
L'angle solide

Un outil pour la lecture du paysage

Jean DUCHESNE, Vincent BOUVIER, Céline DREYER : *UMR Paysages et biodiversité, Angers*

E-mail : jean.duchesne@inh.fr

RÉSUMÉ : *la recherche ici menée s'attache à étudier la relation entre la quantification de paramètres géométriques via la mesure de l'angle solide (facile à relier aux notions d'écran et trouée visuels) et la lecture du paysage. Cette démarche prendrait en compte les trois dimensions de l'espace. La notion d'angle solide peut être proposée comme un outil d'analyse des formes paysagères. L'angle solide correspond à la mesure de la projection sur une sphère de la forme d'un objet depuis un point d'observation.*

L'article propose dans un premier temps de préciser le contexte dans lequel un tel outil peut être utilisé et d'explicitier la notion d'angle solide. Dans un deuxième temps, il présente les modalités de calcul en rapport avec quelques principes de trigonométrie sphérique selon deux méthodes de mesure : une avec un théodolite in situ et une à partir de photographies en deux dimensions du paysage. Dans un troisième temps, une discussion envisage l'intérêt et les perspectives d'une telle approche.

MOTS-CLÉS : lecture et quantification du paysage, perception visuelle, angle solide.

ABSTRACT : *This work aims at understanding the links between the quantification of geometric parameters and the interpretation of landscape using solid angle. The solid angle is related to notions of screen and visual holes. This methodology includes each of the three dimensions of space. Solid angle is proposed as a tool to analyse landscape forms. It corresponds to the measure of the projection on a sphere of the shape of an object from an observation point.*

First, the context in which this tool is used will be exposed and the notion of solid angle explained. Calculation methods will then be shown by introducing two spherical trigonometry principles: the first applied in situ using a theodolite, and the second using two-dimensional landscape pictures. Finally, a discussion will be held about the interest and the perspectives of such an approach.

KEYWORDS : Landscape analysis and quantification, visual perception, solid angle.

TITLE: Solid angle - A tool to interpret landscape

Introduction

« Le paysage désigne une partie de territoire telle que perçue par les populations, dont le caractère résulte de l'action de facteurs naturels et/ou humains et de leurs interrelations » (Conseil de l'Europe, 2000). Cette définition exprime ainsi le concept de paysage à partir des relations instaurées entre l'homme et son environnement. Elle inclut toutes les situations, sans privilégier un point de vue particulier. L'étude des paysages renvoie à différentes méthodes d'appréhension. Nous pouvons évoquer les approches géographiques, historiques, écologiques, économiques, celles des paysagistes et d'autres encore.

Nous nous inscrivons dans la logique des analyses paysagères, dite des « paysagistes » (Rougerie et Beroutchavili, 1991 ; Le Floch, 1996 ; Joliet, 1996), qui considère l'observation du site et la lecture sensible du paysage comme premières. Ceci signifie que l'étude des paysages prend naissance dans l'observation du site quelle qu'en soit l'échelle, du territoire à la parcelle, selon une approche systémique.

La figure 1 schématise l'analyse paysagère telle que nous l'envisageons dans notre propos.

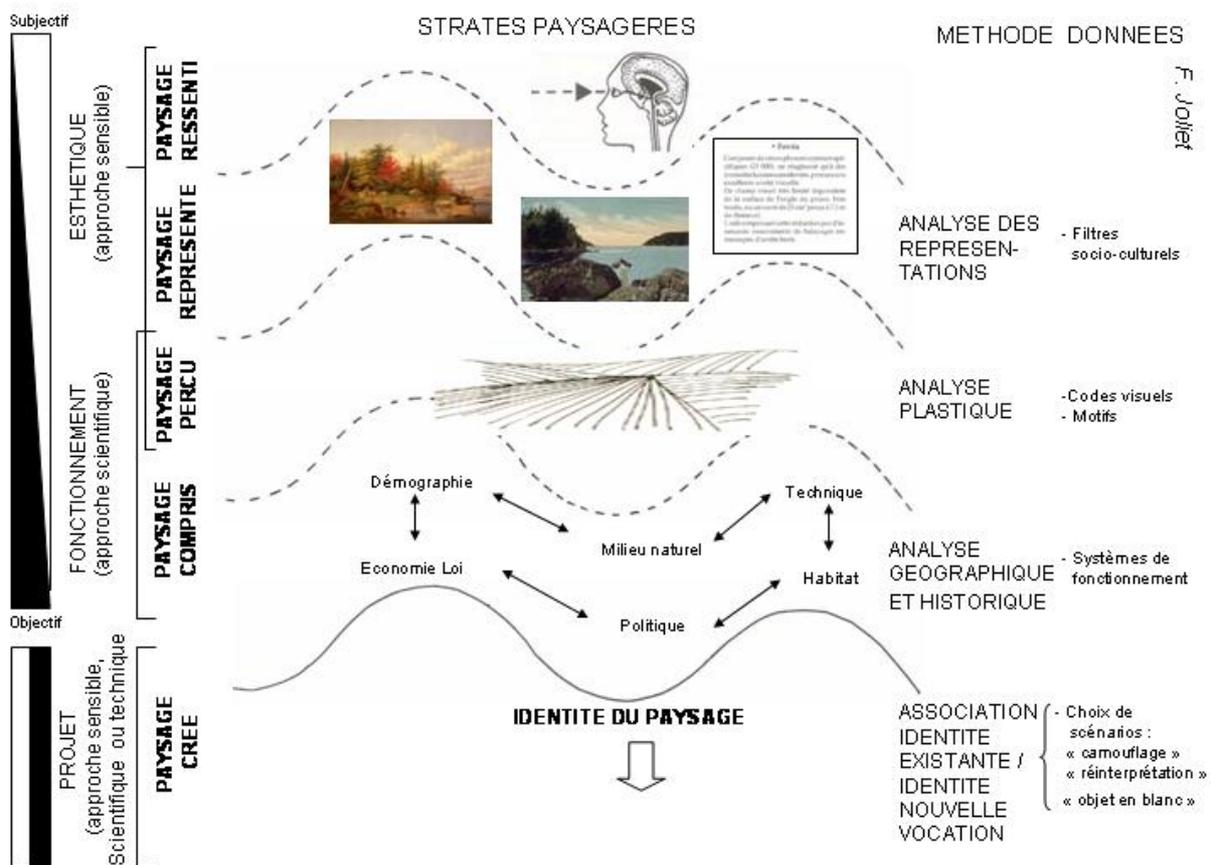


Figure 1 : méthode d'analyse paysagère

Elle montre que l'observation *in situ* et l'étude du corpus iconographique s'y référant, permettent tout d'abord d'exprimer la dimension sensible du paysage (paysage ressenti, paysage représenté, paysage perçu) ; les composantes spatiales y sont décryptées à travers l'analyse plastique selon des critères précis (codes visuels) ; enfin le système « paysage » (histoire, démographie, économie, milieu physique, écologie...) est explicité avec l'analyse spatiale pour en comprendre le fonctionnement et la dynamique. Cette analyse paysagère soit constitue l'essentiel d'une étude dite d'inventaire du paysage, soit correspond à la première étape d'une démarche de projet de paysage.

