

ANALYSE DES CONTRAINTES DE VIABILITE DE LA VEGETATION URBAINE : CAS DES ARBRES D'ALIGNEMENT DANS LA VILLE DE PORTO-NOVO AU BENIN

Osseni Abdel Aziz

DEA en Géographie et Gestion de l'Environnement, Master en Systeme
d'Information Géographique, Université d'Abomey-Calavi, Bénin

Sinsin Brice

Professeur Titulaire d'Ecologie Appliquée, Université d'Abomey-Calavi,
Bénin

Toko Imorou Ismaila

Maitre Assistant en Géographie, Université d'Abomey-Calavi, Bénin.

Abstract

Many efforts have been made in recent decades to provide urban forestry a tool of conservation plantre sources and sustainable development of cities. In southern countries, these efforts are more focused on conventional reforestation and education without much considers the factors that determine the survival of the trees. This study on the Porto-Novo city in Bénin, is a better understanding of the viability of urban trees, including those planted by analyzing the constraints of the medium. Lands atimages were used to determine state changes in vegetation cover in 2003 and 2013. An inventory of forms of mutilation on the trees is associated with a survey of populations to link the urban practices and their causes on the viability of urban trees. For data processing, normalized vegetation index is calculated in ENVI5 and mapped in ArcGIS10. Chi Square test and correspondence analysis are performed under R. The results show a decline in the normal state and moderate vegetation and an increase in stress states and mineral areas. Depending on the population, it is the anthropogenic activities ($P=0.001$) and planning conditions ($P=0.01$), which are currently the factors significant constraint strees. The consequences are biologically and landscape esthetically. The inclusion of such information is necessary for a better future of urban forestry in the city.

Keywords: Viability, stress, urban vegetation, street trees, Porto-Novo

Résumé:

De nombreux efforts sont fournis ces dernières décennies pour faire de la foresterie urbaine un outil de conservation des ressources végétales et de développement durable des villes. Dans les pays du sud, ces efforts sont plus concentrés sur des actions classiques de reboisement et de sensibilisation sans trop prendre en compte les facteurs qui déterminent les chances de survie des arbres. Cette étude réalisée sur la ville de Porto-Novo au Bénin, vise une meilleure connaissance des conditions de viabilité des arbres urbains, notamment ceux plantés à travers une analyse des contraintes du milieu. Des images Landsat ont été utilisées pour déterminer les changements d'état du couvert végétal en 2003 et 2013. Un inventaire des formes de mutilation observées sur les arbres est associé à une enquête auprès des populations pour mettre en relation les pratiques citadines et leurs causes sur la viabilité de l'arbre urbain. Pour le traitement des données, l'indice de végétation normalisée est calculé sous ENVI 5 et cartographié sous ArcGIS 10. Le test chi 2 et l'analyse factorielle des correspondances sont effectués sous R. Les résultats obtenus montrent une régression de l'état normal et modéré de la végétation et une progression des états de stress et des superficies non couvertes. Selon les populations, ce sont les actions anthropiques ($P = 0,001$) et les conditions d'aménagement ($P = 0,01$) qui sont actuellement les facteurs de contraintes significatives des arbres. Les conséquences qui en découlent sont du point de vue biologique et de la dégradation de l'esthétique du paysage. La prise en compte de ces informations est nécessaire pour un meilleur avenir de la foresterie urbaine dans cette ville.

Mots clés: Viabilité, Contrainte, végétation urbaine, Plantations d'alignement, Porto-Novo

Introduction:

Les villes abritent de nos jours, un nombre relativement élevé de formations végétales, plantées ou naturelles, reconnues comme un enjeu environnemental majeur à l'échelle internationale et locale (Clergeau, 2007). Leur prise en compte s'impose et s'inscrit dans la dynamique de la gestion durable des villes à partir des efforts locaux (CDB, 2009 ; FAO, 2009). Ainsi, la promotion du végétal dans les nouveaux modèles de la ville durable fait des infrastructures vertes, un outil de structuration de l'urbain (Mollie, 2009).

Mais dans le contexte actuel de forte urbanisation, la couverture végétale des villes, déjà fortement dégradée et en grande partie anthropique (Vidra & Shear, 2008), est soumise à de grandes contraintes engendrées par

la mise en œuvre des politiques d'aménagement et le développement social (Jack-Scott *et al.*, 2013). Le phénomène est plus remarquable dans les pays en développement, notamment en Afrique de l'ouest où la sensibilité des citadins à la présence des végétaux se révèle plus faible au fur et à mesure que la ville est plus densément construite (Rusterholz, 2003). Cette situation préjudiciable à l'environnement (Wolff, 2005) s'observe également au Bénin et particulièrement dans ses grandes villes dont Porto-Novo fait partie.

