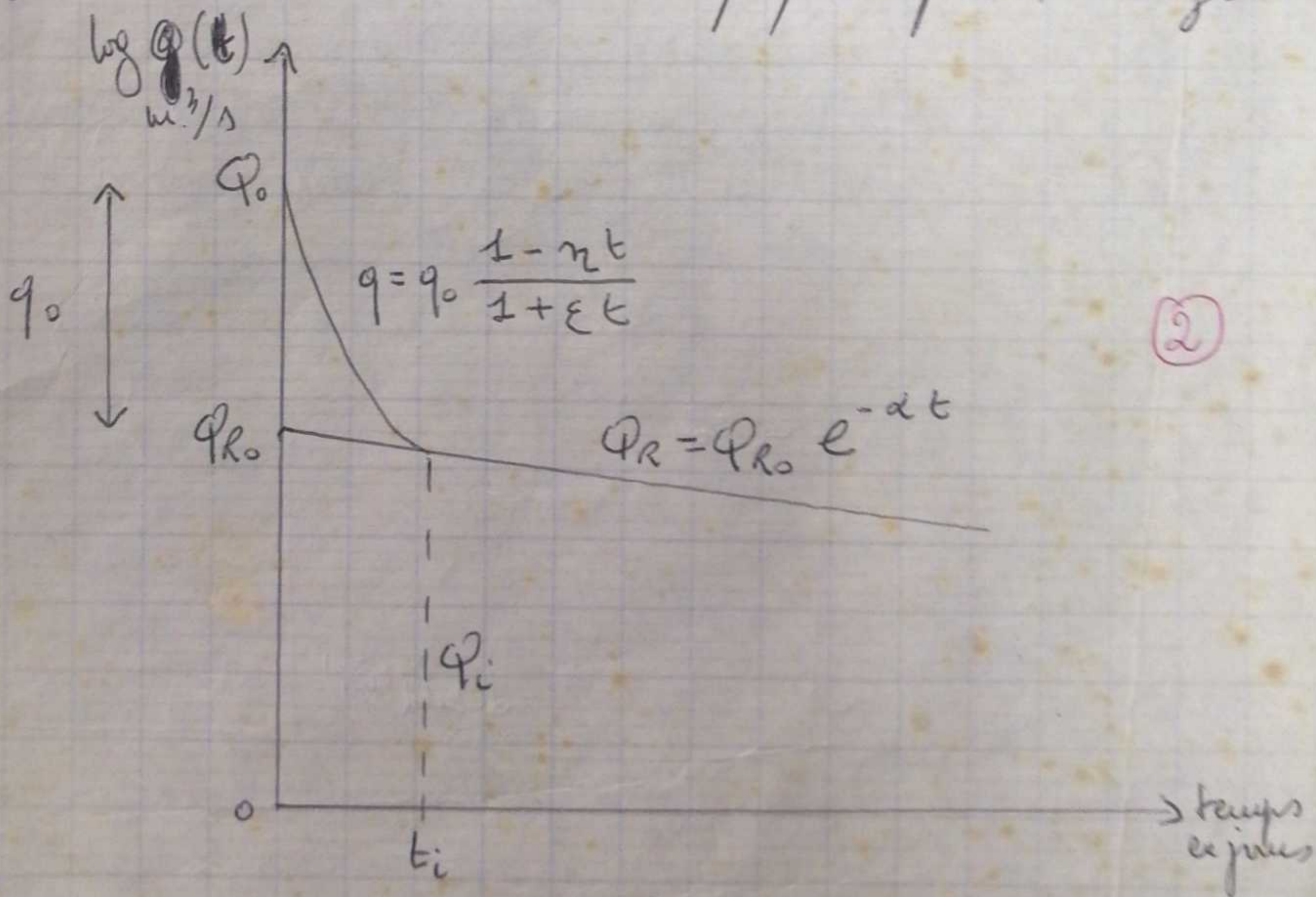
- ① une population d'eau homogène \Rightarrow une seule loi d'écartement
- ② une population hétérogène \Rightarrow 2 lois d'écartement \Rightarrow présence d'une anomalie liée à un effort
- ③ - - - - - \Rightarrow - - - - - \Rightarrow présence d'une anomalie liée à une perte

La présence d'anomalie au Mon doit être vérifiée sur le terrain pour confirmer l'interprétation des courbes.