Dans le cas du projet, à l'analyse succède un diagnostic qui dresse les atouts et dysfonctionnements du paysage. Il identifie les grands enjeux : maîtrise des transformations du paysage, définition et accompagnement de nouvelles affectations dans l'usage de l'espace, maintien, renforcement ou émergences de spécificités paysagères...

Enfin, pour répondre aux enjeux du diagnostic, des propositions d'aménagement sont élaborées. Ces propositions peuvent être de l'ordre de l'opérationnalité immédiate : la création, la réhabilitation, la protection, la restauration du paysage. Elles se traduisent, par exemple, par des aménagements de l'espace public en milieu urbain, par la réhabilitation d'anciens sites industriels en parcs de loisirs, par la protection de paysages littoraux menacés par la surfréquentation touristique ou enfin la restauration de sites dégradés, abandonnés mais reconnus pour leur valeur patrimoniale. Mais ces propositions peuvent également s'inscrire plus en amont de l'acte d'aménagement : définition de politique de planification et élaboration de documents de référence tels que Schéma de COhérence Territorial (SCOT), Plan Local d'Urbanisme (PLU), charte de Parc Naturel Régional (PNR), Projet urbain.

Dans l'analyse paysagère évoquée ci-dessus, la perception visuelle de scènes paysagères s'inscrit à l'interface du subjectif et de l'objectif, à l'interface du sensible et du scientifique. L'approche quantitative devrait permettre d'étayer scientifiquement l'approche qualitative. Des recherches scientifiques en aménagement témoignent de l'intérêt de chercher à modéliser et automatiser des mesures pour évaluer et prendre en compte la dimension visible du paysage. On pense à l'évaluation spatiale de la covisibilité d'un aménagement (Serrhini, 2000), ou à la prise en compte de l'accessibilité visuelle dans le projet architectural urbain ou paysager (Nivet, 1999).

Dans cet article, nous nous attachons à l'étude visuelle de scènes paysagères et proposons un outil de mesure, l'angle solide, permettant de quantifier la portion de l'espace occupée ou libérée par telle ou telle forme. Introduit dès le XVII^e siècle (de Beaune, 1975), l'angle solide, défini comme l'ensemble des demi-droites de même origine (sommet de l'angle) s'appuyant sur un contour donné¹, a le triple avantage de :

- 1) pouvoir être relié facilement aux notions d'écran et de percée visuels, familières aux paysagistes ;
- 2) prendre en compte les trois dimensions de l'espace ;
- 3) être mesuré par un nombre sans dimension, ce qui facilite la comparaison entre plusieurs objets.

La notion d'angle solide peut être proposée comme une quantification des masques ou trouées visuels dans une scène paysagère observée depuis un point de vue précis et à un temps t donné. Par extension, cette caractérisation peut se faire le long d'un itinéraire et à différents moments pour rendre compte à la fois du caractère dynamique de la perception et évolutif du paysage. Nous envisageons l'intérêt d'un tel outil, en complément d'autres approches quantitatives et qualitatives, à partir de trois domaines d'aménagement du paysage rencontrés en France. Le premier concerne particulièrement les paysages urbains avec le volet paysager du permis de construire. (Article 4 de la loi « Paysages », texte de loi n° 93-24 du 8 janvier 1993 et décret d'application n° 94-408 du 18 mai 1994). Le second intéresse les grands projets d'aménagement avec les études d'impact. (Loi sur la Protection de la nature du 10 juillet 1976, texte d'application du 12 octobre 1977, décret d'application n° 77-1141 ; article L122-1 et du Code de l'Environnement). Le troisième relève de la définition des missions de maîtrise d'œuvre relative à la Maîtrise d'Ouvrage Publique (Loi MOP du 12 juillet 1985, articles n°18 et 19 du décret d'application n° 93-1268 du 29 novembre 1993). Tout d'abord, dans le cadre de l'établissement d'un permis de construire, le volet paysager, selon la réglementation en vigueur doit permettre d'estimer l'impact visuel d'une construction et de ses abords (un bâtiment et ses extérieurs) dans le paysage. Ce volet comprend au moins deux photographies (lointaine et rapprochée) pour visualiser le contexte global et immédiat du projet. Il comprend également une ou plusieurs coupes qui permettent d'apprécier la façon dont l'ouvrage s'inscrit dans la topographie du site. Dans certains cas (hors zone urbaine d'un PLU, en absence de PLU, en secteur protégé, ou dans le cas de recours à un architecte) ce volet est complété par une notice et par des documents graphiques permettant d'apprécier l'impact visuel du projet. Cette appréciation est donc faite à partir de documents graphiques et écrits qui se doivent d'être le plus explicites et lisibles possibles. Or, cet impact visuel peut être également caractérisé par l'angle solide de telle ou telle composante du projet. Cette approche s'inscrit en conformité avec les prescriptions données dans les règlements des documents d'urbanisme qui définissent en particulier les conditions d'implantation, de recul, de hauteur du bâti pour tenir compte des cônes de visibilité et périmètres de vigilance eu égard au patrimoine urbain et paysager.

Dans un deuxième temps, on peut évoquer le cas des études d'impact, préalables à la réalisation de certains projets, qui font l'objet d'un classement selon la nomenclature en vigueur (usines, ateliers, dépôts, chantiers, carrières ainsi que toute installation fixe exploitée ou détenue par une personne physique ou morale, publique ou privée, qui peuvent être sources de nuisances pour la santé, la sécurité, la salubrité du voisinage, ainsi que pour l'agriculture, l'environnement, la protection de la nature et la conservation du patrimoine). Ces études doivent être proposées dans l'analyse de l'état initial, dans la présentation des partis d'aménagement et variantes, dans l'évaluation des effets sur l'environnement et dans les mesures de suppression, de réduction ou de compensation des impacts, des documents graphiques et écrits permettant ces différentes appréciations. Parmi celles-ci, la dimension visible du projet et son impact visuel sont déterminantes en ce qui concerne le paysage.

¹ Petit Larousse, 2002, p. 949.

