

D.IBIZA

INTERPRETATION DES MESURES D'INFILTRATION SOUS PLUIES SIMULEES A PARTIR DU PRINCIPE DU BILAN HYDRIQUE: BASSIN DE POLAKA SUR LA MARE D'OURSI

J'ai établi une fonction de production aux petits pas de temps suivant le principe du bilan hydrique et j'en reparlerai demain.

Aujourd'hui, je voudrais proposer une interprétation de mesures d'infiltrométrie sous pluies simulées à partir du principal algorithme de cette fonction de production. J'ai choisi d'illustrer cette méthode d'interprétation à partir des mesures effectuées sur le bassin de POLAKA de la mare d'OURSI, en zone semi-aride, bien que la technique du bilan hydrique soit mieux adaptée à un milieu où le recouvrement végétal est important.

ALGORITHME MODELISABLE SIMPLIFIE

Le bilan hydrique est une conception macroscopique de l'hydrologue qui tend à expliquer la dynamique de l'infiltration à partir de l'évolution de capacités de stockage superficielles. Dans mon algorithme, il est fait allusion à des capacités d'interception de surface et de subsurface. En zone semi-aride cet algorithme se simplifie considérablement: l'interception de subsurface qui produit du ressuyage rapide (encore appelée drainage oblique ou écoulement hypodermique) ne peut se produire qu'en présence de végétation et sur un sol en pente. L'un et l'autre sont faibles sur le bassin de POLAKA et il y a une double raison pour que ce phénomène soit négligeable. Pour sa part, le microrelief, ou rugosité, résultant de l'implantation des graminées que l'on rencontre sur ce bassin est pratiquement nul et on peut également tenir pour négligeable l'interception de surface de ce type de couvert végétal.

On peut, dans ce cas résumer la dynamique de l'infiltration à une dynamique de HORTON, c.a.d que l'on a alors une intensité d'infiltration lorsque la pluie est saturante (c.a.d lorsque l'intensité de la pluie est supérieure à l'intensité d'infiltration), qui est indépendante de l'intensité de la pluie, et qui décroît depuis le début de la pluie et qui se stabilise à une intensité constante qu'il est convenu d'appeler le régime permanent. Le terme exponentiel décroissant traduit la réhumidification du sol en cours d'averse: il est lié au déficit d'humidité dans l'horizon végétal. Je ne suis pas sûr que le terme constant existe depuis le début de l'averse et on admettra pour simplifier que ce terme n'apparaît que lorsque le sol a été réhumidifié en surface. Si on considère que l'intensité d'infiltration pendant la phase de réhumidification évolue suivant une loi exponentielle de la forme:

$$FN = FNo e^{-\delta t}$$

Le déficit dans le sol, pour sa part est le volume sous tendu par cette exponentielle et il évolue sous la forme:

$$D = DO e^{-\delta t} \quad \text{et} \quad FN = \delta D$$

DO est le déficit dans le sol, en début d'averse. Au début de la première averse, le sol est initialement asséché et le déficit est égal à la RFU, paramètre que j'appelle aussi DEFMAX.

Récapitulons: Les équations de la dynamique de l'infiltration peuvent s'écrire, en simplifiant beaucoup:

POLAKA : Protocole des pluies simulées			
Sol initialement sec			
P ₁	: Pluie d'imbibition	de	30 mm. en 30 minutes
S ₁	: Intervalle sans Pluie de 1/2 journée	ETP =	10 mm./jour
P ₂	: Pluie annuelle	de	47 mm. en 40 minutes
S ₂	: Intervalle sans Pluie de 1 jour		
P ₃	: Pluie annuelle	de	47 mm. en 40 minutes
S ₃	: Intervalle sans Pluie de 4.5 jours		
P ₄	: Pluie annuelle	de	47 mm. en 40 minutes
S ₄	: Intervalle sans Pluie de 1.5 jours		
P ₅	: Pluie décennale	de	90 mm. en 105 minutes

