

Évaluation et cartographie des potentialités faunistiques d'un territoire : l'exemple du gapençais et de son avifaune

Pierre-André Pissard

Pour mieux gérer leur développement et leur patrimoine environnemental, les collectivités territoriales recherchent des systèmes d'information et d'aide à la décision permettant la représentation complexe des dynamiques écologiques et paysagères. La méthode présentée ici est destinée à l'évaluation et à la cartographie d'habitats disponibles pour l'avifaune d'une partie du territoire de la commune de Gap.

Les dynamiques associées au développement de notre société se heurtent aux mécanismes écologiques de notre environnement et l'impactent d'une manière qui n'a jamais été autant visible. L'urgence écologique pousse les décideurs à mettre en place des politiques environnementales dans leur gestion de l'espace et les ingénieurs à trouver des solutions techniques innovantes pour gérer durablement les territoires.

L'exemple exposé dans cet article est un des résultats d'une démarche volontaire et ambitieuse entreprise par la ville de Gap en matière de prise en compte et gestion de la biodiversité communale. Le travail rapporté ici concerne le développement et la mise en place d'un outil de gestion de l'avifaune basée sur la modélisation écologique et l'exploitant des systèmes d'information géographique (SIG).

Gestion raisonnée de l'espace et innovations techniques

Vers un développement durable des territoires

Se loger, se nourrir (travailler), se divertir et se déplacer, tels sont les vecteurs principaux du développement d'une société et, par voie de conséquence, les origines de l'urbanisation et de la modification de notre environnement. L'augmentation de la population, sa concentration, puis sa diffusion s'accompagnent obligatoirement d'une croissance de ses besoins engendrant une

demande de plus en plus forte en terme d'espace (Bonello, 1996 ; Charrier, 1988 ; Pigeon, 1995).

Aujourd'hui, les objectifs de l'aménagement du territoire ne se limitent plus à pourvoir notre société des infrastructures nécessaires à son développement, mais ils doivent désormais répondre aux besoins croissants en matière d'espace tout en s'efforçant de maintenir la qualité environnementale des zones administrées (Mancebo, 2003 ; Pissard, 2004 ; Tubiana, 2000 ; Turlin, 1996). Cette démarche d'aménagement raisonné s'intègre dans un cadre global, celui du développement durable.

De nouveaux outils d'aide à la décision

La protection des espèces menacées, la préservation des fonctionnalités écologiques d'un espace et la conservation du patrimoine biologique d'un territoire, sont ainsi des objectifs évidents relevant de l'écologie des paysages. Encore faut-il que les outils proposés aux décideurs pour les aider à œuvrer dans ce sens présentent un niveau suffisant de synthèse des problématiques tout en conservant une valeur scientifique pertinente.

Avec la généralisation des systèmes d'information géographique et des données géoréférencées dans les organismes gestionnaires d'espaces, nous trouvons une technologie commune d'échange, interfaçant les mondes de la recherche et de la gestion territoriale, qu'il est judicieux d'exploiter afin de répondre aux attentes en termes d'outils d'aide à la décision environnementale (Joering, 1997 ; Pornon,

Les contacts

Altros,
24, rue Lamartine,
38320 Eybens

1. Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement.

2. Espace de transition écologique entre deux écosystèmes.

3. Direction régionale de l'environnement de la région Provence-Alpes-Côte-d'Azur.

1992). Les nouveaux outils de cartographie numérique et d'analyse spatiale basées sur les SIG et les techniques associées (télédétection, modélisations numériques) offrent les moyens de réaliser des expertises écologiques inédites, exploitant des volumes de données importants et proposant des croisements difficilement réalisables autrement (Claramunt et Lardon, 2000 ; Collet, 1992 ; METL¹, 1999).

Vers une expertise globale des paysages

La cartographie de la végétation peut être considérée comme l'une des bases de l'analyse écologique d'un territoire (Ozenda, 1986), et la réalisation technique de cette expertise peut s'appuyer sur des caractéristiques assez facilement observables. Lorsqu'elle est exploitée dans un cadre scientifique ou déclinée dans une démarche d'étude d'impact dont les objectifs portent sur une analyse environnementale qui se voudrait à la fois fidèle et exploitable d'une réalité complexe, la carte de végétation doit être associée à une approche complémentaire centrée sur la faune. Mais l'évaluation faunistique d'un espace que l'on souhaitera la plus complète possible, n'est pas aussi facile à réaliser.