À ce jour, peu de méthodes objectives relatives à la mesure des cônes de visibilité, de percées visuelles ou de masques sont utilisées (Nivet, 1999 ; Serrhini, 2000 ; Stamps, 2001). Le recours à l'angle solide permettrait de répondre en grande partie à cette demande. Enfin, dans la définition des études préliminaires ou de diagnostic inhérentes aux missions de maîtrise d'œuvre pour les ouvrages d'infrastructure, il est mentionné en particulier la présentation d'« une ou plusieurs solutions techniques, architecturales, d'implantation et d'insertion dans le paysage pour les ouvrages concernés... ». Ceci se traduit par l'élaboration de documents graphiques et écrits qui présentent « les contraintes physiques, économiques et d'environnement conditionnant le projet » et différents scénarios d'aménagement pour en évaluer la faisabilité et arrêter un parti d'ensemble par le maître de l'ouvrage.

Pour des projets à fort enjeu, et dans cette partie initiale d'une mission de maîtrise d'œuvre, l'évaluation de l'impact visuel de l'ouvrage pourrait également s'accompagner par l'évaluation de l'angle solide relatif à l'ouvrage à partir des principaux points d'observation.

Cet article a donc pour objectif de proposer et présenter un outil de mesure pour aider à quantifier les masques ou trouées visuels dans les scènes paysagères. Dans un premier temps, cette notion est exposée, accompagnée de sa traduction mathématique et de quelques valeurs repères significatives. Dans un deuxième temps, une application est proposée selon deux modes opératoires : l'un à partir d'une photographie d'un objet de plain pied, l'autre à partir d'un relevé au théodolite du même objet. Dans un troisième temps, une discussion relate les résultats obtenus, expose les limites d'une telle démarche et les perspectives.

1. Matériels et méthodes

1.1. La notion d'angle solide

Pour un observateur placé dans un paysage accidenté, on imagine facilement qu'à partir d'un certain point de vue, par exemple si l'observateur est situé au premier plan, il ne pourra pas voir très loin à cause des masques topographiques qui gênent sa vue. Pour évaluer la partie du champ visuel qui est ainsi masquée ou au contraire dégagée — par une montagne, par une colline ou même par un rideau d'arbres—, la seule solution rigoureuse et efficace est le recours à l'angle solide.

La notion d'angle solide est facile à introduire par analogie avec l'angle plan, que l'on connaît mieux. Celui-ci se définit, dans l'espace à deux dimensions, par le rapport $\theta = l/R$ entre la longueur l interceptée par deux rayons sur le cercle, et le rayon R du cercle (figure 2). De la même manière, l'angle solide se définit dans l'espace à trois dimensions, sur une sphère, comme le rapport $\Omega = S/R^2$ entre la surface S interceptée sur une sphère centrée sur l'œil de l'observateur, et le carré du rayon de la sphère (Selby, 1974).

Une difficulté est que l'angle normal, qu'on a l'habitude d'utiliser, est toujours repéré par un arc de cercle, alors que sur une sphère, la surface interceptée peut avoir n'importe quelle forme. Elle peut être une calotte sphérique comme sur la figure 2, mais la surface a en général une forme quelconque. Une autre difficulté est que pour l'angle normal — l'angle plan — outre le radian, qui est l'unité de mesure mathématique, on a depuis longtemps mis au point des unités pratiques comme le degré, le grade, le millièmètre. Par contre, pour les angles solides, il n'y a qu'une unité théorique, l'équivalent du *radian*, qui s'appelle le *stéradian*, noté *sr*. Les angles solides sont cependant faciles à mesurer et à calculer à partir de relevés sur le terrain avec un théodolite, ou à partir d'une photographie du site. Les deux méthodes font intervenir les formules de la trigonométrie sphérique.

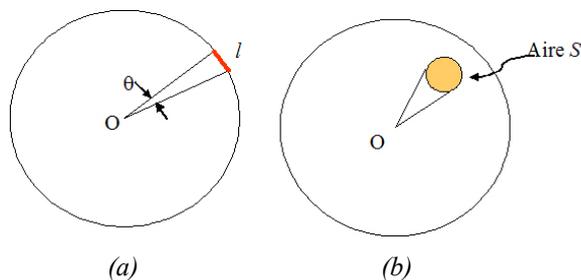


Figure 2 : a) le cercle et la définition de l'angle plan b) la sphère et la définition de l'angle solide

1.2 Le calcul de l'angle solide

Deux méthodes sont possibles :

- 1) un relevé sur le terrain avec un théodolite ;
- 2) la mesure au laboratoire à partir d'une photographie de cette même scène prise depuis le même point d'observation.

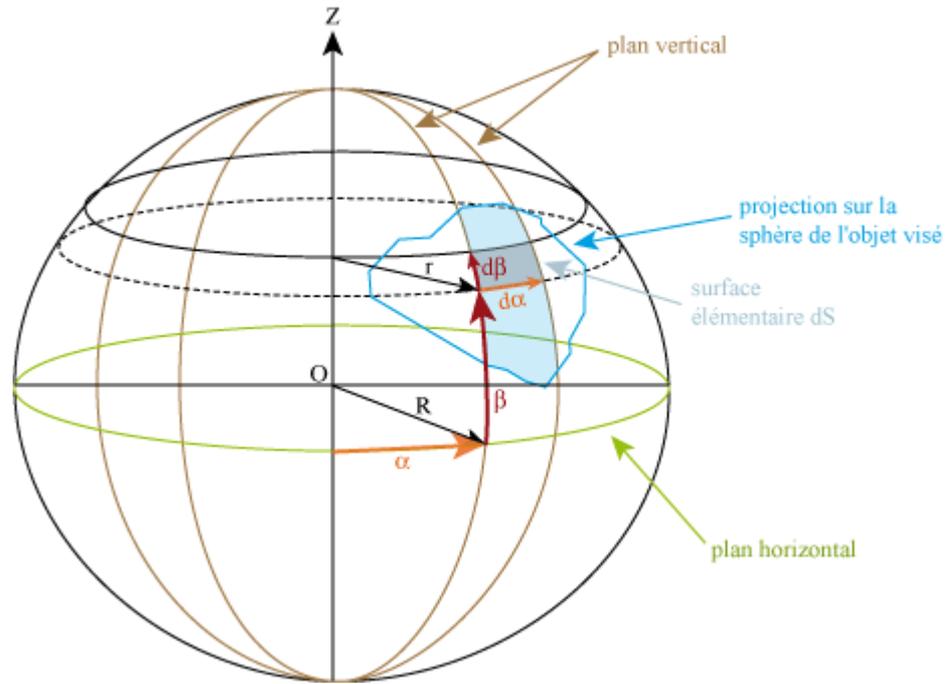


Figure 3 : la sphère et la surface élémentaire

Le relevé avec un théodolite

La mesure au théodolite est faite en relevant pour chaque valeur de l'angle horizontal α retenue, les valeurs extrêmes de l'angle vertical β qui correspondent aux limites supérieure et inférieure de l'objet visé. La figure 3 montre comment, à partir des angles α et β et de leurs variations infinitésimales $d\alpha$ et $d\beta$, on peut définir la surface élémentaire dS . Si le rayon de la sphère est R , le côté de la surface élémentaire contenu dans le plan vertical vaut $Rd\beta$, le vecteur des angles verticaux étant horizontal. L'autre côté de la surface élémentaire est $rd\alpha$, r étant le rayon du parallèle considéré, en pointillé sur la figure 3 ; on a dans ce cas la relation :