Fig. 10 Protocole des averses simulées

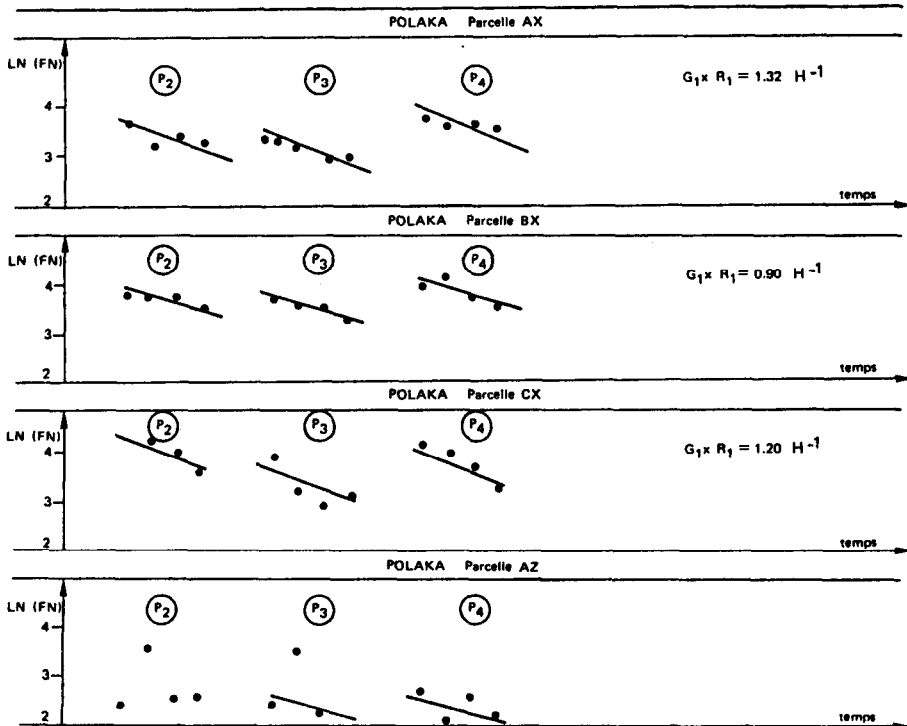


Fig. 11 Evaluation du gradient d'assèchement à partir de mesures sur simulateur de pluies

- $D > 0$: horizon végétal non encore entièrement réhumidifié
FN = δ D

Lorsque la pluie n'est pas saturante c'est le déficit qui évolue seul en appliquant l'équation de continuité.

- $D = 0$ sol à l'état au champ
FN = F₁₀

Il y a trois paramètres: la valeur du coefficient de l'exponentielle δ , la valeur de l'intensité d'infiltration constante du régime permanent F₁₀, La dimension de l'horizon végétal DEFMAX ou RFU.

MESURES D'INFILTROMETRIE SUR LE BASSIN DE POLAKA

Sur ce bassin, il y avait trois sites de mesures A,B,C sélectionnés en fonction de la pédologie. Les pellicules étaient fortement présentes sur le site C. Sur chaque site trois répétitions X,Y,Z qui tiennent compte du couvert végétal.

- X couvert de graminées assez dense mais chétive (KROM-KROM)
- Y,Z sur sols nus. les répétitions Y, Z sont identiques de sorte que l'échantillonnage se résumait de la façon suivante:
- AX,BX,CX couvert de graminées à densité de recouvrement assez forte
- AY,BY,CY sol nus.

Nous présentons les mesures dans cet ordre parce que les résultats montrent que la végétation est le facteur dominant de différenciation.

