

# L'AGRONOMIE TROPICALE

Extrait du n° 12  
DÉCEMBRE 1965

## ÉTUDES HYDROLOGIQUES APPLIQUÉES A LA MISE EN VALEUR DES SOLS

par  
J.-H. DURAND



11048

**ÉTUDES HYDROLOGIQUES APPLIQUÉES  
A LA MISE EN VALEUR DES SOLS**

par  
**J.-H. DURAND**

# ÉTUDES HYDROLOGIQUES APPLIQUÉES A LA MISE EN VALEUR DES SOLS

par  
J.-H. DURAND

## 1) INTRODUCTION

La recherche des eaux pour l'irrigation est du domaine de l'hydrologue pour les eaux superficielles et de l'hydrogéologue pour les eaux profondes, l'étude de la qualité de ces eaux a été traitée dans une note précédente. Il ne sera question ici que des eaux nuisibles pour l'agriculture, soit parce qu'elles inondent le terrain, soit parce que leur présence sous forme de nappe provoque l'apparition d'une toxicité pour les plantes, que cette toxicité soit due aux sels ou à l'engorgement par l'eau.

## 2) EAUX D'INONDATION

### 2.1) EAUX STAGNANTES, DE LAC OU DE MARAIS.

L'étude de ces eaux intéresse l'agriculture s'il s'agit d'assécher le lac ou le marais pour récupérer les terres ou d'utiliser l'eau pour l'irrigation.

Dans l'un et l'autre cas, il faudra connaître :

- 2.1.1) Le mode d'alimentation en eau ; ruissellement, alimentation souterraine ;
- 2.1.2) Le débit, pérenne ou intermittent, à évacuer ; il dépendra étroitement du débit d'alimentation ;
- 2.1.3) La quantité d'eau à évacuer ;
- 2.1.4) La quantité d'eau disponible.

### 2.2) EAUX DE CRUES.

Les crues sont dues à l'arrivée dans un bassin d'une quantité d'eau supérieure à celle qui peut être évacuée par son exutoire naturel. Elles peuvent être dues à la fonte rapide des neiges ou à des précipitations violentes ayant pour conséquences une hausse rapide du niveau de l'eau des rivières.

#### 2.2.1) Définition du bassin versant.

Le bassin versant d'une rivière ou d'un exutoire est la portion de territoire dans laquelle toute l'eau qui ruisselle rejoint cette rivière ou cet exutoire. Il est délimité, en général, par la ligne de crête topographique, mais peut comprendre certains territoires où, grâce aux dispositions de couches géologiques, l'eau qui s'infiltre vient rejoindre, en aval de la ligne de crête topographique, l'eau du bassin topographique considéré. Il convient de remarquer que, dans ce dernier cas, cette alimentation extérieure ne participe pas aux crues par suite de l'amortissement provoqué par l'infiltration et le cheminement de l'eau dans le sol.

#### 2.2.2) Volume d'eau à évacuer.

Il dépend essentiellement de la superficie du bassin versant et de la hauteur de pluie ayant provoqué la crue. Suivant que le bassin est plus ou moins couvert de végétation, la crue est plus ou moins étalée dans le temps. Le débit à évacuer est calculé de telle manière que les cultures qui subissent l'inondation ne soient pas lésées par la présence d'eau (en général, une inondation n'excédant pas quatre ou cinq jours peut être supportée par les plantes).

### 2.3) QUALITÉ DE L'EAU.

La qualité de l'eau d'inondation a une grande importance.

#### 2.3.1) Salinité.

Les eaux salines peuvent apporter aux sols des sels toxiques. Dans ce cas, il faut empêcher totalement l'inondation.

#### 2.3.2) Débits solides.

Les eaux des crues contiennent des débris de terrains arrachés à leur bassin versant. Ils ont souvent une excellente réputation (fertilité des limons du Nil), mais, s'ils sont trop abondants, ils peuvent fort bien enterrer les cultures. Ces débits solides se mesurent en pesant les matériaux non dissous, dans un litre d'eau de crue, obtenus par filtration ou centrifugation.

#### 2.3.3) Régularisation des crues.

Peut se faire par l'aménagement du bassin versant : construction de banquettes, de barrages, etc. Le but est d'éviter l'inondation des terrains. Cet aménagement complète alors l'aménagement de l'évacuation.

