

L'EVAPORATION, COMPOSANTE MAJEURE DU CYCLE HYDROLOGIQUE

B. POUYAUD

Ainsi que les autres phénomènes climatologiques, l'Evaporation ne peut s'appréhender et se définir qu'à des échelles spatiale et temporelle bien précises qui seules permettront de rester compréhensibles et pertinents. En effet, l'EAU, élément fluide par excellence, est dans l'environnement terrestre dotée d'une dynamique propre que l'on résume sous l'appellation "Cycle de l'EAU". Ce cycle a l'avantage d'être à l'échelle humaine, donc observable :

- Les phases dynamiques du cycle s'exercent entre des phases de stockages plus ou moins longues et stables : océans, lacs, surface du sol et nappes pour la phase liquide, vapeur de l'atmosphère et nuages pour la phase vapeur.

- l'Evaporation est la première des phases dynamiques du cycle qu'elle amorce en injectant dans l'atmosphère les masses de vapeurs d'eau prises par échange énergétique à la surface des océans, des lacs, des sols et de la végétation. Emportées par les vents, eux-mêmes produits au moins en partie par l'importance de ces échanges énergétiques, ces masses de vapeur d'eau se transformeront bientôt en nuages et en pluies, dont une partie engendrera sur les continents, rivières et fleuves, et moins rapidement, lacs et nappes, pour aboutir finalement à l'océan, bouclant ainsi l'immuable cycle hydrologique.

L'Evaporation est l'élément invisible de ce cycle, dont l'évaluation sera bien souvent indirecte, fruit du bilan hydrique, exprimant la conservation de l'élément EAU dans un système (échelle spatiale) et pour un intervalle de temps (échelle temporelle) donnés.

Certes, grâce aux efforts convergents, mais pas toujours

conjugués, des hydrologues et des agroclimatologues, évaporation et évapotranspiration sont maintenant relativement bien connues dans la zone climatique traditionnellement investiguée par l'ORSTOM. C'est ainsi que des ouvrages de synthèse (RIOU, 1972 ; POUYAUD, 1985) fournissent des méthodologies d'approche et d'estimation de l'évaporation sur nappe d'eau libre, ou plus généralement de l'évapotranspiration locale ou régionale, pour les diverses zones écologiques à diverses échelles de surface et de temps. Il n'est pas dans notre intention de détailler ici ces diverses approches complémentaires, dont certaines font l'objet des communications précédentes ou à venir des thèmes 2, 3 et 4 de ce séminaire, mais d'approfondir l'une d'entre elles, celle du bilan hydrologique, pour en extraire toutes ses potentialités. Un bilan hydrologique suppose que soit défini le système sur lequel effectuer ce bilan :

- Il faut donc d'abord décider de sa dimension spatiale, qui ira de la parcelle (quelques m² à quelques ha), au bassin versant (quelques km² à quelques centaines ou milliers de km²). Dans chacun de ces systèmes, on définira puis utilisera, aux côtés des autres termes physiques classiques du bilan hydrique (pluie, apports, infiltration, stockage et déstockage...), une grandeur correspondant aux quantités d'eau évaporées ou évapotranspirées par le système. La signification physique de ce terme sera fort différente d'une situation spatiale à une autre :

- Dans un cas (la parcelle), ce sera par exemple l'ETR de la végétation croissant sur la parcelle.

- Dans un autre, le Bassin Versant, (B.V) ce pourra être un déficit hydrologique, différence entre pluie et écoulement de toutes sortes, dont la signification variera d'une ETR régionale à une quasi ETP maximale selon les disponibilités en eau et les surfaces de sol nu ou couvertes par une végétation à l'état physiologique plus ou moins satisfaisant.

- Il convient ensuite de décider aussi de l'échelle temporelle

significative qui sera bien sûr étroitement liée à l'échelle spatiale déjà définie :

- Pour la parcelle, l'échelle ad hoc (Fig.1) sera au moins celle de l'épisode pluvieux, voire inférieure si l'on veut prendre en compte les intensités (de la pluie, de l'infiltration, du ruissellement). A cette échelle une bonne formule explicitant le bilan pourrait être pour un système constitué de la surface et d'une tranche superficielle du sol de la parcelle :

$$(P + E).A + Q_a + Q_p = dS/dt$$

où P : précipitation moyenne sur le système de référence, durant dt

E : évaporation durant dt

A : surface de référence du système

Q_a : apport en eaux de surface Q_{ea} ou souterraines Q_{sa} ,
 $Q_{ea} + Q_{sa} = Q_a$

Q_p : pertes en eaux de surface Q_{ep} ou souterraines Q_{sp} ,
 $Q_{ep} + Q_{sp} = Q_p$

dS/dt : variation instantanée de la quantité d'eau stockée par le système.