DETERMINATION DU COEFFICIENT δ

Sur la figure 11, on s'est contenté de reporter les FN en logarithmes NEPERIENS en fonction du temps. Il y a une assez forte dispersion mais les résultats sur les trois parcelles AX,BX,CX sont néanmoins assez homogènes. La valeur de δ désigné sur ces figures par le produit $G_1 \times R_1$ est de 1,2 heure⁻¹ ou 29 jour⁻¹; On voit déjà que cette dynamique ne peut, en aucun cas, être confondue avec une dynamique de KOHLER dont le coefficient est voisin de 0,8. On peut, si on veut, représenter l'évolution de l'assèchement, en période sèche par une dynamique de KOHLER, mais dès que la pluie commence, il y a un changement de vitesse.

Sur la parcelle nue AY, un peu sableuse, il n'y a pas beaucoup d'infiltration et l'ajustement d'une droite n'est pas très convainquant.

Les autres parcelles BY et CY ont ruisselé pratiquement à 100 %

DETERMINATION DE DEFMAX ET DE F₁₀

Sur la figure 12 on a représenté les FN en coordonnées naturelles et sur la ligne du dessus on inscrit la quantité d'eau contenue dans le sol. L'interprétation est effectuée en séquence c'est à dire qu'on tient compte de l'évaporation pendant les périodes sèches intermédiaires. Le protocole des séquences pluvieuses et des séquences sèches est rappelé sur la figure 10. On part d'une réserve en eau (facilement utilisable) nulle, $D_0 = DEFMAX$. La quantité qui pénètre dans le sol est la quantité mesurée d'infiltration et on connaît à la fin de chaque séquence l'état du stock dans le sol: $DEFMAX - D$. On estime l'évaporation pendant la séquence sèche suivante. Pour les courtes périodes d'une 1/2 journée, on prend l'ETP qui a été calculée dans la région par la formule de PENMAN, en s'appuyant sur des mesures locales sur bac COLORADO. Cette ETP est de 10 mm/jour ou 12 mm/jour, suivant les parcelles (Les mesures n'ont en effet pas été effectuées à la même époque). Pour les périodes de 4,5 jours, on applique