$$r = R \cos \beta$$

d'où la valeur du deuxième côté : $R \cos \beta d\alpha$

et l'expression de dS :

$$dS = R^2 \cos \beta d\alpha d\beta$$

L'angle solide relatif à l'aire dS vaut donc :

$$d\Omega = dS/R^2$$

soit :

$$d\Omega = \cos \beta d\alpha d\beta \quad (1)$$

La partie de l'objet balayée entre deux mesures successives de l'angle horizontal α , hachurée sur la figure 3, correspond à un angle solide qui s'obtient en intégrant la relation (1) entre les valeurs minimum et maximum β_1 et β_2 de l'angle vertical :

$$d\Omega = (\sin \beta_2 - \sin \beta_1) d\alpha \quad (2)$$

Cette relation (2) sera plutôt notée :

$$\Delta\Omega = (\sin \beta_2 - \sin \beta_1) \Delta\alpha \quad (3)$$

car l'incrément de variation de l'angle horizontal utilisé $\Delta\alpha$ sur le terrain, bien que petit, n'est pas infinitésimal.

Il faut noter que si l'origine des angles verticaux est zénithale, ce qui est le cas de la plupart des théodolites modernes, la relation (2) devient :

$$\Delta\Omega = (\cos z_2 - \cos z_1)\Delta\alpha \quad (4)$$

où z , angle zénithal, vaut : $z = (\pi/2) - \beta$

La valeur totale de l'angle solide est calculée en sommant les n angles $\Delta\Omega$ obtenus en balayant horizontalement l'objet avec le théodolite :

$$\Omega = \sum_{i=1}^n \Delta\Omega_i \quad (5)$$

La mesure à partir d'une photographie

La mesure à partir d'une photographie vise à faciliter le calcul en l'automatisant *via* un logiciel informatique qui peut être soit Autocad® soit Photoshop®. Ceci est indispensable si on cherche à diffuser la méthode auprès des professionnels du paysage et de l'aménagement, déjà habitués à travailler avec des supports photographiques, cartographiques et numériques. La figure 4 permet de voir la relation entre la scène paysagère, l'image perspective que constitue la photographie, et la projection sur la sphère trigonométrique, c'est-à-dire l'angle solide.

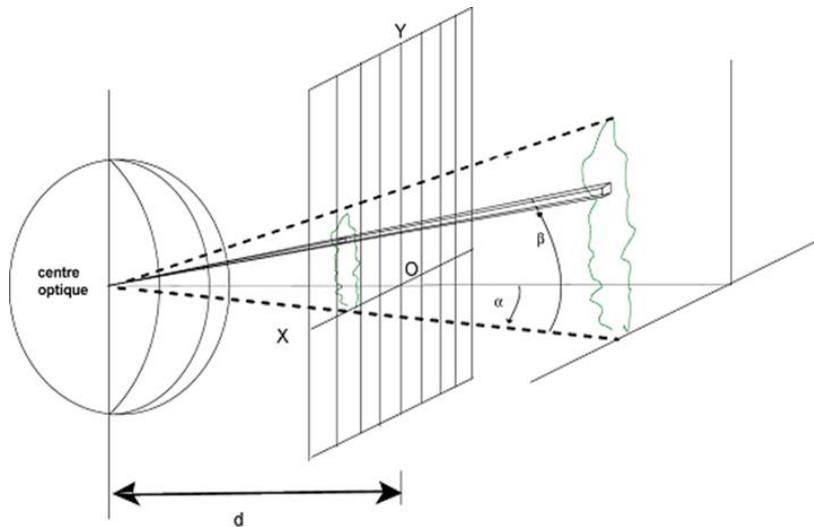


Figure 4 : la schématisation de la mesure à partir de la photographie

Pour chaque tranche verticale de largeur ΔX sur le tirage photographique, l'intégrale élémentaire de l'angle solide est calculé comme énoncé sur la formule (2), mais ici β_1 n'est pas mesuré directement ; il est obtenu par la mesure de l'ordonnée Y_1 sur le cliché, à laquelle il est relié par l'équation :

$$\beta_1 = \arctan\left(\frac{Y_1}{Gd}\right)$$

De même :

$$\beta_2 = \arctan\left(\frac{Y_2}{Gd}\right)$$

expressions dans lesquelles Y_1 et Y_2 sont les ordonnées maximum et minimum sur la photographie de l'objet étudié, G l'agrandissement de la photo et d la distance entre le pixel considéré et le centre optique de la caméra. Il faut en outre souligner que dans les formules (3) et (4), la valeur $\Delta\alpha$ doit être calculée par la relation :

$$\Delta X = G \frac{f}{(\cos^2 \alpha)} \Delta\alpha$$

De la même façon, la valeur totale de l'angle solide est calculée selon l'équation (5).

Valeurs repères

À titre indicatif, quelques valeurs repères et des exemples simples sont donnés pour faciliter l'appropriation de

cette notion :

- L'angle solide total autour d'un point vaut 4π sr (12,56 sr).
- Il s'ensuit que l'angle solide correspondant à toutes les directions contenues dans une hémisphère, par exemple toutes les directions partant d'un point au niveau d'un sol horizontal, sont contenues dans un angle solide de 2π sr (6,28 sr).
- Enfin pour un quart de sphère, par exemple toutes les directions partant d'un point au niveau du sol allant vers l'avant, vers le haut, vers la droite ou vers la gauche d'un observateur, sont contenues dans un angle solide de π sr (3,14 sr).

