Apport des systèmes d'information géographique dans l'analyse des risques d'inondation et de glissement de terrain à Yaoundé[1]

René-Joly Assako Assako*

Une politique d'aménagement urbain soucieuse de préserver les milieux naturels tout en assurant aux populations les meilleures conditions résidentielles, est un processus intégré et systémique. En ce sens, elle doit tenir compte de tous les paramètres de fonctionnement et de protection de l'espace, alternativement considéré comme support, objet et enjeu de l'action humaine. L'information nécessaire à un tel processus présente des exigences de quantité, de qualité, de diversité et de précision. Ces exigences sont, comme le montre C. Collet (1996), le propre de l'analyse spatiale. En effet, celle-ci s'intéresse à éclairer l'organisation des objets dans l'espace en prenant en compte leurs caractéristiques et leur dynamique. Les objets spatiaux sont donc appréhendés dans leur triple dimension spatiale, thématique et temporelle.

Pour répondre à de telles exigences, la gestion manuelle de l'information spatiale devient vite lourde, voire même impossible; elle aboutit à la production de documents largement en retard sur la réalité qu'ils sont censés prévoir. La plupart des villes en développement en sont à ce stade. Les systèmes d'information géographique (SIG) par contre permettent d'accroître l'efficacité du rendu informatif (Assako, 1995-b) et la portée préventive des documents d'aménagement. Utilisant ces nouveaux outils de l'analyse spatiale, la présente analyse vise à produire des documents pouvant servir de support à une orientation de l'aménagement urbain qui intègre la prévention des risques naturels : érosion, glissements de terrain et inondations

* Institut de Géographie, Université de Fribourg Pérolles, 1700 Fribourg - Suisse.

[1]Les traitements dont les résultats sont présentés dans le présent article ont été effectués au Laboratoire de Géomatique de l'Institut de Géographie de l'Université de Fribourg (IGUF) sous la direction de Dr. C. Collet, dans le cadre d'un stage post-doctoral financé par AUPELF-UREF.

notamment. Une telle approche présente un grand intérêt pour la ville de Yaoundé où une urbanisation rapide, anarchique et non maîtrisée se développe sur un site collinaire particulièrement sensible.

Yaoundé : un site de collines abondamment arrosé

Un relief accidenté

Yaoundé se développe dans un site collinaire, sur un plateau d'une altitude moyenne de 760 mètres, profondément entaillé par un réseau hydrographique dense (Franqueville A., 1984). Trois unités morphologiques se partagent ainsi le site urbain : les sommets d'interfluves, les pentes et les fonds de vallées inondables.

Les hauts reliefs forment une ligne qui cerne la ville dans sa partie nord-ouest et influencent l'orientation de l'urbanisation de deux manières. Par leur présence, ils constituent une véritable barrière à l'avancée du front urbain. L'obstacle qu'ils opposent à l'implantation urbaine se traduit par une augmentation des pressions foncières dans les zones plus facilement urbanisables. Cependant, ces hauts reliefs ne sont pas partout totalement inhospitaliers. Il reste en effet certaines zones intra ou péri-montagneuses où le risque d'une densification urbaine démesurée est bien présent, la disponibilité du terrain, constructible ou non, étant le seul moteur de l'urbanisation. C'est notamment le cas des quartiers Carrière et Etoug-ébé.

Les zones de forte pente posent le problème de l'instabilité des terrains. Constituées de sols ferralitiques, elles sont l'objet d'une érosion de grande ampleur qui se transforme souvent en de véritables glissements de terrain. Ces mouvements de terrain se trouvent aggravés par l'action humaine qui, décapant le couvert végétal, accroît le ruissellement diffus.

Les vallées occupent près de 20 % de la superficie totale de Yaoundé et, reliées bout à bout, elles formeraient un couloir de 30 km de long sur 20 km de large, soit 600 km2. Ces zones présentent une consistance pédologique quasi nulle. Elles sont constituées de sols hydromorphes retenant jusqu'à 45 g d'eau pour 100 g de terrain. Leur urbanisation nécessite des aménagements particulièrement coûteux : remblais, construction des murs de protection des berges, etc.

Un climat pluvieux

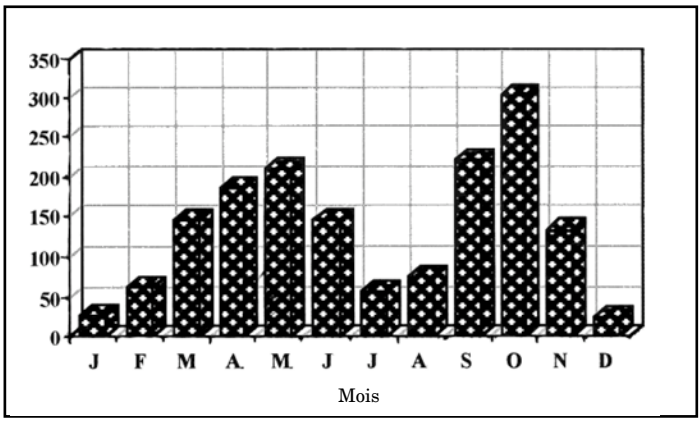
Située au 3°50 N et 11°E, à environ 200 km de la côte atlantique, Yaoundé connaît un climat équatorial nuancé par l'altitude et la continentalité. Comme on le voit sur le diagramme ombrométrique (figure 1), ce climat généralement pluvieux (1600 mm d'eau par an) est caractérisé par quatre saisons bien tranchées (tableau 1). Pendant les

deux saisons des pluies et plus encore pendant la grande saison des pluies (de Septembre à Novembre), les précipitations, du fait de leur fréquence, de leur abondance et de leur brutalité, provoquent des inondations aussi dramatiques que régulières.