En effet, dans la ville de Porto-Novo, les plantations sont soumises à d'intenses pressions anthropiques (Juhé-Beaulaton, 2008), entraînant la modification de leur structure, leur inefficacité dans le maintien des fonctions écologiques et la réduction de leur chance de survie. Les raisons qui fondent cet état de chose sont liées aux habitudes socioculturelles et à la mise en place des aménagements. Ces raisons s'expliquent à travers les opérations de restructuration de la ville, la recherche d'espace, l'incivisme et l'intérêt des populations aux prélèvements d'organes pour la satisfaction de leurs besoins (Akionla, 2012). De nombreux efforts sont faits par les acteurs de la foresterie urbaine de la ville dans le cadre de la conservation de la biodiversité et de la promotion du végétal (Zohoun, 2011). Mais ces efforts se focalisent sur le reboisement et la réalisation des espaces verts, sans trop prendre en compte les effets de l'urbanisation incontrôlée et des pressions sociales sur la pérennité des arbres urbains. En conséquence, la disparition des formations naturelles s'accroît et la dégradation de celles anthropiques se confirme, mettant en jeu la problématique de leur viabilité. Cette notion en foresterie urbaine permet de rendre compte de l'analyse des caractéristiques du paysage (Haddad 1997), et de la probabilité de sa survie à partir d'un indicateur observable dans le temps (Cook, 2002).

La valorisation et la préservation du patrimoine végétal urbain passent d'abord par la connaissance des conditions de vie des arbres qui le composent (Dardour *et al.*, 2014). C'est dans cette optique que le présent travail a été réalisé. Il consiste à effectuer une analyse des conditions de viabilité des arbres plantés dans la ville de Porto-Novo en mettant l'accent sur les facteurs et contraintes de viabilité des plantations d'alignement.

Matériel et Méthodes

Présentation du milieu d'étude

La ville de Porto-Novo est une commune du département de l'Ouémé. Elle est localisée entre 6°25' et 6°30' de latitude nord, et entre 2°34' et 2°40' longitude est (Figure 1).

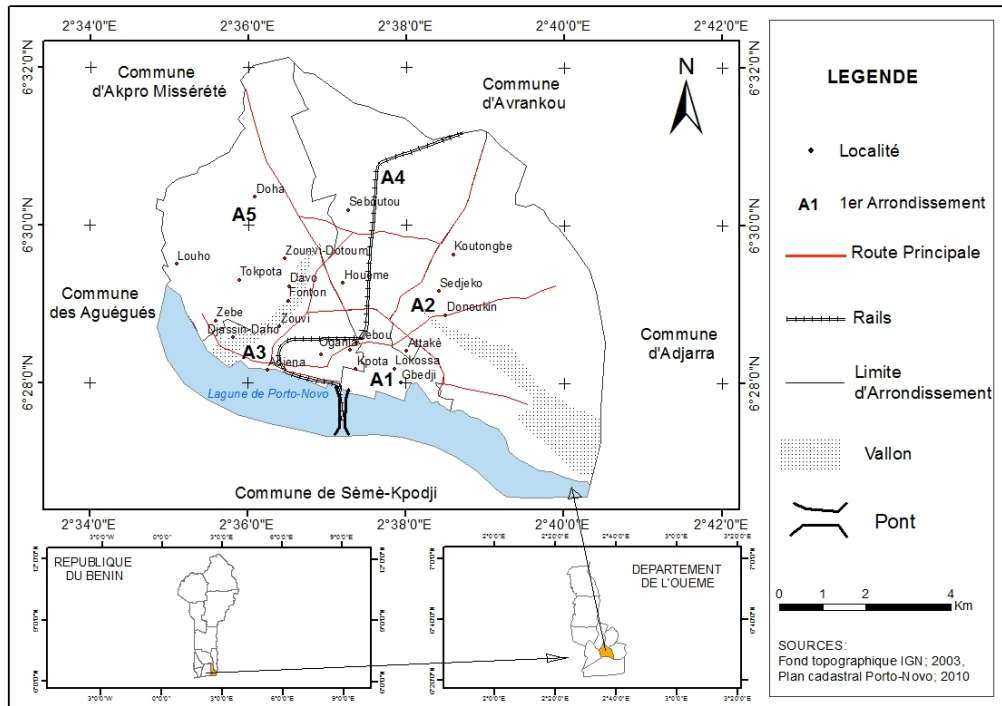


Figure 1 : Situation géographique de la ville de Porto-Novo

Ville historique et touristique, Porto-Novo s’étend sur une superficie de 52 km² et jouit du statut de capitale politique du Bénin. Elle présente une variété de formes urbaines à travers lesquelles les routes aménagées ou non sont bordées d’arbres d’alignement pour le confort des citoyens (Akionla, 2012). La température moyenne de 27,5°C et la pluviométrie moyenne de 1300 mm/an constituent des conditions climatiques favorables au développement des arbres de la ville.

Collecte des données

L’indicateur utilisé pour évaluer la viabilité de la végétation urbaine est l’indice de végétation normalisée (NDVI) calculé pour l’ensemble de la végétation de la ville. Le NDVI est l’une des méthodes les plus connues et les plus utilisées pour apprécier l’état de santé et la résilience de la végétation compte tenu de sa robustesse dans différentes conditions biophysiques (Sellers, 1985). Il est donc utilisé pour la détection de la végétation active et pour analyser la dégradation de la couverture végétale (IAURIF, 2000). Cet indice permet aussi d’évaluer les conséquences de la forte anthropisation du milieu sur les végétaux (Couvet *et al.*, 2005). Ainsi, des images Landsat ETM+ (2003) et Landsat OLI (2013) de résolution 30 mètres sont utilisées pour apprécier l’évolution du NDVI entre 2003 et 2013. La collecte des données sur les facteurs et contraintes de viabilité des

plantations d'alignement est faite à partir des observations directes, une enquête par questionnaire et la prise de mesures sur les arbres. Au total 189 personnes sont enquêtées sur 37654 m linéaires de plantations. Le matériel utilisé pour la collecte des données de terrain comprend une fiche d'inventaire et une fiche de questionnaire pour recueillir les informations auprès des populations.