### 2.4) EVACUATION DE L'EAU EXCÉDENTAIRE.

Pour réaliser cette évacuation, la connaissance d'un certain nombre de paramètres sera nécessaire.

#### 2.4.1) Débit à évacuer.

Il dépendra du volume de la crue. Il peut se mesurer par l'installation d'échelles de crues ou être calculé à partir de paramètres inhérents à la région considérée : fréquence des crues, débit de ruissellement, etc.

#### 2.4.2) Niveau de l'évacuation.

Le niveau auquel se fera l'évacuation dépendra du réseau hydrographique général auquel se raccordera le canal d'évacuation, il servira de niveau de base au cours d'eau intermittent ainsi créé par l'homme. A partir de ce niveau de base, ce cours d'eau creusera par érosion remontante et tendra à établir son « profil d'équilibre » en fonction des terrains traversés. Cette propriété peut être utilisée pour creuser le canal projeté et il ne faudra jamais oublier d'en tenir compte dans l'établissement des projets. L'évacuation peut se faire par pompage dans un bassin d'accumulation et rejet dans le réseau hydrographique général. Le bassin servira de niveau de base au canal.

#### 2.4.3) Dimension du canal.

Se calculera par les formules habituelles de l'hydraulique. Ce profil transversal dépendra donc du débit à évacuer, de la pente et des terrains traversés. L'existence de nappes affectées par le creusement de ce canal pourra provoquer un certain éboulement des berges si le canal les draine.

#### 2.4.4) Ouvrages à prévoir.

##### 2.4.4.1) Seuils.

Pour rester maître dans une certaine mesure du creusement du canal par l'érosion.

##### 2.4.4.2) Ponts divers.

Construits de manière à ne pas gêner l'évacuation du débit maximum qui passera dans le canal.

## 3) NAPPES PHRÉATIQUES D'ALLUVIONS

### 3.1) DIFFÉRENTS TYPES DE NAPPES.

Les nappes qui se rencontrent dans les alluvions peuvent être de deux types principaux :

#### 3.1.1) Nappe générale.

Une seule nappe se rencontrant dans l'ensemble de la zone considérée.

### 3.1.2) Nappe perchée.

Constituant une lentille d'eau individualisée, ne participant pas aux mouvements de la nappe générale et n'en ayant pas les propriétés.

## 3.2) FORMATION ET ALIMENTATION DES NAPPES.

### 3.2.1) Formation des nappes.

#### 3.2.1.1) Influence de la perméabilité du terrain.

Il est possible d'imaginer un terrain ayant une certaine perméabilité et d'épaisseur indéfinie. L'eau qui tombera sur ce terrain aura en gros trois destins : une partie s'infiltrera, une partie ruissellera et une partie s'évaporerait. Si l'alimentation de la partie qui s'infiltrait n'est pas supérieure à la vitesse d'infiltration et de circulation dans le terrain, l'eau poursuivra son chemin sans ralentissement et ira s'évacuer au loin sans qu'il y ait, à proprement parler, formation de nappe. Si, au contraire, l'alimentation est plus forte que l'infiltration, une portion de terrain restera en permanence gorgée d'eau, il se formera une nappe dont l'importance dépendra du nouveau régime d'évacuation de l'eau qui s'établira. Ce même phénomène se produira chaque fois que la perméabilité du terrain sous-jacent diminuera, dans le cas de la circulation verticale de l'eau.

Dans la nature, ce phénomène précède la circulation normale plus ou moins horizontale des eaux des nappes qui prennent naissance grâce à la perte de charge que ces eaux subissent dans la traversée des alluvions entre le bassin d'alimentation et l'exutoire dans le réseau hydrographique général.

#### 3.2.1.2) Existence d'un seuil imperméable.

En dehors de la perte de charge dont il vient d'être question, l'existence d'un seuil moins perméable peut permettre l'établissement d'une nappe dans les alluvions en empêchant l'écoulement normal de l'eau.

#### 3.2.1.3) Existence de lentilles imperméables.

Les alluvions sont en général hétérogènes et peuvent contenir des parties imperméables de forme lenticulaire. Dans la circulation verticale des eaux d'infiltration, ces lentilles freinent le mouvement des eaux qui peuvent alors s'accumuler au-dessus d'elles. Il se forme une nappe perchée.