Tableau 1. Répartition annuelle des saisons à Yaoundé

Saisons	Périodes
Petite saison de pluies	Mars → Juin
Petite saison sèche	Juillet → Août
Grande saison des pluies	Septembre → Novembre
Grande saison sèche	Décembre → Février

Figure 1. Répartition mensuelle des précipitations à Yaoundé

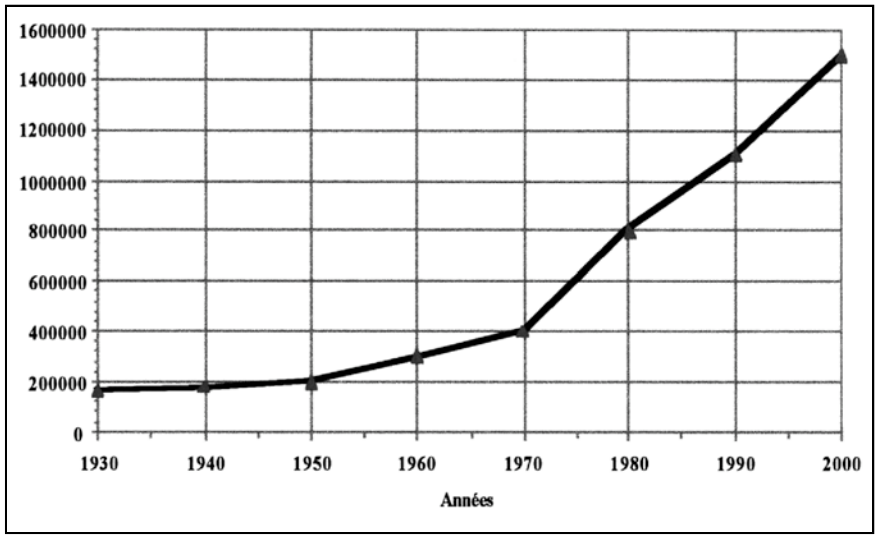


Une forte croissance démographique

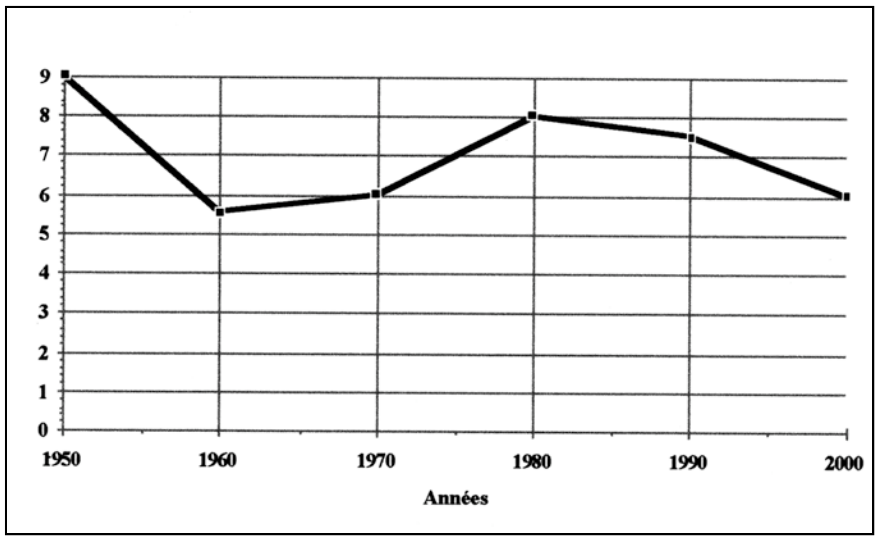
Les figures 2a et 2b rendent bien compte de la croissance démographique de Yaoundé. La première (2a) montre l'évolution des effectifs de population. Ainsi voit-on que de 200000 habitants en 1950, la population de Yaoundé avait dépassé un million d'habitants au début des années 1990. C'est le résultat d'un taux de croissance qui, malgré sa tendance actuelle à la baisse, est demeuré élevé et soutenu autour de 7 % sur des décennies successives (2b).

Les flux migratoires, qui constituent l'élément explicatif principal de cette évolution des effectifs de population et du taux de croissance démographique, drainent surtout des populations à faibles revenus.

Figure 2. Évolution des données démographiques à Yaoundé



2a-Effectifs de population de Yaoundé



2b-Taux de croissance démographique par décennie.

Celles-ci s'entassent dans des quartiers populaires, espaces nullement aménagés pour recevoir une forte densité de population.

