

# FORMULATION ET VALIDATION D'UNE HYPOTHÈSE DE POLLUTION DE L'EAU DE SURFACE

## LE CAS DU LAC MUNICIPAL DE YAOUNDÉ

René Joly - Assako Assako \*  
Faculté des Lettres et Sciences Humaines (Cameroun)

Le lac municipal objet de la présente expérimentation est situé au centre de Yaoundé (capitale du Cameroun), en plein quartier administratif. Il reçoit des eaux chargées d'ordures de toutes sortes et des boues non traitées en provenance des fosses septiques et d'un centre de traitement des eaux tombé en panne depuis plus d'une dizaine d'années. Le présent article déroule les articulations d'une méthode de détermination de la pollution des eaux de ce lac, depuis les traitements numériques d'une imagerie satellitale HRV-SPOT jusqu'aux analyses physico-chimiques de l'eau, en passant par les enquêtes de terrain.

The municipal lake on which the present experimentation is based, is situated in the administrative district of Yaounde (Cameroun). It receives all types of garbage and untreated muds from the septic pits and a centre of water treatment broken down more than ten years ago. This article presents a method were the satellite image processing, the field investigation and the physico-chemical analysis of water have been combined to determine the pollution status of this lake.

### INTRODUCTION

Cet article présente une démarche expérimentale en trois articulations :

- la formulation d'une hypothèse de pollution d'une eau de surface à partir d'une image satellitale,
- le renforcement de cette hypothèse par un travail d'enquêtes et d'observations de terrain
- la validation de l'hypothèse par des analyses physico-chimiques de l'eau du lac.

#### Formulation de l'hypothèse de pollution à partir de l'image satellitale

#### Mise à plat de l'image et calcul de la signature spectrale

La mise à plat est un des traitements appliqués à une image satellitale pour extraire les valeurs numériques des pixels. Ce faisant, elle permet d'en apprécier la signature spectrale.

En appliquant ce procédé à l'image HRV-XS SPOT de la ville de Yaoundé enregistrée le 07/02/1992, la zone couverte par le lac municipal a permis de faire deux constats. Le premier est que les valeurs radiométriques s'avèrent trop élevées (40 % en moyenne, contre moins de 15 %, reconnues à l'eau). Le deuxième est que l'allure de la courbe spectrale des pixels d'eau, réalisée à partir des canaux XS1, XS2 et XS3 s'avère totalement différente de celle classiquement reconnue à une eau pure (figure 1).

Figure 1: Signature spectrale de l'eau du lac municipal

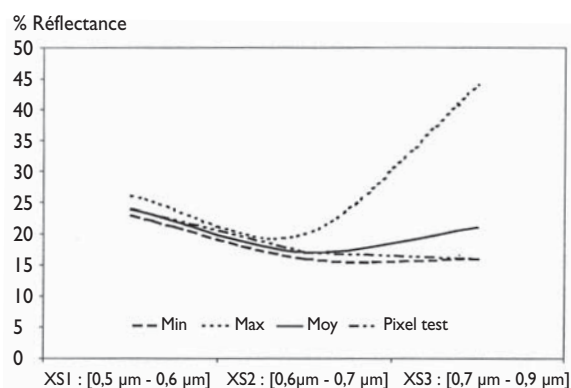
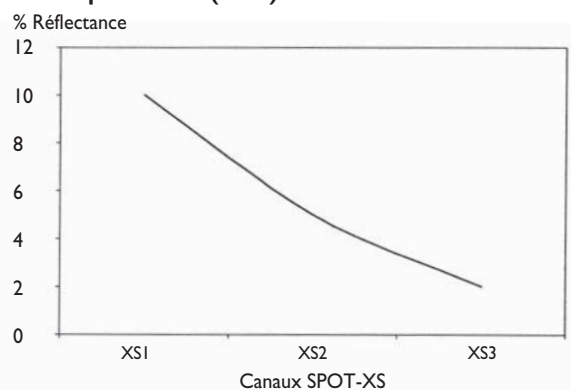


Figure 2: Signature spectrale caractéristique de l'eau pure, d'après Robin (1995).



En effet, l'eau pure a une courbe spectrale caractéristique : la réflectance faiblement élevée dans le bleu (environ 10 %), diminue sensiblement dans le vert (moins de 10 %), devient

très faible dans le rouge (moins de 5 %) et s'annule presque dans le proche infrarouge (de 1 à 0 %), ainsi que le montre la figure 2.