Méthodes de traitement et d'analyse des données

Analyse de la viabilité de la végétation urbaine de Porto-Novo

Le traitement des images a été effectué sous le logiciel ENVI 5, les représentations cartographiques sous ArcGIS 10 et les diagrammes sous Excel. Les valeurs du NDVI sont générées à partir de la formule suivante:

$$NDVI = \frac{PIR - R}{PIR + R}$$

PIR désigne le canal du proche infrarouge dans lequel la couverture végétale a de fortes réflectances et R désigne le canal du rouge dans lequel les surfaces minérales ont de fortes réflectances. Le néo-canal résultant de la combinaison de ces deux canaux présente un gradient croissant d'activité végétale allant d'une absence d'activité chlorophyllienne (NDVI tend vers -1) à une forte activité chlorophyllienne (NDVI tend vers 1). Les valeurs de l'indice pour lesquelles la santé de la végétation est supposée normale sont comprises entre 0,2 et 1. Une comparaison des valeurs de cet indice est faite sur les scènes de 2003 et de 2013, puis le taux de variation annuel est calculé par la formule :

$$T = \frac{S2 - S1}{t2 - t1} \times 100$$

Avec T = taux de variation annuel du NDVI ; S1 = superficie de la catégorie du NDVI considérée pour l'année 2003 ; S2 = superficie de la catégorie du NDVI considérée pour l'année 2013 ; t1=2003 et t2= 2013.

Détermination des facteurs et contraintes de viabilité des plantations

Les données collectées sont préparées dans le tableur Excel puis exportées dans l'environnement du logiciel R pour les analyses. La perception des populations a été évaluée pour identifier les facteurs affectant le plus la viabilité des arbres. Un test de Chi2 (χ^2) sur tableau de contingence est réalisé pour vérifier le niveau de significativité des taux de réponses fournies pour chaque type de facteur évoqué. Ensuite, les facteurs liés aux actions anthropiques et aux aménagements ont été catégorisés et soumis à une analyse factorielle des correspondances (AFC) pour caractériser les facteurs liés à la dégradation.

Résultats

Viabilité des formations végétales de la ville de Porto-Novo

Au total, 107 espèces réparties dans 34 familles sont recensées dans les différentes formations végétales de la ville de Porto-Novo. Les types de formations rencontrées sont les forêts marécageuses (21 espèces), les forêts sacrées (18 espèces), le Jardin botanique (53 espèces), les espaces verts (20 espèces), les plantations d'accompagnement (49 espèces) et les plantations d'alignement (35 espèces). Les espèces dominantes de ces formations sont *Mangifera indica*, *Acacia auriculiformis*, *Azadirachta indica*, *Cocos nucifera*, *Delonix regia*, *Ficus glumosa*, *Gmelina arborea*, *Khaya senegalensis*, *Terminalia catappa* et *Terminalia mantaly*. En fonction des conditions physiques du milieu, des pressions exercées par les populations et de l'orientation des aménagements, ces formations présentent parfois des états phytosanitaires critiques qui peuvent causer leur dégradation ou leur disparition.

L'utilisation de l'indice de végétation normalisé (NDVI) a permis de déterminer les chances de survie de ces formations végétales à travers les variations des superficies de leurs états entre 2003 et 2013. De façon générale, on constate une dominance des superficies des classes de végétation en état de stress sur celle en état normal et modéré. Les proportions de ces superficies sont de 26,40 % en 2003 contre 17,56 % en 2013 pour la végétation en état normal. L'état modéré de la végétation présente une superficie de 25,09 % en 2003 contre 23,66 % en 2013. Quant à la végétation en état de stress, ses superficies sont de 26,62 % en 2003 contre 35,14 % en 2013. Ces chiffres indiquent au cours de cette période une diminution de la végétation normale et une augmentation de la végétation modérée et celle en état de stress. La figure 2 présente ces variations d'état de végétation sur l'ensemble du territoire de la ville.