Une urbanisation non maîtrisée

La rapidité de la croissance démographique et la faiblesse de la législation en matière d'occupation du sol urbain entraînent une urbanisation essentiellement anarchique et précaire. Celle-ci se développe surtout dans des zones à risques, peu sollicitées par l'urbanisme réglementaire : fortes pentes exposées à l'érosion et aux glissements de terrain, vallées marécageuses, localement appelées *élobi*. Ces zones naturellement inadaptées à une urbanisation dense ne reçoivent souvent aucun aménagement leur permettant de résister à la forte pression humaine dont elles sont l'objet (Assako, 1996). Il en résulte de graves conséquences responsables de la dégradation de la qualité de l'habitat : urbanisation horizontale entraînant une dégradation du couvert végétal, pollution des eaux, développement de toute une série de maladies liées à l'eau, dommages matériels et humains à l'occasion des réguliers inondations et glissements de terrain, permanence de l'érosion hydrique.

Les sources de données utilisées

Nous avons basé l'analyse par SIG de l'érosion et des glissements de terrain sur trois couches d'information spatiale : l'altitude, le réseau hydrographique et la couverture végétale de la région urbaine de Yaoundé. Pour ce faire, deux sources d'information ont été utilisées. La première est une carte topographique. Celle-ci présente trois avantages majeurs : échelle assez grande (1/10.000), grande lisibilité des courbes de niveau à équidistance de 5 mètres et périmètre suffisant pour couvrir toute la région urbaine. La deuxième est une image satellitaire SPOT-XS (K = 85 ; J = 342) du 07 février 1992. Elle présente aussi plusieurs avantages : résolution spatiale acceptable pour une étude urbaine (20 m), enregistrement à une période intéressante pour le suivi de la biomasse en zone urbaine (fin de la grande saison sèche et début de la petite saison des pluies).

Ces deux sources de données (cartographique et satellitaire) ont été intégrées dans un système géoréférencé qui en a facilité l'exploitation, chacune permettant de traiter un aspect de la problématique. Les données topographiques ont servi à l'extraction de l'information altitudinale alors que l'image satellitaire a permis d'analyser la couverture du sol. La méthode générale d'exploitation de ces sources d'information est présentée à la figure 3.

Traitements et résultats

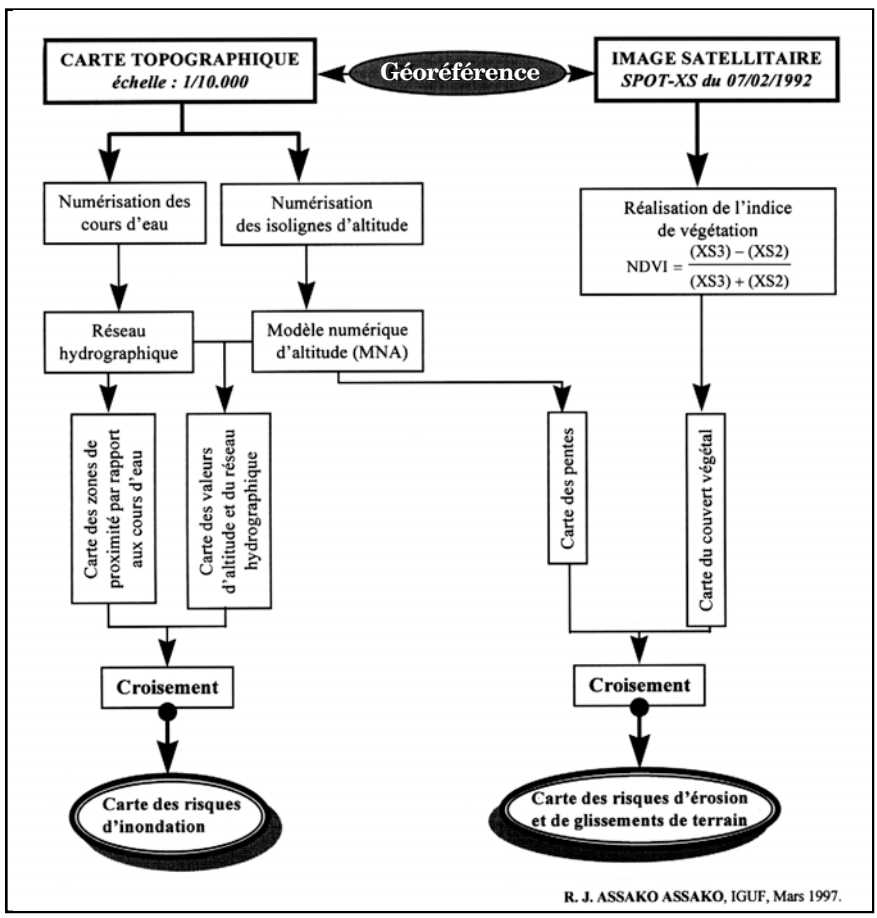
Analyse des risques d'inondation

L'analyse des risques d'inondation s'est basée sur deux critères principaux : l'altitude et la distance linéaire des zones bâties par rapport aux cours d'eau.