### 3.2.2) Alimentation des nappes.

#### 3.2.2.1) Naturelle : pluie et ruissellement.

La pluie est le principal aliment des nappes phréatiques, soit par infiltration directe, soit par infiltration après stagnation dans des zones inondables.

#### 3.2.2.2) Irrigation.

Le fait d'apporter au sol de l'eau d'irrigation augmentera la quantité d'eau qui s'infiltrera aussi soigneusement que puisse être appliquée cette eau supplémentaire. Il en résultera un gonflement des nappes jusqu'à établissement d'un nouvel état d'équilibre dans lequel joueront les apports supplémentaires, l'évacuation vers l'aval et peut-être l'évaporation si la nappe se rapproche trop de la surface. La conséquence de cette suralimentation est de rendre nécessaire, chaque fois qu'un système d'irrigation est mis en œuvre, l'établissement d'un réseau de drainage qui évacuera les eaux excédentaires.

#### 3.2.2.3) Dry farming.

La pratique du dry farming a pour but d'augmenter les réserves en eau du sol en facilitant son infiltration. Elle peut parfois provoquer la formation de marécages si cette alimentation en eau devient trop importante.

#### 3.2.2.4) Augmentation de l'alimentation des nappes.

Peut être rendue nécessaire dans certaines régions. Cette pratique met en œuvre des techniques de traitement des pentes allant du « dry farming » à la construction de banquettes et de terrasses.

### 3.3) ETUDE DE L'ÉCOULEMENT DES NAPPES.

L'exploitation des nappes phréatiques et leur élimination par drainage rend nécessaire de connaître les conditions de leur écoulement.

#### 3.3.1) Carte du toit de la nappe.

Avant d'établir la carte du toit d'une nappe, ou carte piézométrique, il faut être sûr qu'il n'y a qu'une seule et même nappe dans les terrains considérés. Cette certitude peut s'obtenir par l'étude chimique de l'eau de la nappe. Cette question sera traitée dans le paragraphe 3.5.

La carte du toit de la nappe peut être dressée en observant le niveau de l'eau par une série de forages creusés à la tarière et observés jusqu'à ce qu'un niveau stable s'y établisse. Il faut, bien entendu, connaître exactement la cote du point où la nappe est observée. Pour la pratique, la carte de la profondeur de la nappe peut être dressée en même temps, elle intéresse l'agriculture.

#### 3.3.2) Utilisation de traceurs.

Le principe de la méthode est simple : l'eau est marquée dans son périmètre d'alimentation ou en un point présumé en amont de la zone d'observation et le marqueur est recherché dans la nappe en notant le moment de sa réapparition au point choisi ; elle permet de reconnaître le sens de circulation et la vitesse de la nappe. Son succès dépend du marqueur choisi et des terrains qu'il aura à traverser.

##### 3.3.2.1) Colorants.

Le plus connu est la fluoresceïne qui peut se déceler à la dose de  $10^{-9}$ . Malheureusement, les sols acides la retiennent fortement et les sols ferrugineux l'altèrent. Les colorants acides sont moins absorbés par le sol mais ils sont aussi moins sensibles. Les colorants sont surtout recommandés pour les terrains perméables en grand ou à texture très grossière.

##### 3.3.2.2) Produits chimiques.

Le sel marin a été aussi utilisé ; il est repéré par une augmentation de la conductibilité de l'eau observée.

##### 3.3.2.3) Traceurs radioactifs.

Ils peuvent être utilisés à condition de protéger la population pour ne pas la léser. Le plus utilisé est l'iode 131 fourni sous forme d'iodure de sodium. Il présente l'avantage d'être repérable par les compteurs Geiger et d'avoir une période suffisamment courte pour que les mesures de protection de la population non protégée ne soient pas de trop longue durée. L'iode n'est pas absorbé par l'argile mais l'est par les matières organiques du sol. Pour mesurer la vitesse de circulation des nappes, il faudra tenir compte du fait que le rayonnement émis par l'iode est très pénétrant. Le tritium serait utilisable, mais outre le fait qu'il n'est repérable que par son dosage au Laboratoire, sa période est longue (douze ans et demi) et il est dangereux d'en absorber, d'où la mise en œuvre de mesures de protection de longue durée et d'opérations compliquées. L'iode 131 paraît bien préférable.