2. Application

2.1. Acquisition des informations

Pour valider les résultats obtenus et pour comparer les deux modes d'acquisition des données, nous avons choisi de travailler d'abord sur un objet simple, aux contours assez nets. Il s'agit d'une structure en béton dans un bassin, représentée en figure 5. Cet objet, polygone simple dans le plan, mesure 5,90 m de côté et 2,10 m de hauteur. Il est placé à 0,20 m en contrebas du sol support de la mesure. Les relevés au théodolite et la photographie ont été réalisés à 8,20 m de distance de l'objet et à une hauteur par rapport au sol (support) de 1,70 m.



Figure 5 : cliché de l'objet étudié pour mesurer l'angle solide

Pour la mesure au théodolite, nous avons pris le parti de segmenter l'objet selon les quadrilatères qui le constituent et de relever les coordonnées des différents points situés aux sommets supérieurs et inférieurs de ces quadrilatères. (Ces points constituent les extrémités des azimuts z min. et z max.). La figure 6 schématise cette segmentation.



Figure 6 : segmentation d'un objet simple étudié pour un relevé au théodolite

Une fois les relevés effectués, nous reportons les valeurs des coordonnées en x et y des différents points i min et max dans une feuille de calcul avec le logiciel Excel® pour en déduire les différentes valeurs nécessaires à la détermination de l'angle solide selon les modalités de calcul proposées dans le § 1.2.

Pour la mesure à partir d'une photographie, nous avons la possibilité de travailler à partir du tirage papier en segmentant manuellement l'objet selon des fuseaux verticaux (avec un stylet très fin) et en calculant les coordonnées des points situés à l'intersection des limites de l'objet et des limites de chaque fuseau prédéfini, puis nous déterminons l'angle solide dans une feuille de calcul avec le logiciel Excel®. Cette méthode nécessite une haute précision et de la rigueur dans la segmentation manuelle de l'objet et s'avère assez lourde si on traite un grand nombre de clichés, si l'objet à mesurer est très complexe ou si la taille du cliché est trop petite.

Nous pouvons également travailler à partir du cliché au format numérique en détournant l'objet sous Photoshop®, puis en attribuant une valeur 1 (couleur 1) à l'objet et une valeur 2 (couleur 2) au fond. Nous calculons alors pour chaque pixel compris dans l'objet, les coordonnées (x, y) nécessaires à la détermination de l'angle solide. La résolution de l'image est de 1200 pixels (axe des y) par 1600 pixels (axe des x). La figure 7 représente l'objet en mode de coloration binaire. Un rectangle rouge symbolise (sans respect d'échelle) un pixel.

Nous convertissons ce fichier « image » en un fichier « texte » dans lequel chaque pixel de la photographie devient un chiffre 1 si compris dans l'objet, ou un chiffre 0 dans le cas contraire. Chaque chiffre est placé selon l'axe des x et des y. Nous traitons uniquement les données relatives à l'objet. Nous déterminons enfin pour chaque attribut de l'objet les coordonnées (x, y) dans une feuille de calcul avec le logiciel Excel® préalablement au calcul de l'angle solide.

Telle que nous l'avons utilisée, cette méthode nécessite une discrimination à vue de l'objet en le détournant avec un logiciel de retouche d'image avant de le convertir en fichier texte. Pour des clichés de scènes paysagères plus complexes avec des formes irrégulières et un nombre de plans successifs plus important, il est nécessaire d'interpréter ces différents paramètres à vue sur le cliché en s'aidant de relevés cartographiques ou de photographies aériennes (obliques ou azimutales) et de prises de mesures de distance sur le terrain. Pour la mesure de distance, on peut réaliser depuis un point d'observation sur site des photographies par paires légèrement décalées sur un support adéquat pour en permettre ensuite une lecture stéréoscopique nous permettant de calculer les distances sous stéréoscope avec une barre de parallaxe.

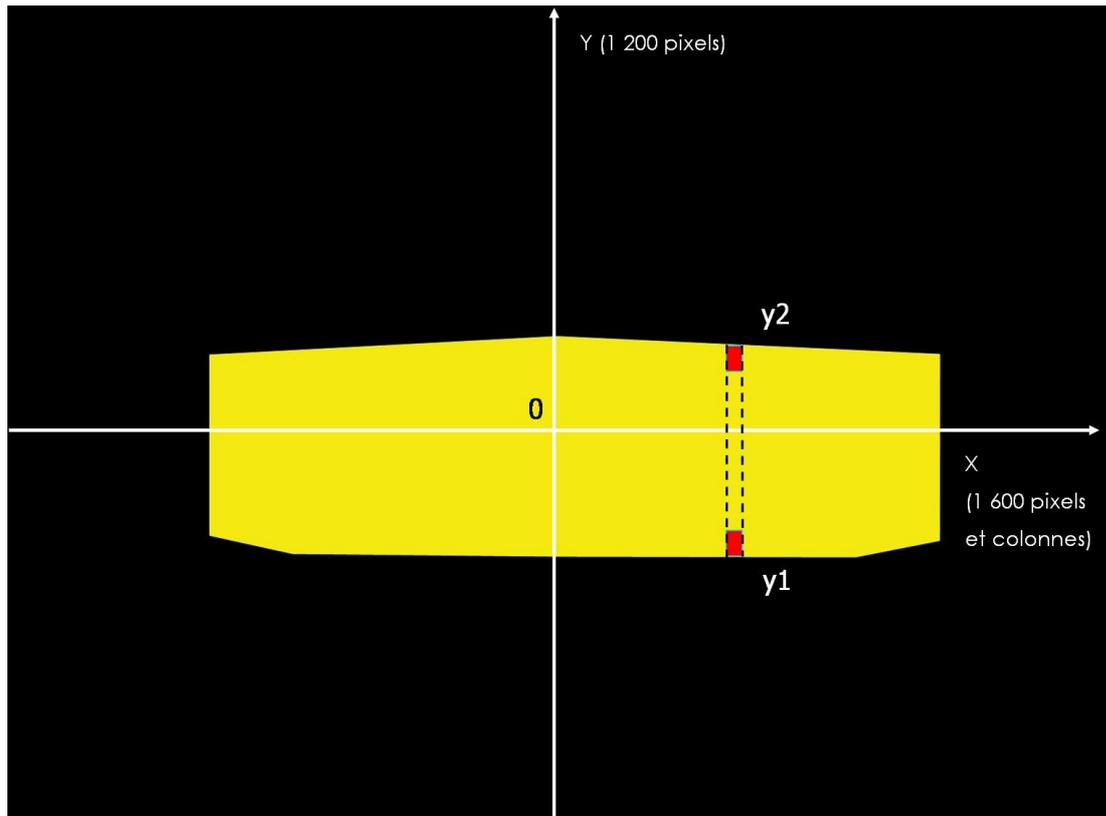


Figure 7 : représentation bi-chromatique de l'objet et du fond

Ces mesures de distance sont également possibles depuis un point d'observation avec une lunette de visée laser capable d'estimer des distances jusqu'à 1000 mètres d'éloignement. Les limites de cette mesure reposent sur le caractère plus ou moins réfléchissant de la surface des objets visés jouant sur la sensibilité de la lunette.