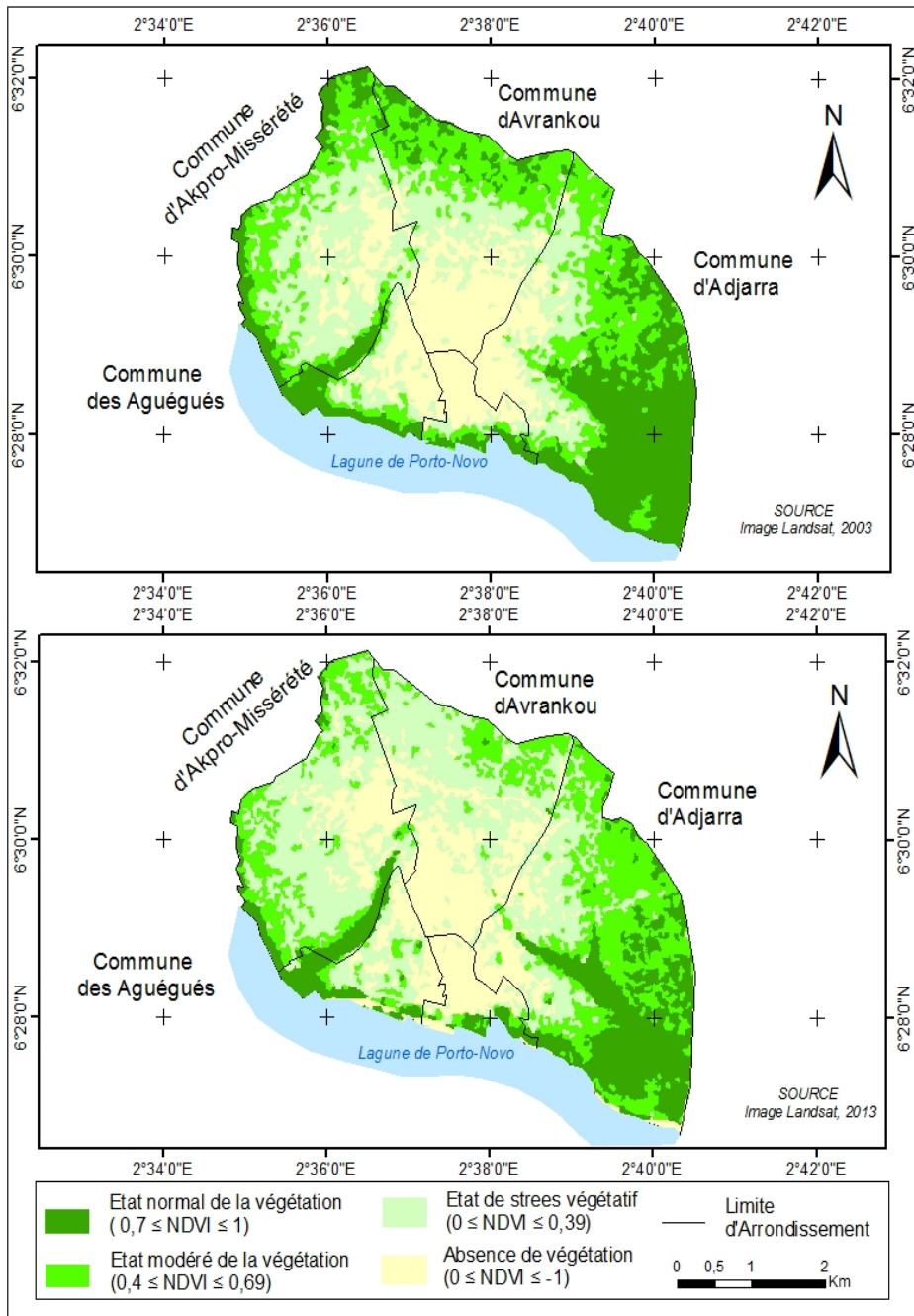


Figure 2 : Variation de l'Indice de végétation normalisé entre 2003 et 2013 à Porto-Novo

On note que le NDVI est indicateur de présence de végétation dans les zones où il varie entre 0 et 1. Il est plus élevé dans les zones non habitées, notamment les valons et en bordure de la lagune avec des valeurs comprises

entre 0,7 et 1. Ces valeurs sont associées à une forte activité chlorophyllienne des plantes et expriment un état normal de la végétation. Les végétaux se trouvant dans ces milieux traduisent de bonnes conditions de viabilité. Il s'agit des formations marécageuses dominées par les espèces telles que *Raphia hookeri*, *Cocos nucifera*, *Elaeis guineensis*, *Artocarpus communis* et *Mangifera indica*. Dans les espaces fortement habités, les valeurs du NDVI varient entre 0 et 0,69, ce qui indique une diminution de l'activité chlorophyllienne. Les végétaux rencontrés dans ces zones présentent un état modéré ou de stress. Ces cas indiquent une dégradation des conditions du milieu et sont révélateurs de l'état critique de viabilité des végétaux. Les types de formations rencontrées dans ces zones sont les plantations, les jardins, les espaces verts et les arbres d'accompagnement dans les habitations. Ces plantations sont dominées par les espèces telles que *Kaya senegalensis*, *Ficus glumosa*, *Terminalia catappa* et *Terminalia mantaly*. Entre 2003 et 2013, on note une régression de 8,8 % pour la végétation à l'état normal et de 1,4 % pour l'état modéré, pendant que la végétation en état de stress a progressé de 8,5 %. Les variations moyennes de l'indicateur de viabilité pour les différentes classes de végétation sont appréciées à l'échelle annuelle et présentées sur la figure 3.