##### 3.3.2.4) Autres moyens.

L'analyse chimique des eaux permet aussi de reconnaître le sens de la circulation des nappes. Cette question est abordée dans le paragraphe 3.5.

### 3.3.3) Surveillance des nappes.

#### 3.3.3.1) Mouvements verticaux.

#### 3.3.3.2) Variations de composition chimique.

Cités pour mémoire, traités au paragraphe 3.7.

### 3.3.4) Mesure du débit des nappes.

Réalisée par des pompages dans la nappe en mesurant le débit pompé pour un abaissement donné du niveau de l'eau. Simple en théorie, la méthode est difficile à appliquer et fait appel à l'intervention de spécialistes.

### 3.4) EVALUATION DU VOLUME DES NAPPES.

Il peut être intéressant de connaître le volume de la nappe considérée, la méthode est longue et onéreuse, mais il peut suffire de connaître le volume d'eau à évacuer pour assainir une tranche déterminée de terrain.

#### 3.4.1) Volume de la nappe.

Dans ce cas, il faut procéder à une étude hydrogéologique portant sur la topographie du toit de la nappe, celle de la couche imperméable et la porosité des roches magasins. Les études comprennent l'exécution de nombreux forages, d'une prospection géophysique et de mesures de porosité du terrain sur des carottes intactes.

#### 3.4.2) Volume d'eau à évacuer.

Nécessite encore la connaissance de la topographie du toit de la nappe et de la porosité du terrain, mais n'exige en plus que la connaissance de la hauteur de la tranche d'eau à évacuer.

### 3.5) COMPARAISON DES EAUX DES NAPPES.

#### 3.5.1) Buts.

La comparaison des eaux des nappes se fait par l'analyse chimique qui a pour buts essentiels :

3.5.1.1) De connaître la composition des sels dissous ;

3.5.1.2) De comparer la composition de la nappe en divers points, ce qui permet de reconnaître si il en existe une ou plusieurs ;

3.5.1.3) De reconnaître le sens de la circulation. Si elle est unique et sans nouvelle alimentation, une nappe qui circule dans le sol se concentre soit par évaporation, soit en dissolvant des sels de la roche magasin.

#### 3.5.2) Analyses chimiques recommandées.

Les principaux éléments à doser sont : le calcium, le magnésium (ces deux éléments permettant de calculer le degré hydrotimétrique de l'eau), le sodium, le chlore, l'ion sulfurique et les ions carbonique et bicarbonique (souvent variable en fonction de la proximité de la surface et du périmètre d'alimentation de la nappe). Dans certains cas, pour reconnaître les pollutions, il peut être intéressant de doser les nitrates.

#### 3.5.3) Représentation graphique des résultats.

Divers modes de représentation des résultats des analyses ont été proposés pour classer les eaux, le plus utile est celui de SCHOELLER-BERKALOFF.

##### 3.5.3.1) Diagramme logarithmique de SCHOELLER-BERKALOFF.

Ce diagramme est construit de la façon suivante : noter de chaque côté d'une feuille de papier des échelles logarithmiques représentant les millivalences des ions qui sont dosés. Porter ensuite entre ces deux échelles, des échelles semblables représentant chacune des ions dosés en milligrammes par litre, en les disposant de manière à ce que les teneurs en milligrammes de ces échelles soient en face et sur l'alignement de leur teneur en millivalences sur les deux échelles extérieures. La distance horizontale entre une échelle extérieure et l'échelle d'ion voisine, ou entre deux échelles d'ions consécutives, étant toujours la même.

Ces diagrammes permettent une représentation graphique des résultats et la comparaison des analyses. C'est le but essentiel de cette représentation. D'autres échelles pourraient être ajoutées pour permettre d'autres opérations, mais la plus intéressante est la comparaison des résultats des analyses.

##### 3.5.3.2) Utilisation.

Les résultats des analyses sont en général exprimés en mg/litre. Ces résultats sont portés sur les échelles correspondantes et les points obtenus reliés par des droites. Cette opération permet la construction d'une ligne brisée représentative de l'analyse.