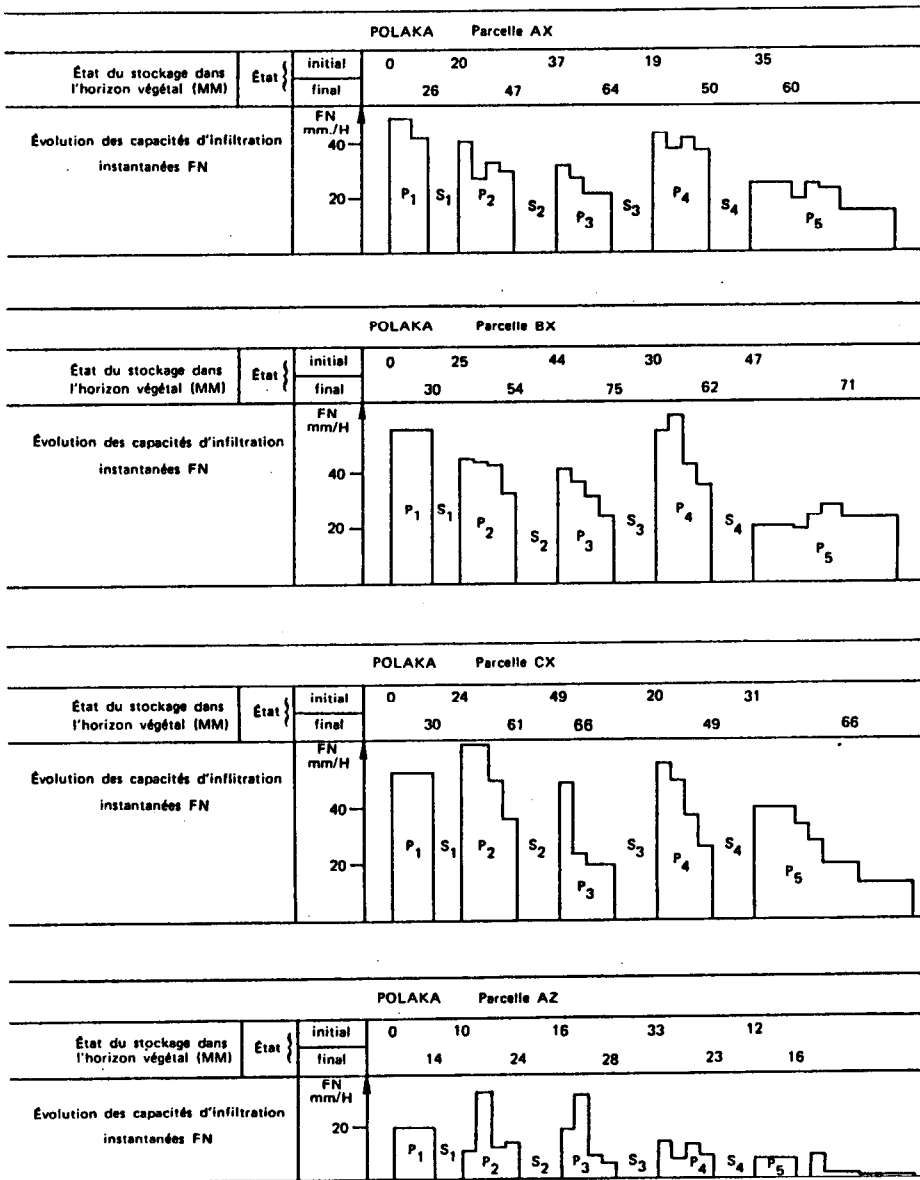


Fig. 12 Évaluation de DEFMAX et de Flo à partir du mini-simulateur de pluies

à l'ETP une réduction analogue à celle que calculerait le programme. On obtient la réserve en eau du sol au début de la séquence pluvieuse suivante et ainsi de suite.

On recherche les périodes où l'intensité d'infiltration se stabilise et devient égale à F_{10} , mais c'est ici qu'on est amené à faire des réserves sur le protocole et la représentativité des mesures.

Le pallier est en effet obtenu à la fin de la troisième averse où l'infiltration est identique sur les deux derniers pas de temps élémentaires de 10 minutes. On retrouve ce résultat au milieu de la cinquième averse qui est décennale, mais ensuite les intensités de pluie commencent à être trop importantes et d'après moi le sol "craque" par suite d'un protocole trop chargé: trois averses annuelles suivies de deux averses décennales en une semaine. Dans les conditions naturelles, je suis prêt à admettre que le sol souffre pendant une forte averse mais il a ordinairement le temps de "récupérer" et de se restructurer, avant la prochaine forte averse et la végétation l'y aide sans doute. Il ne faut pas oublier qu'on est ici sur un sol fragile de fin de saison sèche et que la végétation est morte. Pour ma part, je considère que les mesures commencent à ne plus être significatives au milieu de la cinquième averse et que la sixième averse décennale ne doit pas être interprétée.

Compte tenu de ce critère de stabilisation de l'intensité d'infiltration à hauteur de F_{10} et des réserves faites précédemment, on obtient à la fois la valeur de F_{10} et de DEF_{MAX} . En effet si on se reporte à l'état de la réserve en eau dans le sol de la parcelle AX au début du pallier de l'averse P3 on trouve une réserve de 60 mm environ et on retrouve cette valeur au milieu de l'averse P5. Le raisonnement est le même sur les autres parcelles et on apprécie l'avantage d'un protocole identique sur toutes les parcelles.

Les résultats sont parfaitement groupés sur les trois parcelles sous couvert végétal .

- Pour DEF_{MAX} 60, 75 et 66 mm .C'est la valeur que nous avons l'habitude de prendre en modélisation pour un couvert végétal sur sol assez sableux en régime tropical et on voit que les mesures confirment les fictions.

- Pour F_{10} : 20 mm/h environ, ce qui caractérise un sol assez sableux.