On peut donc voir que les courbes de la figure 1 présentent une allure atypique, puisque l'absorptance d'une eau normale croît régulièrement du visible vers le proche infrarouge. Par conséquent, sa réflectance décroît dans le même sens (figure 2).

C'est sur la base de cette contradiction manifeste qu'il a été formulé l'hypothèse d'une pollution de l'eau lacustre. Mais des recherches complémentaires étaient nécessaires, notamment pour s'ir les interactions eau-matières minérales en suspension ou eau-végétation chlorophyllienne n'étaient pas responsables de ce bruitage du signal électromagnétique réfléchi par l'eau du lac et enregistré par le capteurs SPOT.

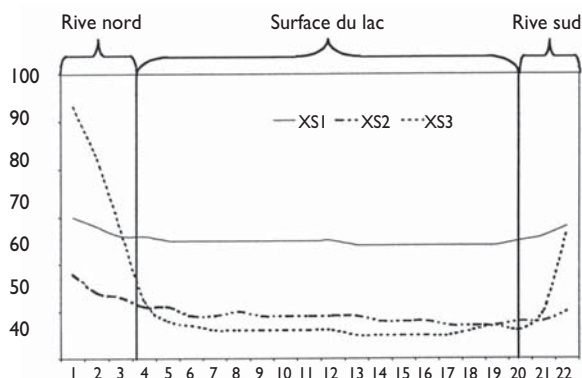
### Recherches complémentaires en vue de renforcer l'hypothèse de pollution

#### Appréciation de l'interface eau-matières minérales en suspension

Pour vérifier cette interférence, un profil radiométrique a été réalisé au travers du lac (figure 3). Il en ressort que les valeurs décroissent au fur et à mesure qu'on va vers le centre du lac. Très variées près des berges, elles deviennent plates au milieu du lac. Ce procédé a permis de mettre en évidence l'influence du fond du lac sur la réflectance de l'eau lacustre. Il reste tout de même que le comportement spectral de l'eau du lac municipal de Yaoundé est différent de celui établi pour une eau chargée en matières minérales en suspension. Les mesures effectuées par Courel (1985), à l'aide d'un spectrophotomètre le montrent bien (figure 4). En effet, malgré l'élévation des valeurs de réflectance, la courbe spectrale conserve l'allure caractéristique de l'eau, à savoir une décroissance régulière du visible vers le proche infrarouge. C'est ce qui a permis de dire que l'ambiguïté du comportement spectral de l'eau du lac ne tient pas à une simple turbidité minérale.

#### Appréciation de l'interface eau-végétation

Figure 3: Profil radiométrique en travers du lac



La descente sur le terrain a permis de noter que la vallée du lac était totalement recouverte de végétation chlorophyllienne anthropique. Dans ces conditions, il est bien possible

que cette présence végétale influence le signal rétrodiffusé par la masse d'eau lacustre. Cette hypothèse a elle aussi été relativisée car les mesures de réflectance se rapportant aux espaces mixtes " eau et végétation ", réalisées dans le delta central du Niger et présentées à la figure 5, montrent une courbe dont l'allure diffère de celle de la figure 1 (Courel, 1985).

### LE TRAVAIL DE TERRAIN

Le travail d'observation et d'enquête effectuées sur le terrain a permis de voir que le lac et ses affluents sont soumis à des pratiques propres à compromettre la qualité de l'eau. Ils servent en effet d'exutoire aux déchets de toutes sortes : ordures ménagères, eaux usées, matières fécales, etc. Les populations riveraines des affluents du lac, comme d'ailleurs de tous les cours d'eaux urbains déversent toutes leurs ordures directement dans le lit du cours d'eau.