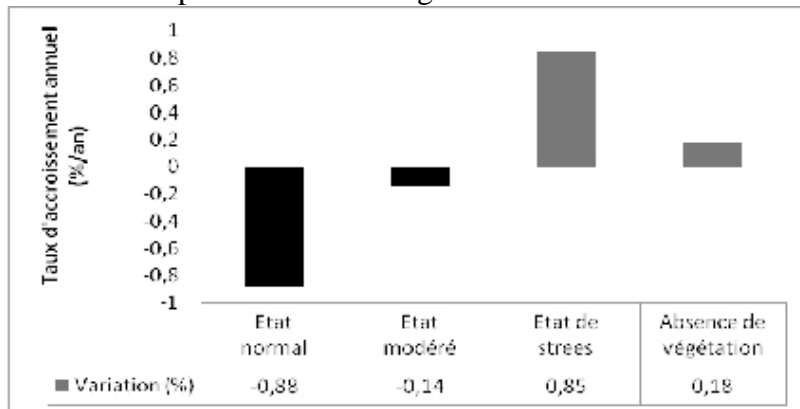


Figure 3 : Variation annuelle de l'état de viabilité de la végétation urbaine

Cette figure met en évidence la dynamique des superficies de chaque classe du NDVI entre 2003 et 2013. De façon générale, on remarque que le rythme d'évolution des états de végétation est variable dans la ville. Ainsi, note-on une régression de l'état normal et de l'état modéré de la végétation. Par contre, on observe une progression de la végétation en état de stress et des superficies non couvertes par la végétation au cours de cette période. Le taux de régression est plus prononcé au niveau de l'état normal avec une valeur de 0,88 % par an, alors que l'état de stress progresse à un taux de 0,85 % par an. Cette tendance indique que la viabilité s'affaiblit en fonction du

temps. Les causes d'une telle situation sont de plusieurs ordres et s'expliquent aisément lorsqu'on s'intéresse aux plantations anthropiques qui sont de proximités et qui participent au mieux-être des populations.

Facteurs affectant la viabilité des formations végétales de Porto-Novo Cas des plantations d'alignement

La mise en place des infrastructures et équipements de la voirie, l'organisation sociale et les conditions physiques du milieu génèrent des contraintes à la viabilité des plantations urbaines. Ces contraintes d'origines diverses, sont regroupées en quatre (04) facteurs principaux à savoir : les conditions d'aménagement, les conditions du milieu physique, les pressions anthropiques et le cadre organisationnel qui régit la promotion de la foresterie urbaine. L'importance de ces facteurs selon les populations est présentée dans le tableau I.

Tableau I : Perception des populations sur les facteurs de dégradation des plantations

Facteurs	Valeur de Chi 2	P-value
Actions anthropiques	10,262	0,001
Cadre organisationnel	4,759	0,093
Conditions d'aménagements	13,243	0,010
Conditions biophysiques	0,527	0,798

Source : Enquête socio-écologique, 2013

On note que deux facteurs ont une importance significative dans la dégradation du patrimoine végétal de la ville de Porto-Novo. Le premier est l'ensemble des actions anthropiques menées par les usagers ($p = 0,001$) et le deuxième regroupe les conditions d'aménagement imposés par les travaux de construction et viabilisation des quartiers ($p = 0,01$). Selon les populations, l'attachement à la végétation et les préoccupations à son sujet sont variables suivant le type de plantation et les espèces qui la composent. Pour ce qui concerne les plantations d'alignement, ce sont les besoins quotidiens en produits végétaux tels que les feuilles, les fruits, l'écorce ou les racines pour les usages domestiques qui amènent les citoyens à mutiler les arbres. De même, la recherche d'espace pour le développement d'activités économiques aux abords des rues constitue une des causes d'abattage des arbres par les populations. Par ailleurs, l'aménagement est une nécessité pour offrir des conditions de mieux-être aux citoyens, mais sa réalisation oblige les acteurs à procéder aux abattages, aux élagages ou à la destruction totale des alignements. Ces différentes actions constituent des formes de pression qui contraignent la survie des plantations.

Contraintes de viabilité des plantations d'alignement

De nombreuses actions liées à l'homme et aux aménagements sont identifiées comme affectant la viabilité des formations végétales urbaines en

général et les plantations en particulier. Une analyse de ces actions et de leurs causes respectives est présentée sur la figure 4.

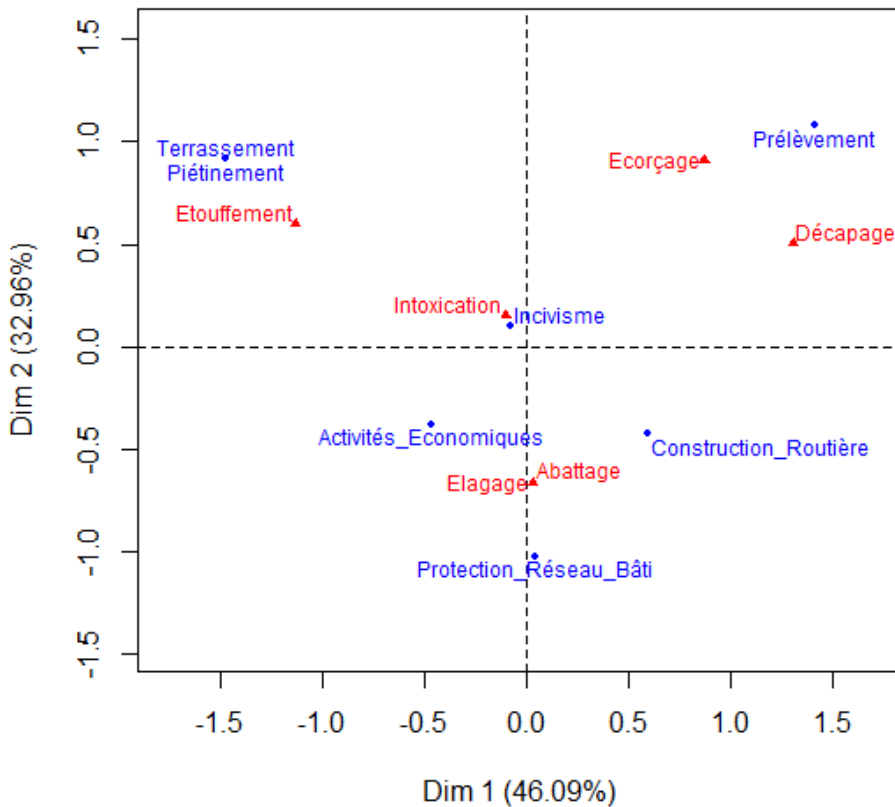


Figure 4 : Analyse des contraintes de viabilité liées aux aménagements et actions anthropiques