Pour distinguer des objets spécifiques situés parmi d'autres similaires, la distinction à vue sur le cliché peut être difficile. Pour parvenir à un repérage précis, on peut envisager sur le terrain de faire un marquage de l'objet avec une mire adaptée (surface, couleur, échelle...). Pour des raisons de durée d'expérimentation, cette action de repérage précis est limitée à des situations qui le justifient.

Pour appliquer la méthode de calcul de l'angle solide à partir d'une photographie d'une scène paysagère plus complexe, nous avons choisi un point de vue situé sur la corniche angevine qui surplombe la vallée de la Loire en limite nord des coteaux du Layon, sur la commune de Saint-Aubin de Luigné à l'est de la commune de Chalonnes-sur-Loire.

Ce point de vue correspond à un terril d'une ancienne carrière de charbon qui permet d'embrasser panoramiquement la vallée de la Loire. Pour brosser les principaux traits de ce paysage ligérien, en figure 8, une représentation cartographique et, en figure 9, un bloc diagramme extraits de l'Atlas des paysages du Maine et Loire illustrent le mode d'organisation de la vallée au niveau de l'unité paysagère dite « La Loire des promontoires » (Conseil Général 49, 2003).

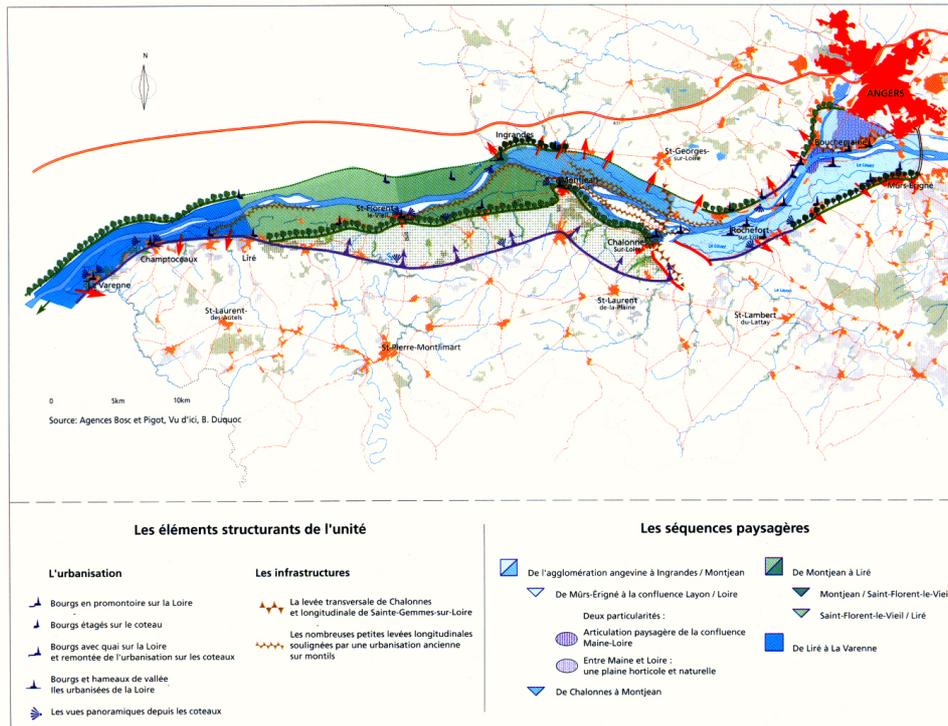


Figure 8 : cartographie de l'unité paysagère de « la Loire des promontoires »

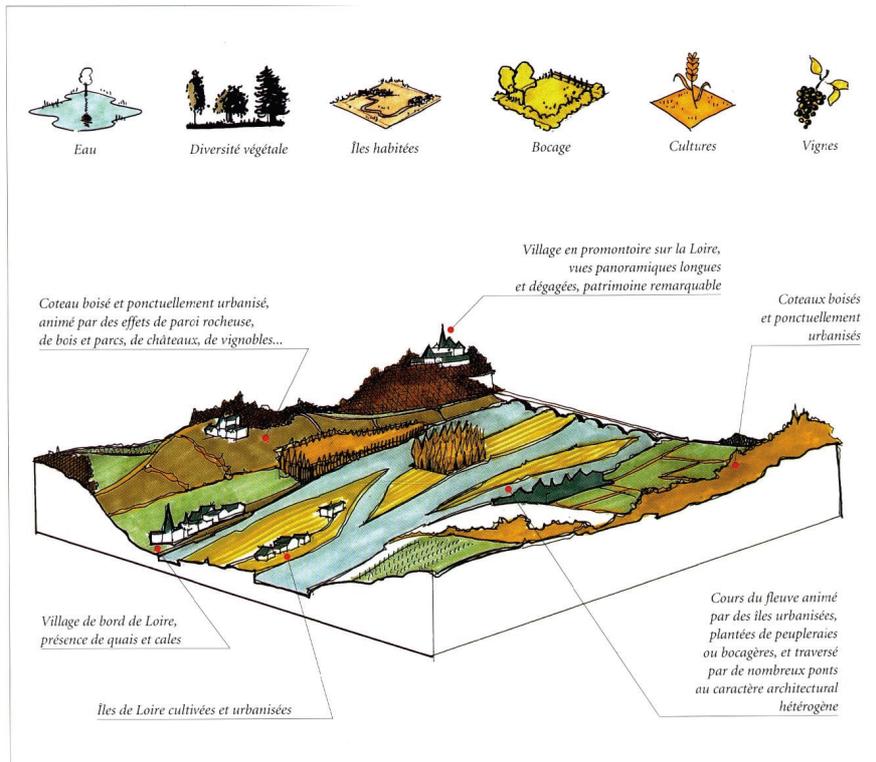


Figure 9 : bloc diagramme de l'unité paysagère de « la Loire des promontoires »