Il convient dès lors de définir une démarche modélisatrice permettant, d'une part, d'appréhender la notion de paysage d'une manière plus globale que celle traditionnellement utilisée et basée sur sa composante végétale, et, d'autre part, de rendre l'expertise écologique d'un territoire plus pertinente dans le cadre de l'évaluation du patrimoine biologique qu'il est nécessaire d'intégrer dans les politiques d'aménagement du territoire et d'utiliser en ingénierie territoriale (Mac Rae *et al.*, 2000).

Contexte de l'étude et objectifs

La zone d'étude

À la frontière des zones alpine et méditerranéenne, les espaces communaux de la ville de Gap bénéficient de caractéristiques biogéoclimatiques uniques. Les milieux naturels y sont riches d'une faune et d'une flore aussi bien de plaine que de montagne. La végétation présente une originalité de type écotonale², car elle n'est plus méditerranéenne et pas encore alpine.

La zone d'étude se situe sur les contreforts de la montagne de Charance. Cette portion du territoire communal en périphérie du centre-ville (environ

2 600 hectares, soit près du quart de la superficie totale de la commune) jouit d'une exposition exceptionnelle et regroupe essentiellement des zones agricoles, des vergers, des maisons individuelles et des lotissements au sein d'un ensemble paysager présentant encore des éléments naturels et subnaturels. Depuis quelques années, la pression foncière s'est considérablement accentuée sur cette partie de la commune (Guillermin et Pistorosi, 2000) et de nombreux aménagements sont en cours ou à l'étude (lotissements, établissements publics, projet routier).

Une volonté politique de gestion patrimoniale et environnementale

Consciente de la qualité de son territoire et de son altération liée à une urbanisation parfois anarchique, la ville de Gap mène depuis plusieurs années une politique volontariste visant à limiter les impacts environnementaux de son développement. Dans cette logique, Gap a adopté une charte pour l'environnement qui définit une série d'actions à mener et la mise en place de nouveaux moyens d'intervention et de gestion pour préserver l'environnement (ville de Gap et DIREN PACA³, 2001). Le but est de consolider les démarches environnementales déjà entreprises, de trouver des réponses aux problématiques actuelles et de réagir préventivement à celles auxquelles la ville de Gap sera confrontée demain.

Pour atteindre ses objectifs, Gap souhaite s'équiper d'outils d'aide à la décision spatiale et à la gestion environnementale. La mise en place d'un SIG au sein de ses services va permettre de développer de nouveaux moyens d'action pour la ville. Dans ce cadre, le service « environnement » a l'ambition d'exploiter cet outil informatique ainsi que les potentialités qui lui sont associées (imagerie aéroportée, bases de données thématiques) pour développer et rendre opérationnels de nouveaux moyens d'intervention et de gestion.

Concernant la gestion du patrimoine biologique de la commune, le service « environnement » de la ville souhaitait compléter les traditionnelles expertises environnementales basées sur la végétation par un volet faunistique. L'objectif en termes d'aménagement est de tenter de réaliser une hiérarchisation écologique de l'espace, orientant ainsi les actions de la ville à travers la mise en avant des espaces écologiquement sensibles et de leurs enjeux.

Sur le plan technique, l'idée est de fournir les outils permettant d'intégrer ces problématiques dans les projets urbains à travers des applications SIG spécialisées.

Éléments méthodologiques

Modélisation des relations faune/habitats

La biologie d'une espèce nous informe notamment sur les besoins vitaux et les préférences de l'animal en termes d'utilisation des milieux et d'occupation de l'espace. Nous pouvons synthétiser la chose sous le terme d'habitudes de vie, en y intégrant également les particularismes locaux des comportements issus de l'adaptation de l'espèce à son environnement.

Dans la vision naturaliste d'un paysage et dans la recherche de l'analyse faunistique d'un espace, on va ainsi chercher à identifier les communautés animales présentes, puis à définir leurs comportements dans leur environnement. La lecture du paysage se fera alors à travers, par exemple, la recherche des supports paysagers pour la reproduction des populations, des zones de repos ou des espaces de recherche de nourriture. On tentera d'associer ainsi à chaque espèce étudiée les composantes paysagères dans lesquelles l'animal pourra réaliser les différentes phases de son cycle biologique : c'est la notion d'habitat.