La figure 4 montre la carte factorielle des formes de mutilation des arbres et les facteurs qui les favorisent dans la ville de Porto-Novo. Les valeurs propres extraites par les deux premiers axes factoriels sont respectivement de 46,09 % et 32,96 % correspondant ainsi à une inertie totale de 77,05 %, ce qui permet de tirer des conclusions majeurs. L'interprétation de cette figure permet de noter sur l'axe 1 (Dim 1) une forte contribution des prélèvements comme facteur de mutilation des arbres en plantation. Sur l'axe 2 (Dim 2), on note une forte contribution de la protection du réseau électrique et du bâti comme facteur de dégradation des arbres. La projection des coordonnées dans le système d'axes factorielles indique que les activités économiques, les opérations de construction routière et de protection du réseau aérien sont à la base des actions d'élagage enregistrées sur 65,68 % des arbres et d'abattage enregistrées sur 4,66 % des arbres. Ces actions affectent plus les espèces à grand houppier, qui dans leur développement perturbent les équipements d'aménagement. Il s'agit des

espèces comme *Ficus glumosa*, *Kaya senegalensis*, *Terminalia catappa* et *Terminalia mentaly*. De même, les prélèvements d'organes observés sur 21,25 % des arbres sont associés à l'écorçage et au décapage des plantes. L'espèce la plus concernée est *Kaya senegalensis* utilisée en médecine traditionnelle. On remarque aussi que 17,94 % des arbres ont leur pied terrassé, ce qui provoque un étouffement du système racinaire des arbres. Quelques rares cas d'actes d'incivisme tels l'aspersion des arbres par des polluants liquides (urines et huiles à moteur) sont observés sur 4,86 % des individus, et constituent une source d'intoxication des plantes.

De l'analyse de ces informations, il ressort que la force de dégradation provient du phénomène d'étalement urbain qui impose la recherche d'espace pour l'installation d'habitations et des établissements commerciaux, la mise en place des infrastructures et équipements puis la satisfaction des besoins des populations. Ce phénomène entraîne une cohabitation difficile entre les arbres et les infrastructures d'aménagement, entraînant les formes de mutilations constatées sur les arbres. Les conséquences de ces actes sont perceptibles à travers le ralentissement de la croissance des arbres, le dépérissement des branches, le jaunissement des feuilles, de la diminution de l'effet de la photosynthèse et de la respiration, la dégradation du houppier et la perte d'esthétique du paysage urbain.

Discussion

Suivi de la végétation de la ville de Porto-Novo

La ville de Porto-Novo présente une variété formations végétales parmi lesquelles on peut noter les forêts sacrées, les espaces verts, les plantations d'accompagnement, le Jardin botanique et les plantations d'alignement. La richesse floristique de cette ville est similaire à celle des villes de Ouidah (Ogouvidé, 2012), de Grand-Popo (Djossou, 2012) et de Parakou (Dossa 2008). Les principales espèces rencontrées dans ces villes sont *Mangifera indica*, *Acacia auriculiformis*, *Azadirachta indica*, *Cocos nucifera*, *Delonix regia*, *Ficus glumosa*, *Gmelina arborea*, *Khaya senegalensis*, *Terminalia catappa* et *Terminalia mantaly*. Malgré que ces espèces soient très utiles pour les populations, ces dernières leur accordent peu d'importance en les soumettant à des conditions de plus en plus difficiles. Les mêmes constats sont faits par (Christopher et Jerry, 2002) qui préconisent un suivi rigoureux des arbres au cours de leur stade de développement. Un tel suivi est indispensable pour la ville de Porto-Novo où aucun indicateur n'existe pour le moment en la matière (Akionla, 2012). C'est justement en absence d'indicateur de suivi préétabli que le NDVI a été utilisé dans cette étude pour constater un amenuisement progressif des chances de survie des arbres dans le temps. A travers cela, l'importance de la télédétection et de l'écologie du paysage dans la compréhension de la

structure paysagère des milieux urbains a été mise en jeu. Ainsi, les valeurs du NDVI comprises entre 0 et 0,6 retrouvées dans les milieux habités évoquent un état critique de la végétation dans ces milieux. Avec des méthodes similaires, Banari *et al.* (1997) ont trouvé des valeurs nettement inférieures qui sont comprises entre 0 et 0,2. Ces faibles valeurs sont justifiées des auteurs par le filtrage spectral et le seuillage effectués sur l'image utilisée afin de minimiser la forte sensibilité optique du sol. Les catégories d'état de végétation différenciées dans la ville de Porto-Novo sont semblables aux résultats de Diara (1998) sur la ville de Bamako au Mali, et confirment les conclusions tirées sur l'état phytosanitaire critique des plantes. Des informations utiles peuvent être extraites de ces résultats pour un suivi constant de la végétation urbaine. C'est dans cette logique que Pettorelli *et al.* (2005), ont montré que cet indice est bien indiqué pour la recherche des tendances de variation spatio-temporelle, de la distribution, de la productivité et de la dynamique de la végétation. D'autres auteurs tels que Kerr et Ostrovsky (2003) et Muratet *et al.* (2013) ont confirmé l'efficacité du NDVI comme un indicateur de biodiversité pour estimer la résistance et l'hétérogénéité de la végétation urbaine, avec des possibilités d'informations pouvant aider à la protection de ces milieux. L'utilisation de l'indice de végétation dérivé des données de télédétection pourrait constituer une information de base précieuse pour le suivi et la gestion de l'environnement végétal. Mais son exploitation reste tout de même limitée, car il ne fournit pas des informations sur les causes de dégradation de la végétation, toute chose importante pour planifier un aménagement durable.