Une remarque importante encore sur ces mesures .L'averse P3 où on atteint la réhumidification complète est encadrée par deux averses qui ont produit davantage d'infiltration. Si on se reporte à l'état initial de la réserve dans l'horizon végétal, on voit que cette réserve était faible pour ces deux averses où l'infiltration n'a pas atteint le régime permanent alors que cette réserve initiale est bien plus élevée au début de l'averse P3 .On voit que l'état initial d'humidité du sol intervient beaucoup dans l'infiltration alors que ce résultat n'était pas aussi net dans l'interprétation de ces mesures à partir d'un indice d'humidité de type KOHLER. C'est sans doute que cet indice donne une idée trop imprécise de l'état initial d'humidité.

Sur la parcelle dénudée AY, DEF_{MAX} est bien plus faible et vaut 25 mm . F_{10} est nul. le plaquage sableux était peut-être peu épais.

Sur les parcelles BY et CY ,il n'y a pratiquement pas d'infiltration.

On ne voit pas apparaître l'effet des pellicules de battance. Les parcelles à couvert végétal se comportent comme on l'attendait ,comme des sols assez perméables et une RFU assez faible mais en rapport avec le rachitisme de la végétation. Les sols nus argilo-sableux, pour leur part, sont initialement compactés et ruissellent énormément dans tous les cas, avec ou sans pellicule de battance.

MODELISATION J'ai procédé à la modélisation sur le bassin versant de POLAKA et je trouve des corrélations (valeurs observées-valeurs calculées) qui sont la première bissectrice, aussi bien sur les lames ruisselées que sur les débits maximums. Cela confirme le bien fondé des réserves qui ont été faites sur la non représentativité des mesures de fin de protocole. La modélisation empirique qui avait été faite antérieurement, à partir du calcul d'un indice de KOHLER, et en prenant en compte toutes les mesures avait en effet donné un coefficient "d'échelle" très inférieur à 0,5

Dans la modélisation sous pluies réelles que j'ai effectuée, la valeur de l'état initial d'humidité du sol, en début d'averse, est presque toujours nulle ($DO = DEFMAX$), et on voit que les plantes sont à la limite de la survie.

La valeur de la réserve en eau en fin d'averse dans les sols à couvert de graminées est de 15 mm environ. Cela correspond à une réhumidification des 7,5 premiers centimètres du sol. C'est très peu mais cela tient au fait que la partie utile de l'averse est très courte (très souvent inférieure à une 1/2 heure) et on ne peut pas demander aux sols, même perméables, d'infiltrer plus que ce qu'ils ne peuvent faire.

CONCLUSION

1) Le protocole de mesures des premières campagnes (je sais qu'on a fait mieux depuis) semble excessivement sévère. Si on considère comme valable ce test de l'intensité d'infiltration constante, de valeur F_{10} , à l'état au champ, caractérisant le régime permanent, et qui correspond en hydrologie à la notion de seuil minimal d'infiltration, le sol des parcelles apparaît comme "matraqué" à l'issue de la quatrième averse, c.a.d de la troisième averse annuelle et les cinquième, sixième et dans certains protocoles, septième averses produisent des mesures dénaturées. Ces conclusions sont valables aussi pour les mesures effectuées plus au sud à KORHOGO, par exemple, mais elles n'affectent pas, semble t'il, les mesures en forêt où les sols sont vraisemblablement mieux protégés, par la litière, ou l'humus végétal.

La prise en compte de ces mesures non représentatives de fin de protocole explique, selon moi, les coefficients d'échelle souvent peu réalistes qui ont été trouvés dans la modélisation à partir de l'indice de KOHLER. J'estime également que l'indice de KOHLER est un faux ami, mais cela est une affaire d'opinion.