Notre hypothèse de départ est donc simple : en connaissant les habitudes de vie d'une espèce sur un territoire donné, il est possible de dresser une cartographie de cet espace qui hiérarchise, pour l'espèce étudiée, l'importance écologique de chaque élément paysager.

La première phase de notre analyse paysagère se base sur un découpage de l'espace dont les objets géographiques de références sont les habitats (H). À partir d'une typologie phytosociologique très fine de cent six classes (données du Conservatoire botanique national alpin de Gap-Charance - CNBA), vingt et une catégories d'habitats sont créées par regroupement.

Notre étude portant sur l'avifaune, les regroupements sont réalisés de manière à créer des ensembles homogènes et pertinents sur le plan de la végétation, mais en tenant compte des caractéristiques ornithologiques qui peuvent parfois être discriminantes.

Cette simplification a le double but d'alléger le traitement des données pour l'étude et de pro-

duire une cartographie accessible aux décideurs et techniciens, en réduisant les classes et vulgarisant les intitulés phytosociologiques.

L'idée principale de cette modélisation est de définir, pour une espèce (E), l'importance de chaque habitat. Pour cela, on définit cinq classes d'utilisation (U) des habitats qui sont en fait un découpage du cycle biologique animal :

- reproduction et nidification (U1),
- alimentation et recherche de nourriture (U2),
- abris, repos et dortoir (U3),
- hivernage (U4),
- halte migratoire (U5).

L'objectif est ensuite de qualifier la relation triple (relation EHU) impliquant une espèce E, un habitat H et une utilisation U. On cherche à répondre à la question : quelle est l'importance de l'habitat H pour l'espèce E dans le cadre d'une utilisation U ?

Nous avons donc défini une typologie de valeurs d'utilisations (VAL_U) des habitats (figure 1). La définition de chaque valeur est fonction, pour une espèce donnée, du degré de dépendance à un habitat considéré dans le cadre d'une utilisation particulière.

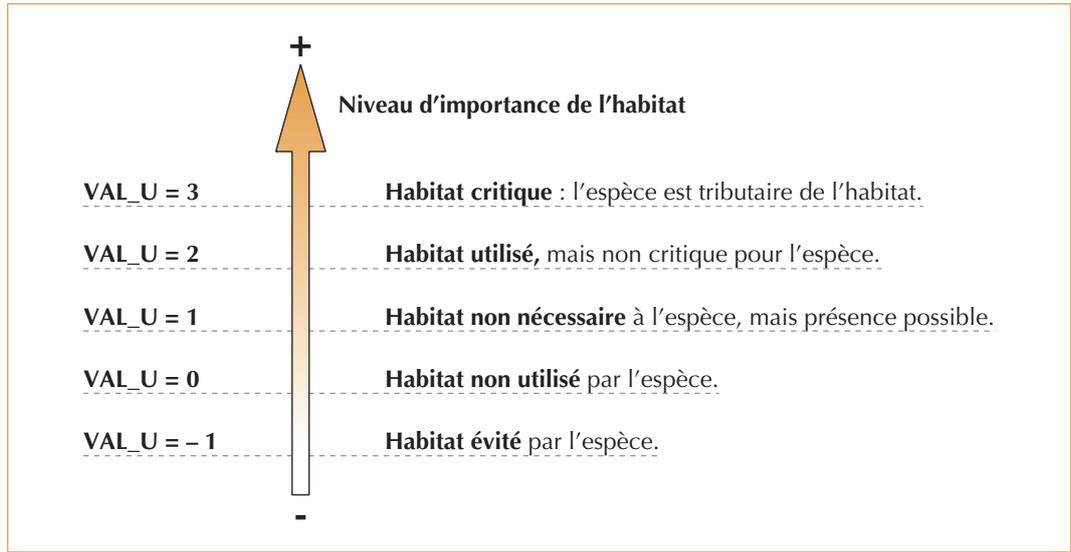
Les données relatives aux relations EHU sont organisées en matrices, avec une matrice par espèce étudiée. L'axe vertical d'une matrice représente les habitats et l'axe horizontal les utilisations. Le remplissage des matrices se fait à partir des informations recueillies « à dire d'experts », et suivant la typologie des valeurs d'utilisation des habitats (VAL_U). La figure 2 donne l'exemple de la matrice de la buse variable (*Buteo buteo*). L'association de l'ensemble des matrices correspond au modèle final d'utilisation des habitats (figure 3) nommé UPH (utilisation potentielle des habitats). Le modèle UPH correspond à une « super matrice » rassemblant l'ensemble des relations EHU.