Figure 4 : Signature spectrale de l'eau chargée de matières en suspension. D'après Courel, 1985

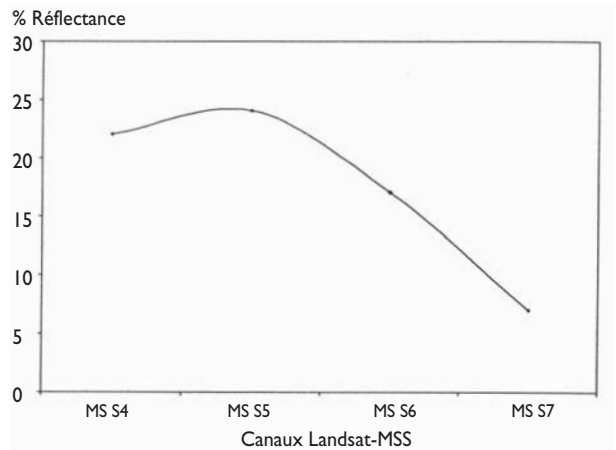
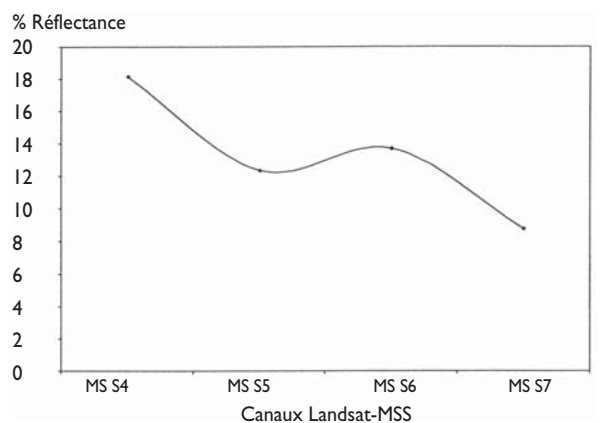


Figure 5 : Signature spectrale d'une eau couverte de végétation chlorophyllienne. D'après Courel, 1985.



MSS 4 = [0,5  $\mu$ m - 0,6  $\mu$ m] ; MSS 5 = [0,6  $\mu$ m - 0,7  $\mu$ m] ; MSS 6 = [0,7  $\mu$ m - 0,8  $\mu$ m] ; MSS 7 = [0,8  $\mu$ m - 1,1  $\mu$ m]

S'agissant des eaux usées ménagères, on voit chaque maison, riveraine ou éloignée du cours d'eau, reliée à celui-ci par un canal ou un tuyau, direct ou indirect, permettant d'écouler

les eaux usées. Il arrive aussi que deux rangées de maisons se partagent un canal central où se jettent les eaux collectées par des tuyaux secondaires, au niveau des maisons, avant de rejoindre le cours d'eau. Les eaux de pluies empruntent les mêmes voies, après avoir balayé tout le quartier dans le sens de la pente, avant de se jeter dans l'affluent du lac. La collecte et le rejet des matières fécales suit le même cheminement. Mais à ce sujet, plusieurs variantes ont été observées. Le premier cas est celui des cases directement riveraines. Les latrines de telles maisons sont équipées d'un

tuyau qui permet de rejeter directement les matières fécales dans l'eau. Dans d'autres cas, les latrines présentent un prolongement au dessus de la rivière. Ainsi, celle-ci emporte directement les déjections aussitôt qu'elles sont déposées. Le deuxième cas est celui des maisons plus éloignées du lit du cours d'eau. Celles-ci évacuent leurs déjections fécales au moyens de longs tuyaux souterrains dont le terminal se trouve être la rivière. Lorsque de telles maisons sont équipées de fausses septiques, celles-ci sont généralement vidées à l'occasion des pluies diluviennes, régulières en milieu sub-équatorial. La pratique consiste à ouvrir le bouchon latéral de la fosse septique afin de laisser échapper les matières fécales. Entraînées par les abondantes eaux de pluies, ces matières fécales rejoignent le cours d'eau, tout simplement en suivant la pente du terrain. Certaines de ces pratiques ont déjà été décrites et décriées dans une recherche antérieure (Assako Assako, 1999).

Le cas le plus particulier est celui du déversement des déchets du lotissement du quartier Messa. Il s'agit d'un lotissement qui abrite plus de 200 ménages. La station d'épuration des eaux usées de ce lotissement est implantée dans la vallée du lac. Malheureusement, les équipements de cette station ont cessé de fonctionner depuis environ 10 ans. Par conséquent, les eaux usées qui, elles, n'ont cessé d'y être drainées, débordant leur réservoir, se déversent directement dans le lac, sans aucun traitement préalable.