Tableau 2. Traduction des classes d'altitude en degrés de risque d'inondation

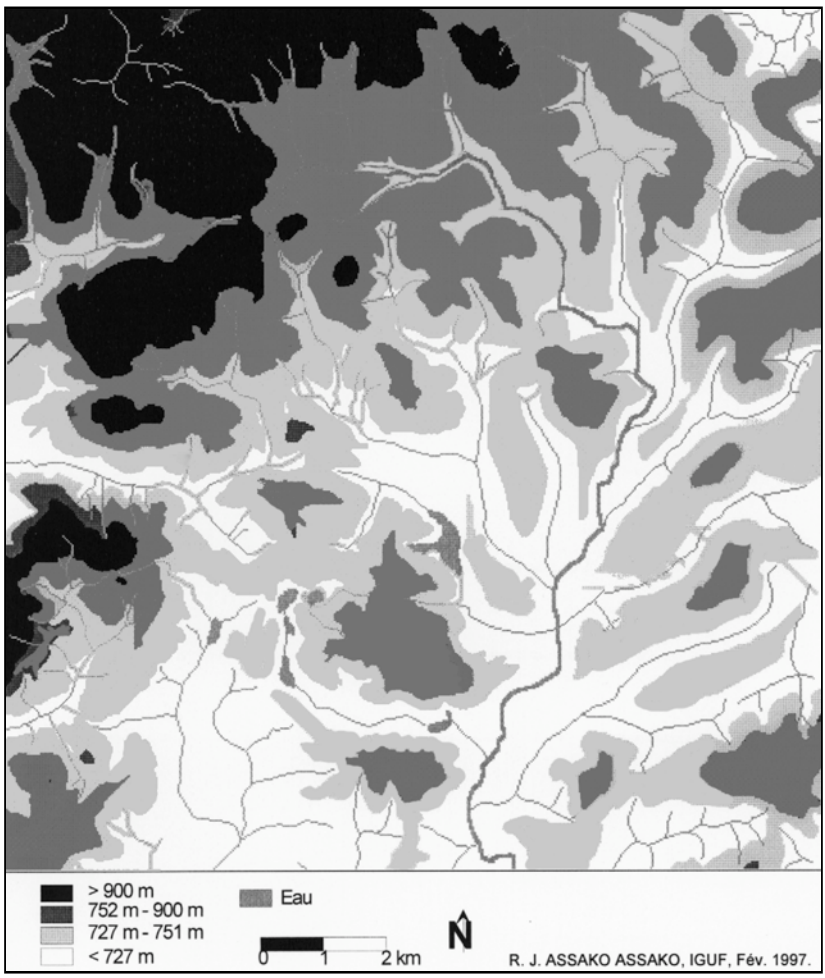
Classe d'altitude (en m)	Codification du risque d'inondation	Désignation/ appréciation
> 900	1	Risque très faible
752 - 900	2	Risque faible
727 - 751	3	Risque moyen
< 727	4	Risque très élevé

Figure 3. Méthode suivie pour l'identification des zones à risques d'inondation, d'érosion et de glissements de terrain à Yaoundé



Différentes méthodes d'interpolation appliquées sur les courbes de niveau ont permis de réaliser un modèle numérique d'altitude (MNA) sur la base duquel nous avons obtenu quatre classes d'altitude (figure 4). Ces classes d'altitude ont ensuite été traduites en degrés de risque d'inondation, l'hypothèse retenue étant que le risque d'inondation est inversement proportionnel à la valeur d'altitude. Autrement dit, nous avons considéré que plus un terrain est bas et plus il est inondable. Le tableau 2 explique la codification utilisée.

Figure 4. Altitudes



En retenant ce critère, on s'aperçoit que les zones les plus exposées au risque d'inondation sont également celles qui sont actuellement

densément urbanisées. Le risque le plus élevé concerne les vallées, surtout dans la partie australe de la ville, là où l'altitude tombe en deçà de 727 mètres. Les zones les moins exposées aux inondations sont les hauts reliefs constituant la chaîne montagneuse qui cerne la ville dans sa partie nord-ouest (à partir de 900 mètres). Y échappent aussi d'autres sommets moyens en plein milieu urbain.

Ce critère d'altitude a été complété par la distance des zones bâties par rapport au lit des cours d'eau. Faute d'informations complémentaires, nous avons retenu la distance linéaire, en supposant notre espace isotrope, c'est-à-dire sans contrainte directionnelle. Il est vrai que ce modèle n'est pas la traduction exacte de la réalité. Mais il donne une information intéressante dans un processus de simulation de la dynamique spatiale.

Ainsi, en prenant appui sur le réseau hydrographique et grâce à une solide connaissance du terrain, nous avons défini trois classes de proximité par rapport aux cours d'eau. Et, comme pour les classes d'altitude, nous avons traduit les classes de distance en degrés de risque d'inondation, étant entendu qu'une zone est d'autant plus exposée aux inondations qu'elle proche de la rivière (Tableau 3).

Tableau 3. Traduction des classes de proximité en degrés de risque d'inondation

Classe de proximité(en m)	**Codification du risque d'inondation**	**Désignation/ appréciation**
> 200	1	Risque faible
50 - 200	2	Risque moyen
< 50	3	Risque très élevé

La figure 5 qui représente ces classes de proximité montre une réalité évolutive des risques d'inondation. De façon générale, ce sont les vallées qui sont exposées aux inondations. Cependant, les talwegs sont naturellement plus exposés que les versants.