Même si la biologie d'une espèce est globalement bien connue, des particularismes locaux ne sont pas à exclure. Ainsi, les données utilisées doivent, dans la mesure du possible, être issues d'une expertise locale. Pour cette étude, l'expertise de l'avifaune de Gap a été réalisée par Roger Garcin, bagueur/formateur, chercheur associé au CRBPO/MNHM⁴ de Paris.

Sur le plan pratique, l'acquisition des informations nécessaires au remplissage des matrices est très précisément encadrée afin que le recueil

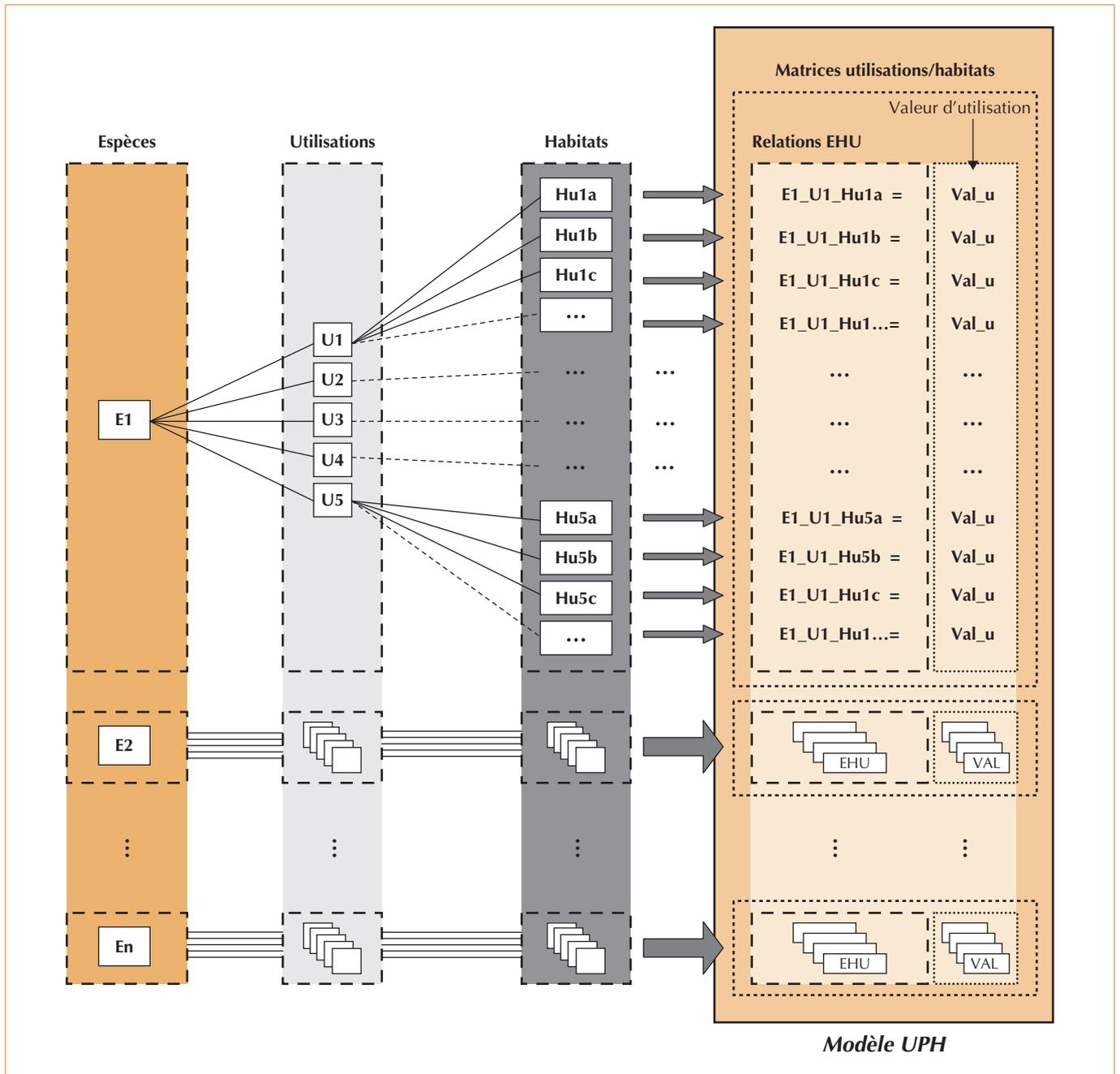
4. Centre de recherche par le baguage des populations d'oiseaux, Muséum national d'histoire naturelle.