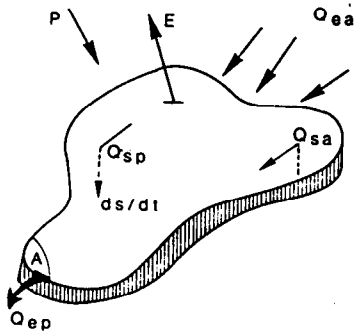


Fig-1- BILAN HYDROLOGIQUE
SUR PARCELLE

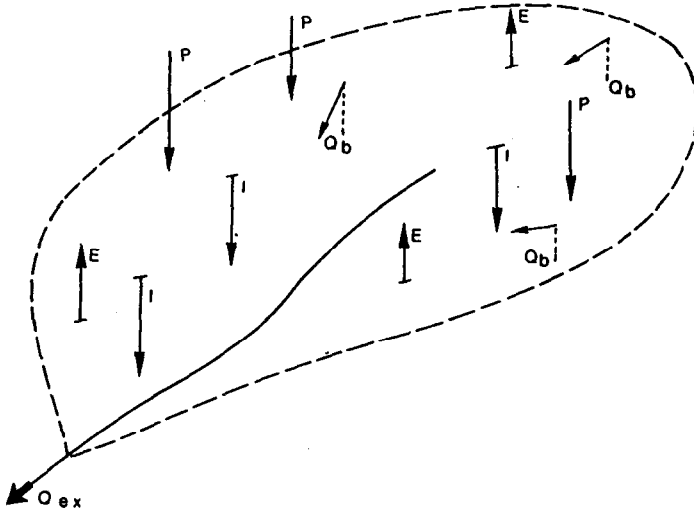


Fig-2- BILAN HYDROLOGIQUE SUR BASSIN VERSANT

- Pour le bassin versant et selon sa taille, le bilan s'effectuera à l'échelle de la crue, du mois, de la saison des pluies ou de l'année hydrologique, voire à l'échelle interannuelle pour les très grands bassins versants dotés d'une forte régulation interannuelle par des nappes profondes importantes. A ce niveau d'appréhension, la formalisation du bilan hydrologique n'est plus aussi évidente :

- Si l'on définit d'abord le système (Fig. 2) comme la seule interface sol-atmosphère du B.V., on pourra par exemple écrire un bilan sur une période de référence choisie . T :

$$\sum_A P + \sum_A E + \sum_A I + \sum_A Q_b + \sum Q_{ex} = 0$$

où $-\sum_A P$: double intégration sur ΔT et la surface A du B.V. des pluies ponctuelles P.

- $\sum_A E$: idem pour les évaporations ponctuelles E.
- $\sum_A I$: idem pour les infiltrations ponctuelles I
- $\sum_A Q_b$: idem pour les apports d'origines souterraines Q_b
- $\sum Q_{ex}$: intégration sur ΔT des écoulements à l'exutoire du B.V.
- à rajouter des termes de stockage superficiel dans le système.

Il s'agit en fait de la formulation classique du bilan hydrologique d'un grand bassin versant où le rapport $\sum Q_{ex} / \sum_A P$ est le coefficient d'écoulement K_e du B.V. pour la période ΔT de référence.

- Mais on peut maintenant définir aussi le système (Fig.3) comme l'association de l'interface sol-atmosphère précédente, surmontée d'une tranche d'atmosphère suffisante pour intégrer tous les échanges pluies/évaporations sous forme vapeur localisés sur le B.V. La formulation du bilan hydrologique sera alors sensiblement modifiée :

$$\sum_A + \sum_A I + \sum_A Q_b + \sum Q_{ex} + \Delta S = 0$$

où \sum_A : intégration sur ΔT des apports de vapeur d'eau atmosphérique.

ΔS : variation sur ΔT du stock de vapeur d'eau atmosphérique et des autres termes de stockage superficiel.

On remarquera que les termes $\sum_A P$ et $\sum_A E$, considérés comme des éléments internes au système, ont disparu, remplacés par le terme ΔS .

Cette formulation est particulièrement riche si l'on admet que les termes $\sum_A I$ et $\sum_A Q_b$, qui représentent les bilans du système avec le sous sol, et le terme ΔS deviennent négligeables devant les deux autres, sur une assez longue période ΔT .