DIAGRAMME D'ANALYSE D'EAU Teneurs en milligrammes par litre					N° Provisoire	N° I.R.H.	NOM _____		
OBSERVATIONS	Ca	Mg	Na(+K)	Cl	SO <sup>4</sup>	Extrait sec 110°		Dates	Ech
	150	2000		6000	8000				1
		1500		5000	7000				2
	100	1000		4000	6000				3
	90	800		3000	5000				4
	80	700		2500	4000				5
	70	600		2000	3000				6
	60	500		1500	2500				7
	50	400		1000	2000				8
	40	300		800	1500				9
	30	200		600	1000				10
	25	150		500	800				
	20	100		400	600				
	15	80		300	500				
	10	60		200	400				
	9	50		150	300				
	8	40		100	200				
	7	30		80	150				
	6	20		60	100				
	5	15		40	80				
	4	10		30	60				
	3	8		20	40				
	2.5	6		15	30				
	2	4		10	20				
	1.5	3		8	15				
	1	2		6	10				
	0.9	1.5		4	8				
	0.8	1		3	6				
	0.7	0.8		2	4				
	0.6	0.6		1.5	3				
	0.5	0.5		1	2				
	0.4	0.4		0.8	1.5				
	0.3	0.3		0.6	1				
	0.2	0.2		0.4	0.8				
				0.3	0.6				
				0.2	0.4				
				0.1	0.3				
				0.09	0.2				
				0.08	0.15				
				0.07	0.1				
				0.06	0.08				
				0.05	0.06				

  

CO <sup>3</sup> Comb	CO <sup>2</sup> libre	NO <sup>3</sup>	pH	dh	Teneurs en millivoltages
900	1000			150	30
800	900			100	25
700	800			90	20
600	700			80	15
500	600			70	10
400	500			60	5
300	400			50	0
250	300			40	-5
200	200			30	-10
150	100			20	-15
100	80			15	-20
90	70			10	-25
80	60			5	-30
70	50			0	-35
60	40			-5	-40
50	30			-10	-45
40	20			-15	-50
30	10			-20	-55
25	8			-25	-60
20	6			-30	-65
15	4			-35	-70
10	3			-40	-75
9	2			-45	-80
8	1			-50	-85
7	0.9			-55	-90
6	0.8			-60	-95
5	0.7			-65	-100
4	0.6			-70	-105
3	0.5			-75	-110
2	0.4			-80	-115
1	0.3			-85	-120
0.9	0.2			-90	-125
0.8	0.1			-95	-130
0.7	0.09			-100	-135
0.6	0.08			-105	-140
0.5	0.07			-110	-145
0.4	0.06			-115	-150
0.3	0.05			-120	-155
0.2				-125	-160
0.1				-130	-165
0.09				-135	-170
0.08				-140	-175
0.07				-145	-180
0.06				-150	-185
0.05				-155	-190

Si des analyses échelonnées dans le temps, faites sur le même point d'eau, donnent des résultats différents et que les lignes brisées représentatives de chacune de ces analyses sont superposables, cela signifie qu'à partir de l'analyse de référence il y a eu dilution de l'eau si les lignes sont situées au-dessous de la première, concentration par évaporation, si elles se trouvent au-dessus mais qu'il n'y a pas eu de changement dans l'origine de la nappe. Au contraire, si des lignes brisées ne sont pas superposables, cela signifie qu'il y a eu un changement dans l'alimentation de la nappe, une des origines par exemple s'étant provisoirement tarie. Un raisonnement identique permet de constater l'existence d'une ou plusieurs nappes affectant une région en comparant des analyses d'échantillons prélevés en même temps en des points différents. Il faut remarquer cependant que l'eau en se concentrant va laisser déposer une partie de ses sels quand ceux-ci vont atteindre la saturation. Les carbonates de calcium et de magnésium se déposent les premiers, suivis du sulfate de chaux. Il faut tenir compte des pics dus au chlore et au sodium dans le cas des eaux fortement chargées. Bien entendu, l'unité de nappe ne peut être présumée que si les analyses correspondantes proviennent d'échantillons prélevés dans un même bassin versant.