Pour apprécier les risques d'inondation de façon plus globale, nous avons croisé l'information altitudinale et la proximité des espaces aux tracés des cours d'eau. Le résultat de ce croisement est donné à la figure 6. Les hauts reliefs, notamment les sommets d'interfluves ne présentent aucun risque d'inondation. Ce risque, présent dans toutes les vallées suit la configuration du relief. Il est plus élevé au centre et dans la partie sud de la ville où l'on rencontre les altitudes les plus basses de tout le site urbain. D'autre part, il s'amenuise à mesure qu'on s'éloigne des talwegs.

Analyse des risques d'érosion et de glissement de terrain

L'analyse des risques d'érosion et de glissement de terrain s'est basée sur deux couches d'information spatiale : la pente (dérivée de l'altitude) et la couverture du sol, à travers un indice de biomasse. La première est donnée par la carte topographique et la deuxième par l'image satellitaire, après que les deux aient été ramenées à un seul système de référence spatiale.

S'agissant de la pente, nous avons estimé qu'un terrain est d'autant plus exposé à l'érosion qu'il est pentu. Ainsi, comme dans les cas précédents, nous avons traduit les classes de pentes de la figure 7 en degrés de risque d'érosion et de glissement de terrain (Tableau 4).

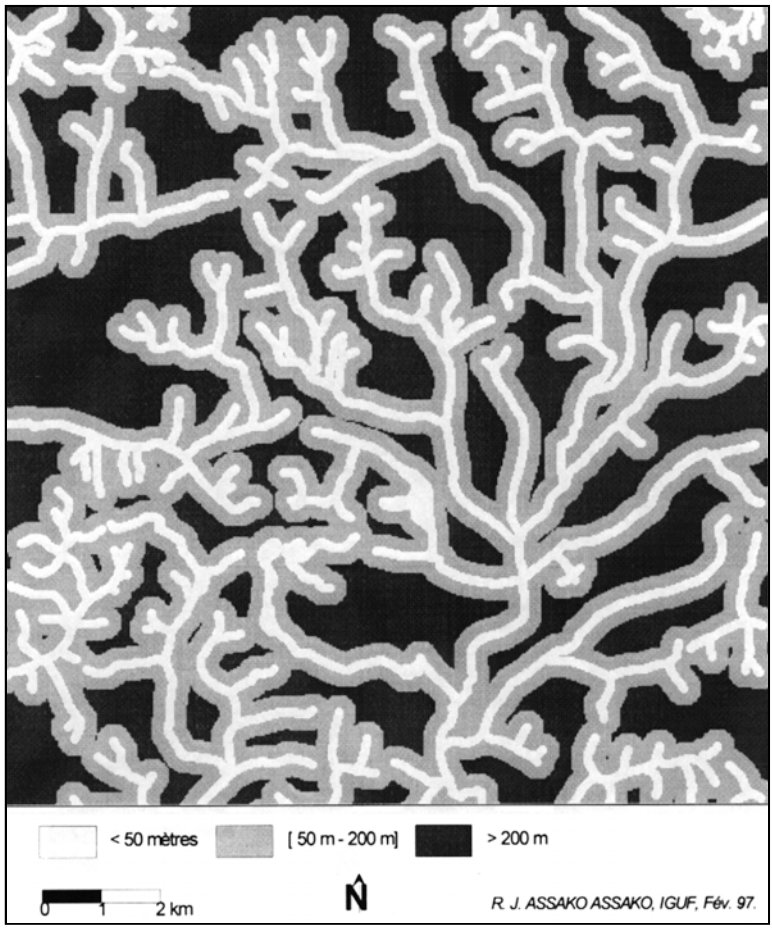
Tableau 4. Traduction des classes de pente en degrés de risque d'érosion

Classe de pente (en %)	**Codification du risque d'inondation**	**Désignation/ appréciation**
< 10	1	Risque faible
10 - 25	2	Risque moyen
> 25	3	Risque très élevé

Le critère de pente a été pondéré par la couverture du sol. Car, s'il est vrai que le degré d'érosivité du sol est fonction de la pente, il est aussi à noter que cette érosion ne produit pas les mêmes effets ou n'a pas la même puissance selon que le sol est couvert (de végétation) ou non. L'information relative à la couverture du sol a été obtenue par l'indice de végétation normalisé (Figure 8). On s'aperçoit ainsi que les zones les plus couvertes se trouvent à la périphérie de la ville et plus encore dans la partie nord-ouest dont nous avons dit qu'elle porte les plus hauts reliefs de tout le site urbain. On remarque aussi la présence de la végétation sous forme de lanières, à la faveur des multiples vallées intra-urbaines. On voit également les zones mixtes, celles où la dégradation du couvert végétal est effective, compte tenu de l'avancée du front d'urbanisation.