La figure 10 correspond à la photographie prise depuis ce point de vue sur le coteau, en rive gauche du fleuve, vers l'aval durant l'hiver. On peut distinguer vers le centre la silhouette d'une chapelle. Sur la gauche s'inscrivent au second plan des parcelles de vigne, au troisième plan des prairies et boisements, sur la droite, en contrebas du coteau boisé, des peupleraies s'étendent dans le lit majeur du fleuve. Le premier plan est occupé par des arbres feuillus situés sur des parcelles fortement pentues au pied du terril. Pour chaque plan, délimité à l'œil en jouant sur l'échelle d'affichage à l'écran, on a déterminé la valeur respective de l'angle solide et donné la

valeur totale de la scène photographiée. La mesure a été réalisée par segmentation de l'image numérique selon la méthode évoquée dans le § 2 ; le calcul des surfaces et la détermination de l'angle solide ont été exécutés sous Excel®.

a) la photographie



b) la photographie et le découpage des plans successifs



c) la décomposition de la scène en plans successifs et les valeurs d'angle solide correspondantes

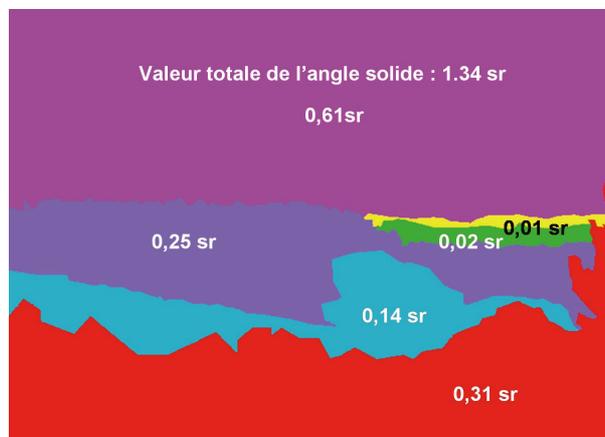


Figure 10 (a,b,c) : mesure d'angle solide d'une scène paysagère

3. Discussion

3.1. Résultats obtenus et intérêts de la méthode

À partir de deux méthodes, l'une partant d'un relevé au théodolite, l'autre partant d'une photographie, nous avons mesuré l'angle solide d'un objet géométriquement simple. Les résultats obtenus par ces deux méthodes sont très proches ; l'erreur est de l'ordre de 0,5 %. L'angle solide du masque du bassin vaut 0,1075 stéradians.

La méthode fondée sur l'étude de photographies nous a permis de mesurer l'angle solide d'une scène paysagère plus complexe. Il resterait maintenant à faire un relevé au théodolite de cette même scène pour apprécier la justesse des résultats obtenus. L'intérêt de la méthode fondée sur le recours au théodolite est de travailler directement sur l'objet *in situ*. S'il s'agit d'un théodolite électronique, la mesure peut être rapide et l'automatisation facile puisqu'on récupère directement un fichier Excel®. Il s'agit cependant d'un matériel coûteux, que les paysagistes n'ont en outre pas l'habitude de manipuler. Les mesures au théodolite sont plus faciles à exploiter mais plus lourdes à réaliser *in situ* pour des objets éloignés comportant plusieurs plans et (ou) de silhouette très découpée. C'est néanmoins la méthode de référence. La méthode photographique a par contre l'avantage évident de requérir des outils moins coûteux, que les opérateurs du paysage possèdent déjà, à savoir des appareils de photographies numériques, des logiciels de retouche d'image tels que Photoshop® en utilisant en outre un logiciel de calcul qui convertit l'image en fichier texte binaire 0/1. L'utilisation du logiciel Autocad® devrait permettre également l'automatisation du calcul, mais son emploi est moins simple.

Le calcul sur photographie est plus facile à automatiser mais nécessite des développements supplémentaires pour prendre en compte toutes les situations notamment lorsque les différents plans sont très imbriqués ou lorsque les objets sont très fragmentés. On pense par exemple à une perception visuelle à travers un rideau d'arbres.

L'angle solide peut aider à caractériser :

- l'impact visuel relatif d'une forme ou d'un ensemble de formes inscrites dans différents plans de l'espace par rapport à une partie ou à la totalité d'une scène observée ;
- l'ouverture ou la fermeture visuelle d'une scène observée qui correspondent aux « vides » et aux « pleins » structurant une scène paysagère à partir d'un ou plusieurs points de vue.

3.2. Limites

a) La notion d'angle solide participe à la caractérisation quantitative de la perception visuelle du paysage, en particulier en mesurant les trouées ou les masques visuels, mais ne prétend pas rendre compte à elle seule de la complexité de la lecture du paysage.

b) L'impact visuel d'une scène paysagère ne se mesure pas qu'à l'aide de l'angle solide. Des travaux existants et en cours sur l'étude de la stratégie du regard (Marendaz *et al.*, 2005), sur la modélisation de la vision (Chokron et Marendaz, 2005), sur le traitement et l'analyse de stimuli visuels attractifs dans une scène (Chauvin *et al.*, 2002) rendent compte des autres facteurs en jeu.

c) La valeur de l'angle solide d'un objet ne traduit pas forcément son attractivité visuelle. Par exemple, la présence d'un point de focalisation du regard inscrit dans une scène paysagère homogène, tel un voilier se détachant sur l'horizon, engendre un fort impact visuel malgré la valeur très faible de l'angle solide.

d) L'angle solide vaut pour un point de vue précis, dans une direction donnée et à un moment particulier. Il faut donc être vigilant quant à l'utilisation de cet outil pour analyser des paysages sur de vastes étendues. Ce sont les limites spatiales et temporelles qui sont ici évoquées. Ces limites supposent que les mesures soient répétées et menées en différents points d'observation et à différents moments pour témoigner de façon pertinente d'une entité paysagère plus importante. A l'échelle d'une unité paysagère, cette mesure devrait appuyer l'analyse paysagère dans la caractérisation des points de vue emblématiques.

e) Dans certaines situations, la scène est tellement simple à analyser que la mesure est inutile, sauf à titre d'exemple. Nous pensons à un paysage montrant la rencontre de l'océan et du ciel.

f) Les professionnels du paysage n'ont pas connaissance de la notion d'angle solide et n'ont pas l'habitude de sa mesure. Par contre, ils y font référence implicitement dès qu'ils évoquent les notions de volume, d'ouverture, de fermeture, ou d'impact visuel du paysage. Notre ambition est justement de faire connaître cette notion et d'en permettre l'utilisation par des professionnels du paysage et de l'architecture.

3.3. Améliorations et perspectives

Nous proposons, comme principale amélioration, l'automatisation de la mesure de l'angle solide à partir d'outils simples et largement pratiqués pour en permettre l'appropriation par les professionnels du paysage et de l'architecture.

L'outil informatique semble le plus approprié pour répondre à cet objectif d'automatisation à partir de photographie numérisée, de logiciel de retouche et de traitement d'image et de quelques développements informatiques complémentaires. Notamment, on peut espérer une discrimination précise et rapide des objets présents dans la scène.