2) La végétation, si on en juge par les résultats qui ont été présentés ici met en déroute les pellicules de battance, pour peu que la densité de recouvrement soit suffisante, ce qui ne veut pas dire que son volume doit être nécessairement important. Les pellicules argileuses qui sont les plus dangereuses, apparaissent principalement sur des sols initialement dénudés, compactés et imperméables, sauf cas de désertification récente de la végétation et il n'est pas certain que ces pellicules, même si leur observation est incontestable, jouent un rôle déterminant dans l'infiltration. Ce n'était pas le cas sur ce bassin.

Ces pellicules semblent la conséquence de la désertification et il me semble qu'il serait audacieux de prétendre l'inverse avec tous les sous entendus agronomiques que cela suppose.

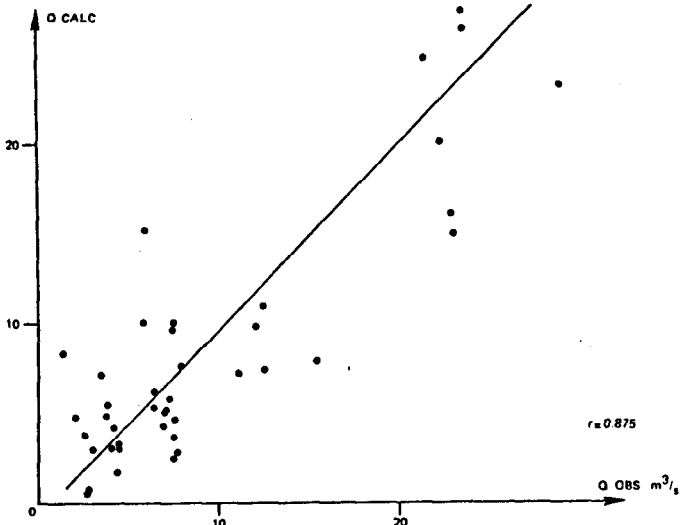


Fig. 13 POLAKA. Corrélation entre débits maximums calculés ↔ observés

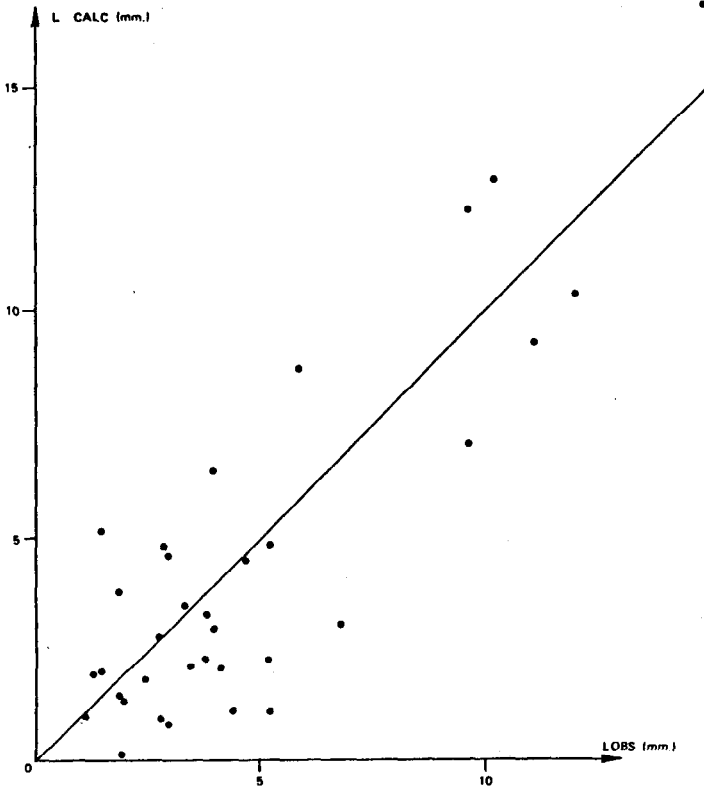


Fig. 14 POLAKA. Corrélation entre lames calculées et lames observées sur 33 crues dont un des débits de pointe $> 3 \text{ m}^3/\text{s}$