Le croisement de ces deux paramètres donne une vision plus globale des risques d'érosion et de glissements de terrain à Yaoundé. On s'aperçoit que les zones de plus fortes pentes sont aussi les plus exposées. Si la pondération par la couverture du sol semble ne pas avoir joué ici, c'est probablement compte tenu des faibles valeurs de l'indice de végétation. En effet, comme nous le signalions plus haut,

Figure 5. Zones de proximité par rapport aux cours d'eau



l'image satellitaire a été enregistrée en début février, c'est-à-dire à la fin de la grande saison sèche. La végétation se trouvait donc à son état hydrique le plus médiocre.

Cependant, on constate que l'essentiel des zones urbanisables ou urbanisées se trouve dans les classes de risque moyen à très faible. Ainsi, malgré son développement dans un site collinaire, Yaoundé jouit d'une relative stabilité pédologique, du moins en ce qui concerne les glissements de terrain, l'érosion étant un phénomène plus diffus et de moindre envergure.

Figure 6 : Risques d'inondation en fonction de l'altitude et de la proximité de l'eau

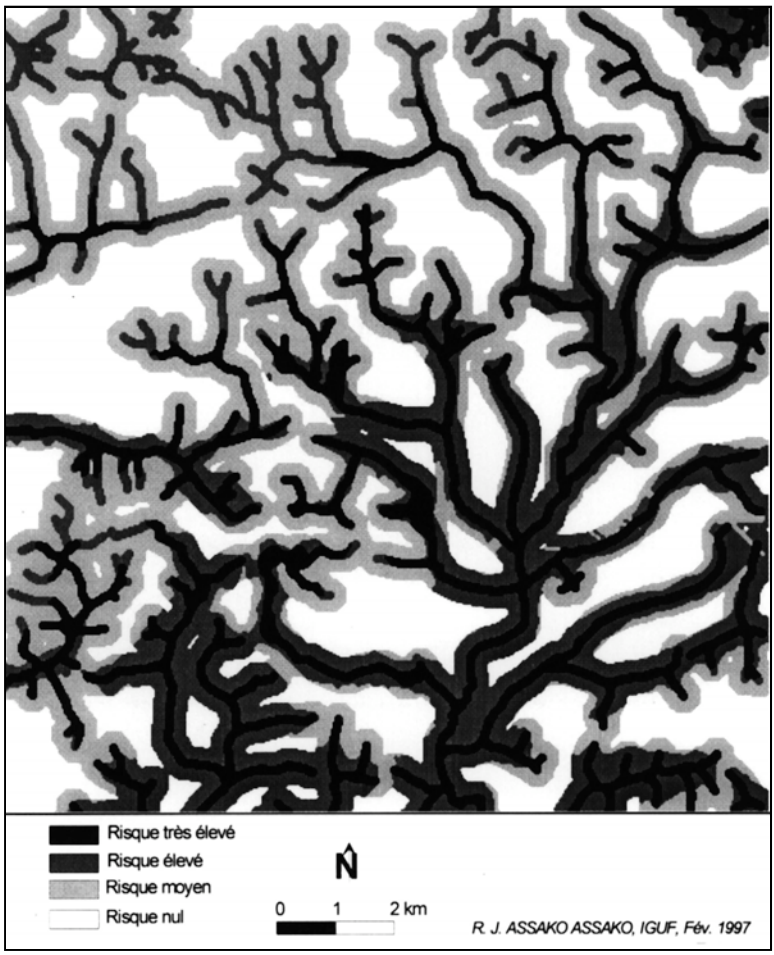


Figure 7 : Répartition des valeurs de pente à Yaoundé

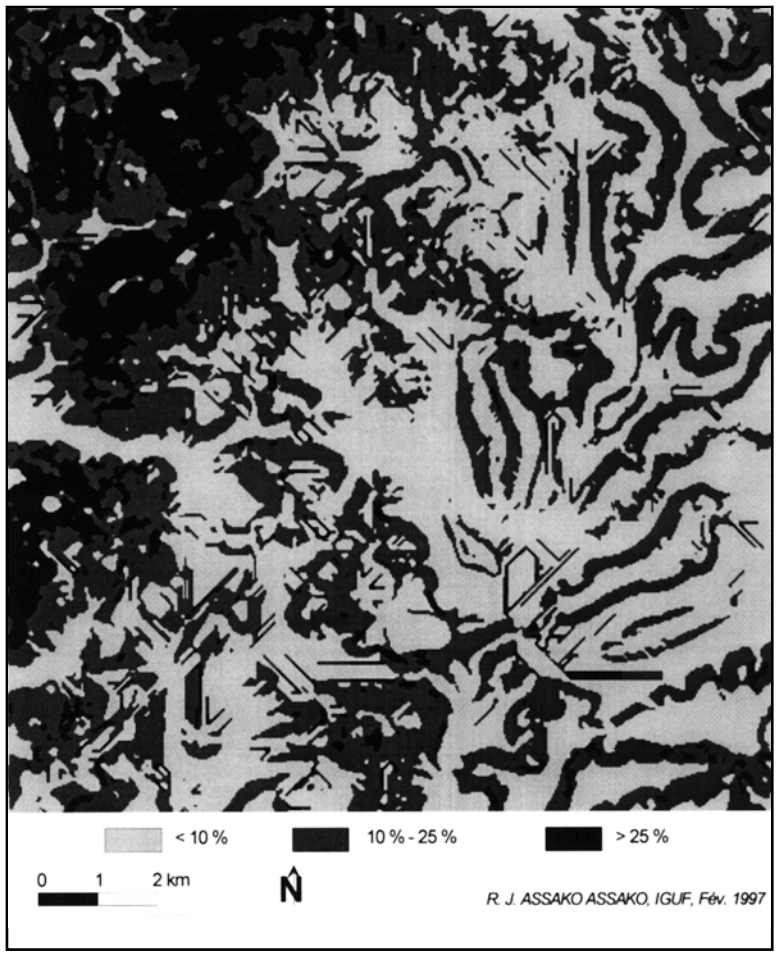


Figure 8 : Classification de l'indice de végétation en vue de ressortir la couverture du sol