De nouvelles perspectives peuvent aussi être envisagées. Il s'agit principalement d'intégrer le déplacement de l'observateur pour prendre en compte la perception dynamique du paysage en faisant un enregistrement vidéo du parcours. Le traitement ultérieur permettrait d'incruster dans les images la valeur de l'angle solide correspondant à certains objets.

L'utilisation de cet outil et l'emploi d'un S.I.G. sont différents mais complémentaires. Le S.I.G. permet d'étudier la visibilité dans le paysage à l'échelle du territoire par modélisation (Nageleisen, 2005). L'angle solide est approprié pour mesurer les masques ou trouées visuels présents dans une scène paysagère réelle.

Conclusion

La notion d'angle solide, bien que connue depuis longtemps et utilisée dans des domaines tels que l'optique, l'éclairage (Chia-Peng Chou, 2004 ; Geebelen et Neuckermans, 2001) et la photographie, est à ce jour ignorée par les spécialistes du paysage, chercheurs, décideurs ou aménageurs. Cet outil mathématique permet de quantifier une scène paysagère et, plus particulièrement, d'aider à mesurer l'accessibilité visuelle du paysage et son degré d'occultation ou d'ouverture visuelle.

L'angle solide est un complément utile au domaine de la « Sitologie » dont l'objectif majeur est la caractérisation d'un site et la perception que nous en avons (Faye *et al.*, 1974). Il apparaît intéressant pour étudier d'une part la scène paysagère, d'autre part la situation de l'observateur et les conditions de son observation.

Pour caractériser une scène, outre l'angle solide, la profondeur de la scène perçue, l'étendue offerte au champ visuel et le dénombrement des différents plans contenus dans la scène peuvent être étudiés. On peut également préciser l'inscription géographique, l'étendue, la distance et l'orientation de ces plans par rapport à l'observation et au soleil. Enfin, pour augmenter la précision de l'observation, il est intéressant de caractériser géométriquement les formes et leur répartition, ainsi que d'estimer l'opacité ou la transparence des plans ou des formes perçus. Concernant la situation de l'observateur et les conditions de l'observation, précisons que la position de l'observateur dans les trois dimensions de l'espace, ainsi que l'heure et la date de l'observation, sont à considérer. Enfin, le contexte de l'observation et le niveau de confort (abrité, station debout ou assis, au calme ou exposé à des activités environnantes...) doivent être précisés.

Nous pensons que l'outil que nous venons de présenter peut être utile pour aider la prise de décision en matière d'évaluation de l'impact visuel d'un aménagement existant ou à venir. De surcroît, c'est un appui à la conception et à la planification pour les architectes, urbanistes et paysagistes dans l'argumentation des choix d'implantation, de volumétrie et de composition du projet d'aménagement.

Nous tenons à remercier Antoine Rauline et Bernard Roland pour leur participation à ce travail.

Bibliographie

- BOURBON B., 1902, *La perception visuelle de l'espace*, Schleicher Frères éditeurs, Paris, 432 p.
- CHAUVIN, A., HÉRAULT, J., & MARENDAZ, C., 2002, "Natural Scene Perception: Visual Attractors and Images Processing", in JOHN A. BULLINARIA & WILL LOWE (Eds), *Connectionist Models of Cognition and Perception*, Singapore: World Scientific. pp. 236-245
- CHIA-PENG C., 2004, "The Performance of Daylighting with Shading Device in Architecture Design", *Tamkang Journal of Science an Engineering*, vol.7, n°4, pp. 205-512.
- CHOKRON S., MARENDAZ C., *Comment voyons-nous ?*, éditions Le Pommier, collection Les Petites Pommes du Savoir, Dijon , janvier 2005, 59 p.
- CONSEIL DE L'EUROPE, 2000, Texte de la Convention Européenne du Paysage, Florence, 20 octobre 2000.
- CONSEIL GÉNÉRAL DE MAINE-ET-LOIRE, DIRECTION DÉPARTEMENTALE DE L'ÉQUIPEMENT DE MAINE-ET-LOIRE, DIRECTION RÉGIONALE DE L'ENVIRONNEMENT DES PAYS DE LA LOIRE, 2003, *Atlas des paysages de Maine-et-Loire*, Le Polygraphe éditeur, Angers, 205 p.
- DE BEAUNE F., 1975, *La doctrine de l'angle solide construit sous trois angles plans*, éditions Vrin, 160 p.
- FAYE P., FAYE B., TOURNAIRE M., GODARD A., 1974, *Sites et sitologie*, éditions J.-J. Pauvert, 159 p.
- GEEBELEN B., NEUCKERMANS H., 2001, "Natural-Lighting design in architecture: filling in the blanks", *Actes du 7^{ème} colloque international IBPSA*, août 2001, Rio de Janeiro.
- JOLIET F., 1996, *Zones industrielles et parcs tertiaires : hérésies et aménités paysagères ?*, Thèse de doctorat, Université de Rennes II, Rennes6.
- LE FLOCH S., 1996, « Bilan des définitions et méthodes d'évaluation du paysage », *Ingénieries - EAT- N°5*, pp 23-32.
- MARENDAZ, C., CHAUVIN, A., & HÉRAULT, J., 2005, "A causal link between scene exploration, local saliency and scene context", *Journal of vision*.
- NAGELEISEN S., 2006, « Se déplacer dans le paysage : entre pratique et modélisation géographique », *Actes des 7^{èmes} Rencontres de Théoquant*, Université de Franche-Comté, Besançon, 26-28 janvier 2005, 8 p.
- NIVET M.-L., 1999, *De visu : un logiciel pour la prise en compte de l'accessibilité visuelle dans le projet architectural urbain ou paysager*, Thèse de doctorat, Université de Nantes, mars 1999, Nantes.
- ROUGERIE G., BEROUTCHAVILI N., 1991, *Géosystèmes et Paysages, Bilan et Méthodes*, éditions A. Colin, Paris.
- SELBY S.M., 1974, *Standard mathematical tables*, 22^{ème} édition CRC Press, Cleveland, 706 p.
- SERRHINI K., 2000, *Evaluation spatiale de la covisibilité d'un aménagement, Sémiologie graphique expérimentale et modélisation quantitative*, Thèse de doctorat, Université de Tours, décembre 2000, Tours.
- SIMON G., 2003, *Archéologie de la vision, l'optique, le corps, la peinture*, éditions du Seuil, Paris, 290 p.
- STAMPS A.E., 2001, "Evaluating enclosure in urban sites", *Landscape and Urban Planning*, vol. 57, pp. 25-42.