La figure 7 résume le système polluant du lac municipal. Tous ces apports sont susceptibles d'entraîner une pollution considérable de ses eaux : l'hypothèse d'une eau polluée émise plus haut lors du traitement de l'image semblait donc se confirmer. Mais, pour la validation, des analyses physico-chimiques se sont avérées nécessaires.

### LES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES DE L'EAU ET VALIDATION DE L'HYPOTHÈSE DE POLLUTION

Les analyses effectuées en laboratoire ont permis de fixer des normes au delà ou en deçà desquelles l'eau pouvait valablement être considérée comme polluée.

PTCO = Platine Cobalt  
Normes établies d'après diverses sources : Colas, 1968 ; normalisation du Ministère camerounais de l'Eau et de l'Énergie ; les références de l'Association

Figure 6 : Modélisation du système polluant du lac municipal

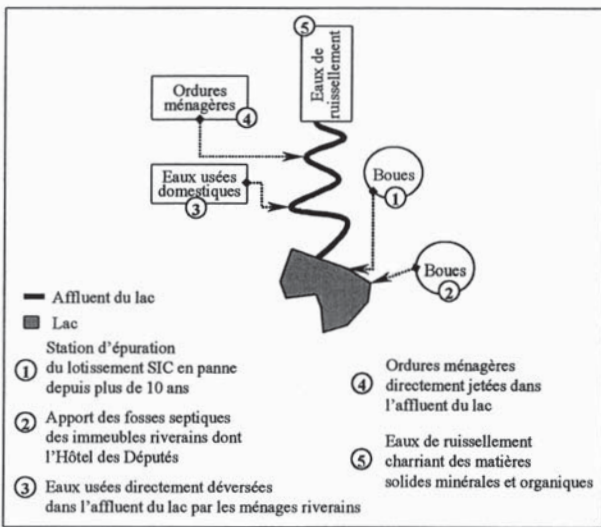


Tableau : Comparaison entre les normes de pollution et la composition physico-chimique de l'eau du lac municipal de Yaoundé

Elements	Unité de mesure	Valeurs limites	Valeurs du lac	Différence
Ammoniaque (NH <sub>4</sub> )	mg/l	[0,5 - 2]	6	4,75
Azote (NTK)	mg/l	≤ 1	10	9
Calcium (Ca)	mg/l	< 50	112	62
Chlore total (Cl)	mg/l	< 30	51	21
Couleur	PTCO	-	350	-
DBO5	mg/l	≤ 3	20	17
Fer (Fe)	mg/l	[1 - 1,5]	1,25	0
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l		384,34	-
Magnésium (Mg)	mg/l		35	-
Manganèse (Mn)	mg/l	[0,25 - 0,5]	0,25	-0,125
Matières en suspension	mg/l	≤ 30	1 000	970
Nitrates (NO <sub>3</sub> )	mg/l	< 0,5	12	11,5
Nitrites (NO <sub>2</sub> )	mg/l	< 0,5	1,4	0,9
Oxydabilité	mg/l	[5 - 8]	12	5,5
Oxygène dissous (O <sub>2</sub> )	mg/l	> 7	1,2	-5,8
pH	pH	5,5 - 8,5	7,1	0,1
Sodium (Na)	mg/l	< 12	72,45	60,45
Sulfate (SO <sub>4</sub> )	mg/l	100	92	-8
Sulfure	mg/l	10	160	150
Température	°C	< 25 °C	30 °C	5 °C
Turbidité (NTU)	NTU		171 NTU	-

Française de Normalisation (Afnor) ; Degrémont, 1989 et Rodier, 1975.

Ce tableau montre que l'eau du lac est fortement chargée en matières en suspension, soit 1000 mg/l, ce qui représente un excédent de 970 mg/l. Cette forte concentration des matières organiques entraîne une élévation de la demande biochimique d'oxygène en 5 jours (DBO5). En effet, la décomposition des matières organiques nécessite d'énormes quantités d'oxygène. C'est ce qui explique l'élévation de la DBO5 de l'eau du lac (20 mg/l) et par conséquent la faiblesse de l'oxygène dissous (1,2 mg/l), soit un déficit de 5,8 mg/l. On note également la concentration des sels nutritifs et notamment de l'azote dont la décomposition produit des nitrates et des nitrites. Ils représentent respectivement 12 mg/l et 1,4 mg/l. Ce sont ces sels nutritifs qui fertilisent l'eau, entraînant le développement d'une riche flore aquatique, grande consommatrice d'oxygène pour des besoins de photosynthèse. On comprend par ces données que le lac municipal fait l'objet d'un processus d'eutrophisation en raison de laquelle le fond vaseux développe et entretient une putréfaction dont la manifestation la plus concrète est l'odeur nauséabonde qui s'en dégage. Ces sels nutritifs résultent des apports d'eaux résiduaires et des boues fécales provenant des latrines, des fosses septiques des maisons et immeubles riverains mais aussi de la station d'épuration des eaux tombée en panne depuis plus d'une décennie et dont il a été question plus haut.