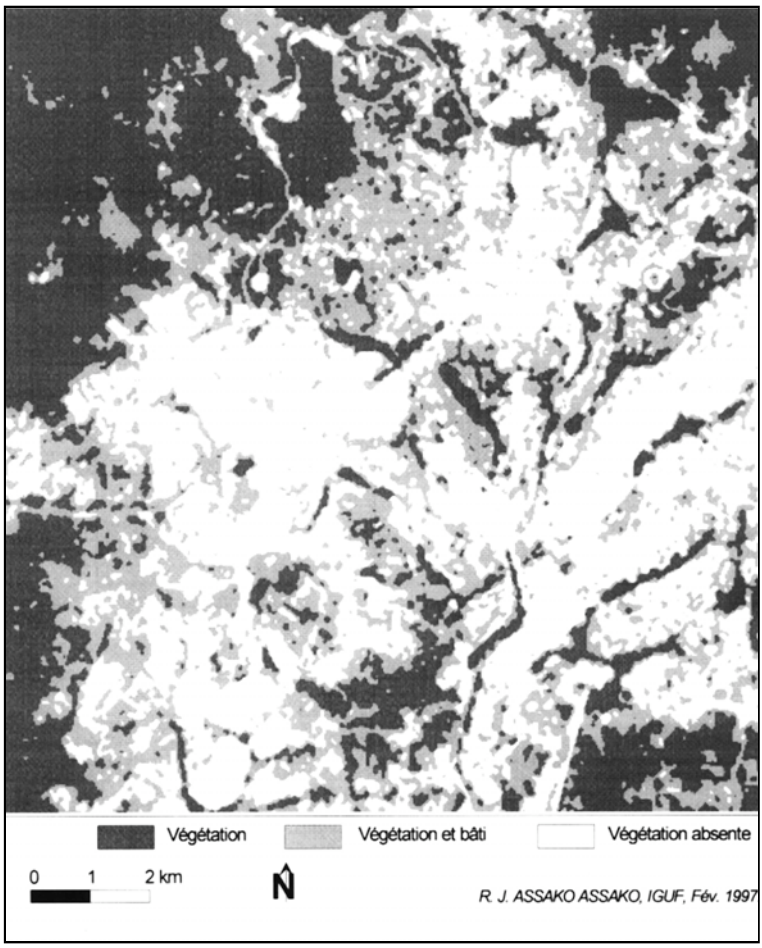
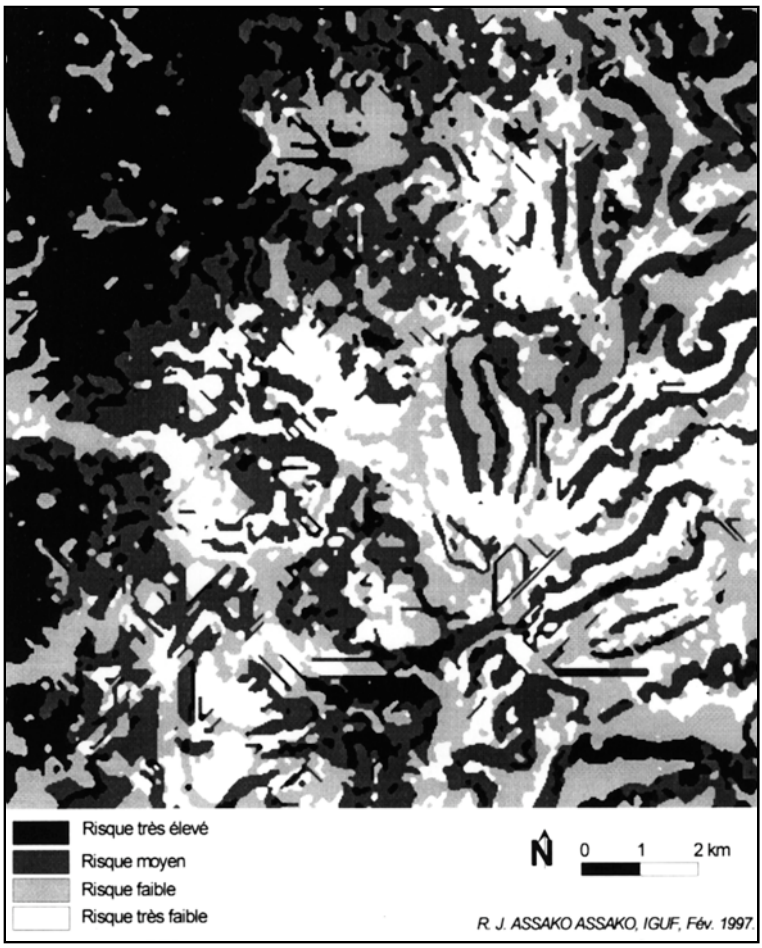