On aboutit alors à $\sum A + \sum Q_{ex} = 0$

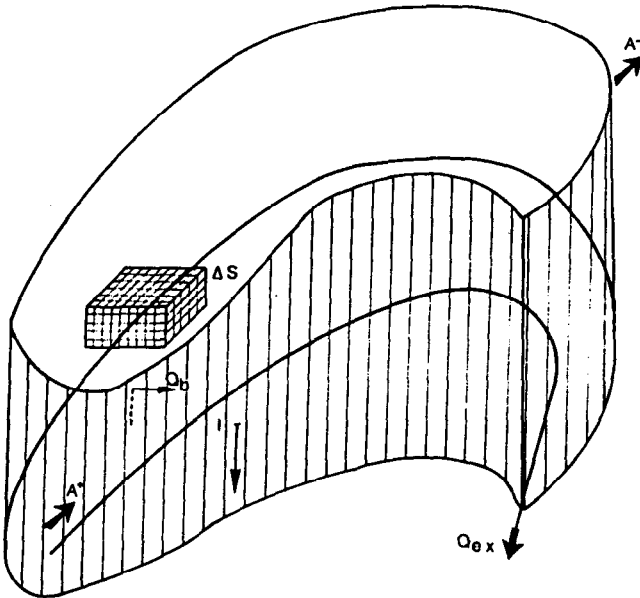


Fig-3- BILAN HYDROLOGIQUE SUR BASSIN VERSANT,
CIRCULATION ATMOSPHERIQUE INCLUSE

A l'échelle d'un grand B.V. et sur une très longue période l'écoulement à l'exutoire est égal à l'apport atmosphérique en vapeur d'eau, ou, exprimé autrement, le rapport $\sum A / \sum_A P$ de cet apport atmosphérique à la pluviométrie moyenne sur le B.V., est égal au coefficient d'écoulement moyen du même B.V.

Il est alors intéressant d'utiliser cette approche pour de grands bassins fluviaux comme celui du Niger par exemple :

- A sa sortie de la zone tropicale, le Niger à Koulikoro, augmenté du Bani à Douna draine un bassin versant d'à peu près 220000 km² avec une pluviométrie moyenne "normale" d'environ 1450 mm à laquelle correspond un module d'à peine plus de 2200 m³/s.

Sur ces bases le déficit d'écoulement atteint 1150 mm, c'est-à-dire un coefficient d'écoulement de 20 %.

A Dire, au sortir de la zone lacustre, pour 330000 km² environ, le module n'est plus que de 1100 m³/s. Quoique pluie moyenne et déficit d'écoulement n'aient plus grande signification, il leur correspond néanmoins un coefficient d'écoulement qui ne dépasse plus 10 %.

Avec notre approche cela signifie que moins de 10 % des précipitations tombées sur le grand bassin du Niger proviennent des apports de vapeur d'eau atmosphérique extérieurs. Cet apport de vapeur d'eau atmosphérique, qui est le seul apport extérieur au système, "sert" donc plusieurs fois en effectuant plusieurs "aller-retour" atmosphère->sol->atmosphère et est donc en fait comptabilisé plusieurs fois dans l'élaboration de la pluie moyenne à l'échelle d'un grand bassin. La figure 4 donne un schéma très sommaire de ce processus dans le cas de l'Afrique de l'Ouest. Cette constatation, extrêmement triviale, pose plusieurs questions qui le sont moins :

- Quel est l'ordre de grandeur du rapport de cet apport d'eau atmosphérique, annuel par exemple, au volume de l'eau atmosphérique mobilisable en un instant donné pour un tel grand bassin fluvial ?

La réponse quantitative à une telle question n'est pas simple, même si l'exploitation des radiosondages effectués en stations synoptiques peut sans doute apporter une réponse au moins qualitative.

- L'approche précédente se justifie, intuitivement tout au moins, à l'échelle d'un grand B.V. continental, tour à tour par exemple recouvert par l'air humide de la mousson, puis sec de l'Harmattan. Sa justification devient plus délicate à l'échelle du petit B.V. Pourtant la simple constatation de l'augmentation rapide de ce qu'il est convenu d'appeler aussi coefficient d'écoulement, lorsque la surface du B.V. décroît, reste homogène avec notre approche. Il est intuitivement évident qu'à l'échelle des petits bassins versants (inférieurs à quelques centaines de km²), le nombre des aller-retours sera minoré, même si dans ce concept doivent être incluses les surfaces voisines amont et aval sur lesquelles transitent aussi cette vapeur d'eau.