### 3.6) DRAINAGE DES NAPPES PHRÉATIQUES. EFFETS SUR LE SOL.

La disparition des nappes phréatiques fait apparaître dans le sol des conditions différentes de celles qu'il subissait : assèchement du sol, disparition de la salinité (après les pluies). La conséquence de ces nouvelles conditions est d'aérer le sol et de permettre une meilleure évolution de ses matières organiques, de provoquer la fissuration en terrain argileux et le remplacement de la flore ancienne par une flore aérobie.

### 3.7) SURVEILLANCE DES NAPPES.

La surveillance des nappes phréatiques a pour but de connaître leur fluctuation, soit pour éliminer les eaux excédentaires, soit après l'établissement du drainage pour connaître son efficacité, soit enfin pour voir l'influence de l'irrigation et l'empêcher d'avoir des effets nuisibles.

#### 3.7.1) Piézomètres.

La surveillance des nappes se fait surtout à l'aide de piézomètres, tubes crépinés à leurs parties inférieures, enfoncés dans la nappe et laissés en permanence dans le sol, la cote du piézomètre étant mesurée exactement.

#### 3.7.2) Fluctuations de la cote.

Elles s'observent en relevant périodiquement le niveau de l'eau dans les piézomètres et en construisant la carte isopiézométrique de la nappe et la carte de sa profondeur. La carte isopiézométrique permet, si les points d'observations sont en nombre suffisant, de connaître le sens d'écoulement de la nappe qui est matérialisée par les lignes isopiézométriques.

#### 3.7.3) Fluctuations chimiques.

En même temps que la cote de la nappe est observée, il est bon de prélever un échantillon d'eau pour y mesurer la concentration. Au début de l'observation, l'analyse complète de l'eau doit être faite, de même que chaque fois que sa concentration change dans le temps. La concentration de l'eau est mesurée d'une manière simple par sa conductibilité électrique.

#### 3.7.4) Corrélations avec les facteurs ayant une influence sur les fluctuations.

##### 3.7.4.1) Pluie.

La variation de la hauteur de pluie influe sur le niveau des nappes. Mais il faut en général un certain temps pour qu'elle influence la nappe ; plus ce temps est court, plus l'alimentation de la nappe est proche. La chute de pluie peut provoquer une élévation quasi instantanée du niveau de l'eau des piézomètres très supérieure à la hauteur d'eau tombée, ce phénomène est dû à la compression de l'air compris entre la nappe et la lame d'eau de pluie, c'est l'effet TAR LARSEN ; cet effet disparaît rapidement. En général, l'effet d'une pluie d'un millimètre n'est pas repérable dans les piézomètres si la nappe n'est alimentée que directement.

##### 3.7.4.2) Irrigation.

L'irrigation peut gonfler les nappes en leur apportant un surplus d'eau, d'où la nécessité d'associer le drainage à la pratique de l'irrigation.

##### 3.7.4.3) Drainage.

La mise en œuvre du drainage provoque l'abaissement de la nappe et son efficacité est contrôlée par la rapidité de cet abaissement.

#### 4) CONCLUSION

En conclusion, il faut insister sur la nécessité des études hydrologiques chaque fois qu'un nouveau système de culture est mis en application, que ce soit le drainage, l'irrigation ou même la culture sèche stockant de l'eau (dry farming), les études hydrologiques devant être conduites par le pédologue qui sera à même de prévoir le sens de l'évolution des sols intéressés et d'éviter de ruiner les sols dominés par leur assèchement trop poussé ou par leur engorgement par l'eau.

**RÉSUMÉ.** — *Il est souvent indispensable de lutter contre des excès d'eaux superficielles ou souterraines. L'Auteur esquisse les moyens à mettre en œuvre pour connaître l'origine des eaux nuisibles et les éliminer sans, pour autant, ruiner les sols.*

**SUMMARY.**—*It is often necessary to control excess surface or underground water and the Author outlines the means to be adopted to determine the origin of detrimental water and the way to remove it without depleting soils.*

**RESUMEN.** — *Muchas veces, es indispensable luchar contra los excesos de aguas superficiales o subterráneas. El Autor da una breve reseña de los medios necesarios para conocer el origen de las aguas perjudiciales y eliminarlas sin provocar el empobrecimiento de los suelos.*

[illegible]