Image SPOT-XS du 07/02/92. K=85; J=342

Figure 9 : Risques d'érosion et de glissement de terrain à Yaoundé en fonction de la pente et de la couverture du sol



Conclusion

L'érosion, les glissements de terrain ou les inondations à Yaoundé posent le problème plus global de l'impact de l'action de l'homme sur le milieu. Ils ne prennent de l'envergure que parce que l'implantation humaine s'est produite à des endroits et en des proportions ne tenant pas compte des dispositions naturelles du site. L'aménagement et le développement urbains procèdent donc d'un processus cyclique où il faut trouver l'équilibre entre l'incontournable croissance urbaine et la nécessaire protection des milieux naturels. Ceci nécessite un permanent arbitrage pour l'exercice duquel les systèmes d'information géographiques, grâce à la diversité, la souplesse et la précision des traitements numériques, offrent une information adéquate.

Sans revendiquer une quelconque exhaustivité, le modèle que nous venons de développer permet de soulever un problème majeur quant à l'orientation de l'aménagement et du développement urbains à Yaoundé : les terrains les mieux indiqués pour l'urbanisation (compte tenu de la douceur relative de la pente et d'une relative platitude du relief) sont aussi les plus exposées aux aléas pluviométriques. En effet, le nord-ouest et une partie de l'ouest sont manifestement impropres à l'implantation humaine, compte tenu non seulement des hautes altitudes mais aussi de l'affleurement de la roche : la plupart des sommets sont dénudés. D'autre part, les directions du nord, de l'est et du sud s'avèrent mieux adaptées à une densification urbaine. Mais cet avantage est à nuancer dans la mesure où le sens de l'écoulement des eaux de surface et la relative platitude du relief font que les risques d'inondation y sont plus élevés.

BIBLIOGRAPHIE

ASSAKO ASSAKO R. J., 1995-a. *L'amélioration de l'habitat à Yaoundé : succès tardif ou fiasco consommé ?*, Revue Histoire et Anthropologie, n° de Juillet 1995.

ASSAKO ASSAKO(R.J., 1995-b. *Essai de différenciation des quartiers de Yaoundé à l'aide d'une image HRV de SPOT*, in Actes des Vie Journées Scientifiques du Réseau Télédétection de l'AUPELF-UREF, à paraître.

ASSAKO ASSAKO R. J., 1996. *Contribution à la création d'un observatoire urbain utilisant la télédétection et les données géo-référencées à Yaoundé (Cameroun)*, Thèse de Doctorat Nouveau Régime, Université Paris X-Nanterre, 327 p.

COLLET C, 1996. *La géomatique, un domaine méthodologique au service de l'analyse spatiale*. in Cahiers de l'Institut de Géographie de L'université de Fribourg, n°11-1996, pp. 73-82.

FRANQUEVILLE A, 1984. *Yaoundé : construire une capitale*, Éditions ORSTOM, Paris, 192 p.

KIET SRANG, 1972. *Hydrologie d'un bassin versant de zone urbaine*, (CMR), ORSTOM, Paris, 46p.

Travaux de la Société d'Écologie Humaine

c/o UMR 6578 du CNRS - Adaptabilité Humaine : Biologie et Culture
Université de la Méditerranée, Faculté de Médecine
27, boulevard Jean-Moulin, 13385 Marseille cedex 5

Directeur de la Publication : Nicole Vernazza-Licht

Déjà parus :
L'homme et le lac 1995
Impact de l'homme sur les milieux naturels : Perceptions et Mesures 1996

Cet ouvrage est issu, pour l'essentiel, des travaux présentés aux VIII[e] journées scientifiques de la Société d'Écologie Humaine (SEH), qui se sont tenues à Orléans en juin 1996.
Ces journées étaient organisées par :
- la Société d'Écologie Humaine
- l'équipe du DEA « Environnement, Temps, Espaces, Sociétés », Université d'Orléans
- l'UMR 6578 « Adaptabilité Humaine : Biologie et Culture », CNRS-Université de la Méditerranée, Marseille
- le laboratoire Population-Environnement, Université de Provence/Orstom, Marseille
- le laboratoire ERMES, Orstom, Orléans

Il a bénéficié du soutien financier du département Environnement, Technologies et Société de l'Université de Provence, Marseille

Dépôt légal : 4[e] trimestre 1998
ISBN : 2-9511840-2-6
ISSN : 1284-5590
Tous droits réservés pour tous pays
© Éditions de Bergier
476 chemin de Bergier, 06740 Châteauneuf de Grasse
bergier@webstore.fr

VILLES DU SUD

ET

ENVIRONNEMENT

Éditeurs scientifiques

Daniel Bley, Jacques Champaud, Patrick Baudot,
Bernard Brun, Hélène Pagezy, Nicole Vernazza-Licht

Travaux de la Société d'Ecologie Humaine

1997