(3) Analyse des courbes de recession

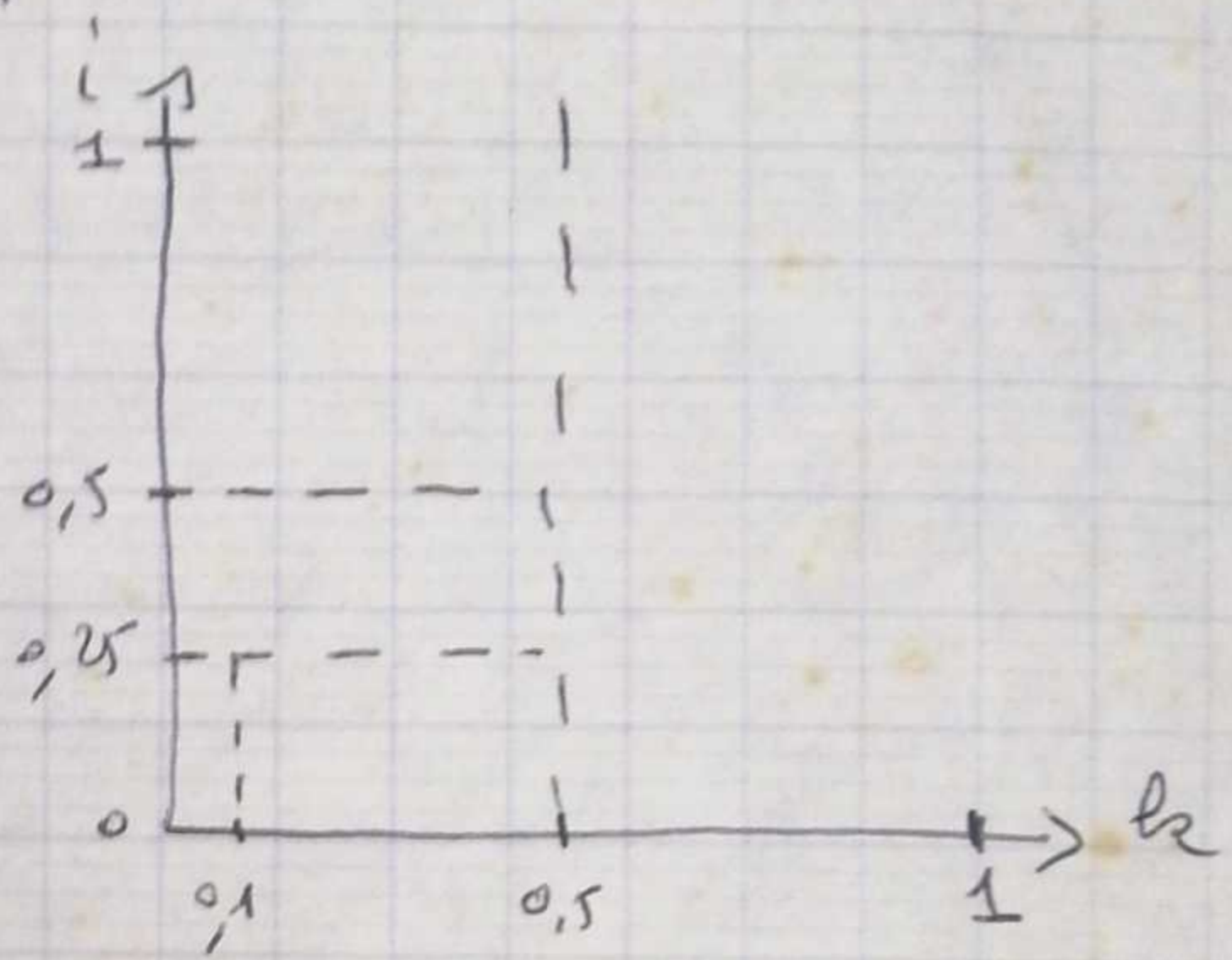
cette analyse permet de caractériser le comportement d'un système dans des conditions hydrologiques définies celle de la décrue suivie du tarissement.

la courbe de recession correspond à la partie d'écrêtement de l'hydrogramme et peut être divisée en deux parties caractérisant les deux zones du système brustique: la zone non saturée et la zone saturée (1)
la méthode utilisée est celle proposée par A. Naugui



la fonction utilisée: $Q(t) = q_0 \frac{1 - \eta t}{1 + \xi t} + Q_{R0} e^{-\alpha t}$

$$V_G = \text{Volume de travail} = P_{\text{moy}} \times 86400 \times 365$$



en general si on a $k_2 < 0,5 \Rightarrow$ on est dans le domaine bastifié

- lorsque $k_2 < 0,1$ et $i < 0,25 \Rightarrow$ système lieu bastifié avec des réserves très importantes.

- lorsque i compris entre $0,25$ et $0,5$ et $k_2 < 0,5 \Rightarrow$ bast d'auvent bastifié en avant qu'en aval.

- lorsque $i > 0,5$ et $k_2 < 0,5 \Rightarrow$ bast complexes.

6 bis 1

$$Q(t) = q_0 \frac{1 - \tau t}{1 + \varepsilon t} + Q_{R0} e^{-\alpha t}$$

t : représente le temps en jours

τ : le coefficient caractérisant la durée ou la vitesse de l'infiltration, il est égal à

$$\tau = \frac{1}{t_i}$$

t_i = représente la durée de l'infiltration après le passage de la crue.

$$\varepsilon = \frac{q_0 - q}{q \times t} - \frac{\tau q_0}{q} = \frac{q_0(1 - \tau t) - q}{q \times t}$$

α = représente le coefficient de tarissement

$$\alpha = \frac{\log q_1 - \log q_2}{0,4343(t_2 - t_1)}$$

avec $q_2 < q_1$ et $t_2 > t_1$

- (*) Le premier terme de la fonction définit la courbe de décrue (vidange de la zone d'infiltration)
- le second terme, la courbe de tarissement (vidange du bœuf méyé)

(1) $q_{(t)} = q_0 \frac{1 - \tau t}{1 + \varepsilon t}$

(2) $Q_R(t) = Q_{R0} e^{-\alpha t}$