Nécessité de renforcer les stratégies de protection des arbres urbains

Cette étude révèle que les actions anthropiques et les aménagements constituent les principales contraintes de viabilité des arbres en plantation dans la ville de Porto-Novo. Ces contraintes sont sources de dégradation ou de mutilation observées sur les arbres. En moyenne, 65,68 % des arbres de rue sont ébranchés à Porto-Novo. Ce chiffre est supérieur à celui de 47 % évoqué par Singh (2013) pour la ville de Gujarat en Inde et de 23 % observé par Lu *et al.* (2010) pour les mêmes types de plantation. Cela suppose que les facteurs de dégradation des arbres sont plus nombreux dans la ville de Porto-Novo que dans ces villes. Le renforcement des stratégies de protection des arbres s'imposent pour leur faciliter un développement normal. Le fort taux d'élagage constaté compromet aussi le maintien des fonctions écologiques et constitue également un danger potentiel pour les espèces à grand houppier qui, pourraient ne jamais avoir la chance d'aller au stade final de leur développement, ce qui pose le problème du choix des espèces à planter en milieu urbain. Les conclusions de Vidra et Shear (2008) sur la difficile cohabitation des arbres avec les infrastructures et habitations montrent que

ces problèmes trouvent leur source dans la planification au cours de laquelle, la forme du houppier des arbres n'est pas prise en compte dans la structuration du paysage urbain. Le même constat est fait par Day *et al.* (2010) qui, en plus du réseau aérien ont évoqué les réseaux terrestres constitués des revêtements et caniveaux comme contraintes majeures à la viabilité des plantations. L'influence des populations a été remarquable dans le processus de dégradation des plantations. Dans la plupart des villes africaines, le constat est le même (Bekkouch *et al.*, 2011). Cela implique que l'inclusion des besoins des populations dans la planification de la foresterie urbaine pour créer les conditions d'une ville écologiquement durable est nécessaire. A cet effet, la prise en compte des facteurs socioculturels du milieu est un facteur important à considérer (Jack-Scott, 2013). C'est en cela que le rôle des élus locaux est indispensable, et c'est à ce titre que Nesrouche (2007) rapportait qu'ils sont mieux imprégnés des réalités socioculturelles des citoyens, et par conséquent peuvent en tenir compte dans l'élaboration des projets d'aménagement. Aussi, le respect des normes de plantation est-il nécessaire pour maintenir les arbres dans la dynamique du paysage (Vidra et Shear, 2008). Selon Polorigni *et al.* (2014) la forêt urbaine est un élément central dans la planification urbaine. Et pour qu'elle contribue de manière significative à sa réussite, il est important de prendre en compte les aspects techniques de la réalisation des plantations afin de garantir aux arbres un développement normal dans le temps. Pour y parvenir, une orientation devrait être donnée dès le départ aux projets de reboisement, surtout dans le respect des normes de plantation et dans le choix des espèces. Selon Vidra et Shear (2008), cette orientation, couplée à la formation des techniciens de la foresterie urbaine, permettra de dissiper les soucis écologiques en ville.

Conclusion

Cette étude présente une analyse de la viabilité de la végétation urbaine basée sur des approches spatiales et ethnobotaniques. Ces approches ont permis de noter que les chances de survie de la végétation de la ville de Porto-Novo s'amenuisent au cours du temps. Elle montre aussi comment la pression urbaine, notamment les actions anthropiques et aménagements peuvent affecter et dégrader les arbres urbains. Pour que les efforts de reboisement soient pérennisés, il est important aux décideurs de mûrir des réflexions afin de concilier la demande sociale aux objectifs de ville durable pour un meilleur avenir de la foresterie urbaine. Comme par exemple, renforcer la sensibilisation et l'éducation environnementale; Œuvrer à la création des plantations de prélèvements pour permettre aux citoyens de satisfaire leurs besoins en végétaux sans compromettre la structure du paysage et enfin mettre en application les dispositions prévues pour

sanctionner les actes d'incivisme et de vandalisme en matière de foresterie urbaine. Une négligence de ces aspects dans la protection et la conservation de la végétation urbaine risque d'accentuer sa perte et par conséquent pourrait compromettre le mieux-être des populations.

Références :

Akionla M.A. (2012). Diversité et fonctions des formations végétales dans la ville de Porto-Novo. Mémoire de DESS en Gestion de l'Environnement, Université de Parakou, Bénin, 83p.