C'est à l'issue de ces analyse que nous avons pu établir l'efficacité de la pollution organique du lac municipal de Yaoundé. Celle-ci n'est adoucie que par le processus d'écoulement. Une situation de stagnation parfaite produirait rapidement des doses létales des produits nocifs à la vie des poissons.

## CONCLUSION

La particularité de la présente étude est qu'elle situe les analyses physico-chimiques de l'eau non pas au début du processus, mais à la fin. Elles ne sont utilisées que pour vérifier la validité de l'hypothèse de pollution émise à l'issue de certains traitements numériques d'une image satellitale et d'autres recherches complémentaires. Le fait que cette hypothèse ait été positivement vérifiée nous permet in fine de penser qu'une eau de surface qui présente une réflectance trop élevée (plus de 20 %) et une signature spectrale irrégulière est potentiellement polluée. Ce qui rend le cas du lac municipal de Yaoundé particulièrement préoccupant, c'est la probabilité de la contamination de la nappe phréatique, qui se trouve à moins d'un mètre de profondeur dans la vallée du lac.

\* René Joly - Assako Assako

Géographe, Enseignant - Chercheur – Faculté des Lettres et Sciences Humaines – Université de Douala, BP 8562 Douala-Déido (Cameroun)  
Mel : assako@hotmail.com

## Bibliographie

Assako Assako R. J. (1999). « Critique de la politique urbaine du Cameroun : instruments, résultats et évaluation ». *Revue de Géographie du Cameroun*, Vol. XIV, n° 1, p. 53-67.

Blidgen P. et Boulelegue J. (1988) « Analyse par télédétection spatiale de la charge solide transportée par les rivières. Exemple du bilan érosion-transport dans la vallée de la grande rivière de Jacmel (presqu'île du sud d'Haïti, WI) ». Strasbourg : Actes du colloque Télédétection, p. 75-87.

Caloz R. et Puech C. (1996). « Hydrologie et imagerie satellitale ». In Bonn, F. (dir). *Précis de télédétection, Vol. 2 : Applications thématiques*. Québec : Presses de l'université du Québec, p. 159-196.

Colas R. (1968). *La pollution des eaux*. Paris : Presses Universitaires de France, Coll. Que sais-je ? 2<sup>ème</sup> édition, 126 p.

Courel M. F. (1985). *Étude de l'évolution récente des milieux sahéliens à partir des mesures fournies par les satellites*. Université de Paris I : Thèse pour le doctorat d'État, 407 p.

Degrémont (1989). *Mémento technique de l'eau*. Rueil-Malmaison : Degrémont, Neuvième édition, Vol. 1, 592 p.

Donnay J. P. (1990). « Application de la télédétection satellitale à l'aménagement du territoire et à l'urbanisme ». Toulouse : *Actes de l'université d'été Européenne sur la télédétection spatiale*, p. 221-241.

Guyot G. (1989) *Signatures spectrales des surfaces naturelles*. Télédétection satellitale 5, Paradigme, 178 p.

Regnault J. M. (1986). *Synthèse géologique du Cameroun*. Yaoundé : Ministère des Mines et de l'Énergie, 119 p.

Robin M. (1995) *La télédétection*. Paris : Nathan, Coll. Fac géographie, 318 p.

Rodier J. (1975). *L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer*. Paris, Bruxelles, Montréal : Dunod, 629 p.

## Abréviations

SPOT : Satellite Probatoire pour l'Observation de la Terre (satellite français)

HRV : Haute résolution dans le Visible

SPOT-XS : Utilisé pour désigner une image multispectrale du satellite SPOT

XS1, XS2, XS3 : Les canaux 1, 2 et 3 d'une image multispectrale de SPOT