Le cas des bassins versants endoréïques, par sa singularité même, est particulièrement démonstratif. Le coefficient d'écoulement interannuel, sur les 300 km² environ du bassin de la mare d'Oursi, approche les 20 %. L'infiltration étant à peu près négligeable, c'est donc environ 80 % de la pluviométrie qui sont restitués à l'atmosphère si l'on considère le bassin versant amont. Ces 80 % deviennent 100 % si l'on prend en compte l'endoréïsme du bassin, considéré cette fois en sous-bassin d'un bassin plus vaste, ici celui du Beli par exemple.

En termes hydrauliques, on parlera donc de dégradation des réseaux hydrographiques, d'augmentation des zones d'inondation à évaporation déterminante ou des zones d'épandage à reprise par évapotranspiration rapide. Dans les termes de notre approche, on parlera de précipitations successives dont le pourcentage d'autorecyclage augmenterait au fur et à mesure que s'accroîtraient les surfaces de bassin versant en cause.

Les concepts qui soustendent cette approche sont donc extrêmement triviaux et seul est original l'angle de vision de leur présentation. Ils peuvent être néanmoins une direction de recherche intéressante, alliant hydrologues, bioclimatologues et physiciens de l'atmosphère, qui par leurs apports respectifs à

une modélisation globale du cycle de l'eau à l'échelle de bassins versants de surfaces croissantes, essaieraient d'expliquer cette régionalisation du coefficient d'écoulement, ou de l'ETR ou encore de la circulation globale de la vapeur d'eau, formulations disciplinaires convergentes de la même réalité.

Cette approche originale contribuerait certainement à expliquer les baisses récentes de la pluviométrie actuelle en Afrique de l'Ouest, non seulement par la réduction de la vapeur d'eau incidente mais par une réduction probable du nombre ou de l'importance de ces "aller-retours", qui sont certainement, autant, sinon plus, explicables par les modifications de l'interface évaporante (rugosité, eau disponible, température de surface et albedo) que par la modification même de la circulation planétaire de la vapeur d'eau atmosphérique.

Alors pourrait être plus valablement analysée, et peut-être expliquée, l'influence de l'anthropisation, de la déforestation et des modifications concomitantes de la surface des sols sur la pluviométrie, considéré comme l'intégration dans le temps et l'espace de ces "aller-retours", plutôt que comme le seul résultat d'un flux de vapeur d'eau incident plus ou moins intense.

Enfin, et c'est aussi une direction possible de recherches, on pourrait imaginer l'existence de seuils dans les stocks atmosphériques de vapeur d'eau mobilisables au-dessus d'une région, seuils au-dessous desquels ne pourrait valablement s'amorcer ou s'entretenir le processus d'"aller-retour" précité. Ainsi aborderait-on, sous un angle déterministe, la notion de persistance interannuelle de périodes sèches, qui fait que l'existence d'une seule saison des pluies très déficitaire au milieu d'autres saisons des pluies "normales", ne correspond pas au même ensemble de phénomènes qu'une série anormalement longue de saisons des pluies toutes déficitaires, même si les pluies individuelles, dont elles sont les sommes, restent réductibles

en trois grandes familles d'épisodes pluvieux, dont les caractéristiques propres restent intangibles, même si leurs occurrences respectives varient.

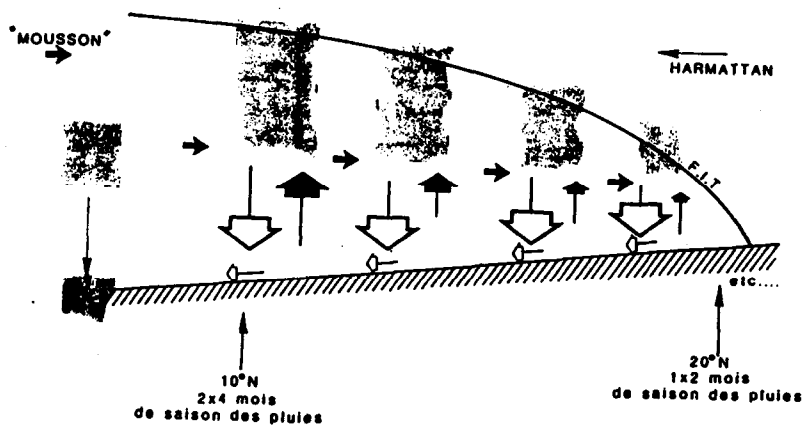


Fig-4- CIRCULATION HYDRIQUE SCHEMATIQUE SUR L'AFRIQUE DE L'OUEST