Bannari A., Morin D. et He D. (1997). Caractérisation de l'environnement urbain à l'aide des indices de végétation dérivés des données de hautes résolutions spatiale et spectrale. Télédétection des milieux urbains et périurbains. Éd. Aupelf-Uref. 1997. pp : 47 - 64.

Bekkouch I., Kouddanea N., Darouia E., Boukroutea A., Berrichi A. (2011). Inventaire des arbres d'alignement de la ville d'Oujda. Nature et Technologie, n° 5, pp : 87 - 91.

CDB. (2009). Convention sur la diversité biologique. Article 7. Identification et surveillance <http://www.cbd.int/convention/articles/?a=cbd-07>

Clergeau P. (2007). Une écologie du paysage urbain. Editions Apogée, Bonchamp-lès-Laval, 136 p.

Cook E. (2002). Landscape structure indices for assessing urban ecological networks. Landscape and Urban Planning (58), pp : 269 - 280.

Couvet D., Jiguet F., Julliard R. et Levrel H. Les indicateurs de Biodiversité. In Barbault R. et Chevassus-au-Louis B. 2005. Biodiversité et changements globaux. Enjeux de société et défis pour la recherche, adpf-Ministère des Affaires Etrangères, 241p.

Dardour M., Daroui E., Boukroute A., Kouddan N., Berrichi A. (2014). Inventaire et état sanitaire des arbres d'alignement de la ville de Saïdia (Maroc oriental). Nature et Technologie ; Sciences de l'Environnement, n° 10, pp : 2 – 9.

Diarra B. (1998). Caractérisation de l'environnement urbain par télédétection: l'exemple de Bamako (Mali). Villes du sud et environnement, pp : 125-130.

FAO. 2009. Le Traité international sur les ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture. <http://www.planttreaty.org/fr>

Haddad Y. (1997). Les arbres d'alignement urbains : Un enjeu pour des partenaires multiples. Les Annales de La Recherche Urbaine ; Natures en villes, n° 74, pp : 113 – 118.

Kerr J.T. and Ostrovsky M. (2003). From space to species: ecological applications for remote sensing. Trends Ecol Evol (18), pp:299–305.

Mollie C. (2009). Des arbres dans la ville, l'urbanisme végétal. Actes Sud en coédition avec Cité verte, 260 p.

- Muratet A., Lorrilliere R., Clergeau P. and Fontaine C. (2013). Evaluation of landscape connectivity at community level using satellite-derived NDVI. *Landscape Ecol* (28), pp : 95 - 105.
- IAURIF. (2000). Institute for Planning and Development of the Paris Ile-de-France Region. [http://www.iau-idf.fr/fileadmin/Etudes/etude_799/doc/memento_1_Indice vegetation.pdf](http://www.iau-idf.fr/fileadmin/Etudes/etude_799/doc/memento_1_Indice_vegetation.pdf).
- Jack-Scott E., Piana M., Troxel B., Murphy-Dunning C., Ashton M.S. (2013). Stewardships success: How community group dynamics affect urban street trees survival and growth. *Arboriculture and urban forestry*, 39 (4), pp : 189 - 196.
- Juhé-Beaulaton D. (2008). Arbres mémoires, forêts sacrées et jardins des plantes de Porto Novo (Bénin) : un patrimoine naturel urbain à considérer In *Patrimoine et développement : réflexions pluridisciplinaires à partir de l'exemple de Porto-Novo (Bénin)*, Paris, Editions de la Sorbonne, 29 p.
- Nesrouche H. B. (2007). Approche écologique : Une ville saine pour un développement durable. Cas de la ville de Constantin, Mémoire de magistère en urbanisme, Université de Mentouri, 189 p.
- Pettorelli N., Vik J.O., Mysterud A., Gaillard J.M., Tucker C.J. and Stenseth N.C. (2005). Using the satellite derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends Ecol Evol* 20, pp: 503 - 510.
- Polorigni B., Radji R. et Kokou K. (2014). Perceptions, tendances et préférences en foresterie urbaine: Cas de la ville de Lomé au Togo. *European Scientific Journal*, Vol.10, No.5, pp: 261 - 277.
- Rusterholz H.P. (2003). Biodiversité en milieu urbain : Protection de la nature en milieu urbain et rôle des espaces verts affectés à un entretien extensif. Institut pour la protection de la nature, du paysage et de l'environnement, Paris, 24 p.
- Sellers, P.J. 1985. *Canopy Reflectance, Photosynthesis and Transpiration*. *International Journal of Remote Sensing* (6), pp: 1335-1372.
- Singh H. S. (2013). Tree density and canopy cover in the urban areas in Gujarat, India. *Current science*, vol. 104, no. 10, pp: 1294 - 1299.
- Vidra R. L. and Shear T. H. (2008). Thinking Locally for Urban Forest Restoration: A Simple Method Links Exotic Species Invasion to Local Landscape Structure *Landscape Ecology* Vol. 16, No. 2, pp: 217 - 220.
- Wolff A. (2005). La problématique de l'environnement urbain vue par une écologue. Le cas de l'Île de France.». In *Ville et environnement*, Paris: Ellipses édition, pp : 204 - 223.
- Zohoun G. A. (2011). Problématiques de conservation des collections naturelles, des parcs et jardins historiques en milieux urbanisés africains: processus de plan de gestion durable, cas du jardin des plantes et de la nature de Porto-Novo, Bénin. Mémoire de Master en développement, Université Senghor d'Alexandrie, 81 p.