► Figure 1 – Typologie des valeurs d'utilisation des habitats (VAL_U).



Habitats						Utilisations des habitats
Espaces verts internes au centre-ville (H21)	0	0	0	0	0	
Jardins (H20)	0	1	0	0	0	
Zone urbaine lâche (H19)	0	0	0	1	0	
Zone urbaine dense (H18)	0	0	0	0	0	
Carrière (H17)	0	1	0	0	0	
Terrain vague, talus routier, remblais (H16)	0	2	0	1	0	
Alignement d'arbres, haies, bosquets (H15)	2	0	2	2	2	
Friches (H14)	0	2	0	1	0	
Vergers, vignobles et plantations (H13)	0	0	0	2	0	
Cultures indifférenciées (H12)	0	2	0	2	0	
Cultures extensives (H11)	0	2	0	1	0	
Grandes cultures, maraîchage (H10)	0	0	0	1	0	
Eaux (H9)	0	0	0	0	0	
Végétation de zone humide (H8)	0	0	0	0	0	
Falaise et éboulis (H7)	0	0	0	0	0	
Bois de résineux (H6)	2	0	2	1	2	
Bois de feuillus (H5)	2	0	2	1	2	
Landes, fourrés (H4)	0	2	0	2	0	
Lisières, mégaphorbiaies (H3)	0	0	0	1	0	
Prairies, pâturages (H2)	0	2	0	2	0	
Pelouses (H1)	0	2	0	0	0	
	(U1)	(U2)	(U3)	(U4)	(U5)	
	Reproduction	Nourriture	Abris/repos	Hivernage	Migration	

▲ Figure 2 – Matrice d'utilisation des habitats pour la buse variable.



▲ Figure 3 – Modèle UPH (utilisation potentielle des habitats).

des données auprès des experts soit homogène. Un ensemble de documents (format papier ou version numérique) est fourni à chaque expert pour être complété suivant des modalités et typologies définies.

L'organisation matérielle des données est réalisée à partir d'un SGBD⁵ et d'une base de données faunistiques (figure 4) développés spécifiquement pour l'étude (BD AVIFAUNE). L'ensemble est intégré dans un SIG (MapInfo®).

5. Système de gestion de base de données.

Encadré 1

L'indice d'utilisation des habitats IND_UTIL

L'indice IND_UTIL (indice d'utilisation des habitats) est défini à partir de la matrice d'utilisation des habitats d'une espèce et des valeurs d'utilisation (VAL_U).

Comme nous souhaitons caractériser uniquement l'utilisation du paysage par la faune, seules les valeurs VAL_U = 3, VAL_U = 2 et VAL_U = 1 sont retenues dans notre typologie des valeurs d'utilisation des habitats (figure 1).

Les valeurs VAL_U = 0 et VAL_U = - 1 tendent à définir des zones de non-utilisation de l'espace par l'animal et ne sont donc pas retenues (figure 1).

Le fondement de l'indice IND_UTIL repose sur l'hypothèse suivante : l'importance écologique de l'habitat (définie par sa valeur d'utilisation VAL_U) prédomine sur son nombre d'utilisation. Ainsi, un habitat très utilisé mais pour des utilisations à chaque fois peu importantes (VAL_U = 1) aura une valeur d'indice beaucoup plus faible qu'un habitat utilisé une seule fois mais avec une caractérisation critique (VAL_U = 3).

Aussi, dans les cas de multi-utilisations de même valeur (habitat utilisé plusieurs fois mais avec une valeur d'utilisation VAL_U identique à chaque fois), c'est le nombre d'utilisation qui définira l'importance de l'habitat : un habitat utilisé à plusieurs reprises, avec à chaque fois une valeur d'utilisation VAL_U = 2, aura un indice plus élevé qu'un habitat utilisé une seule fois avec la même valeur d'utilisation VAL_U = 2.

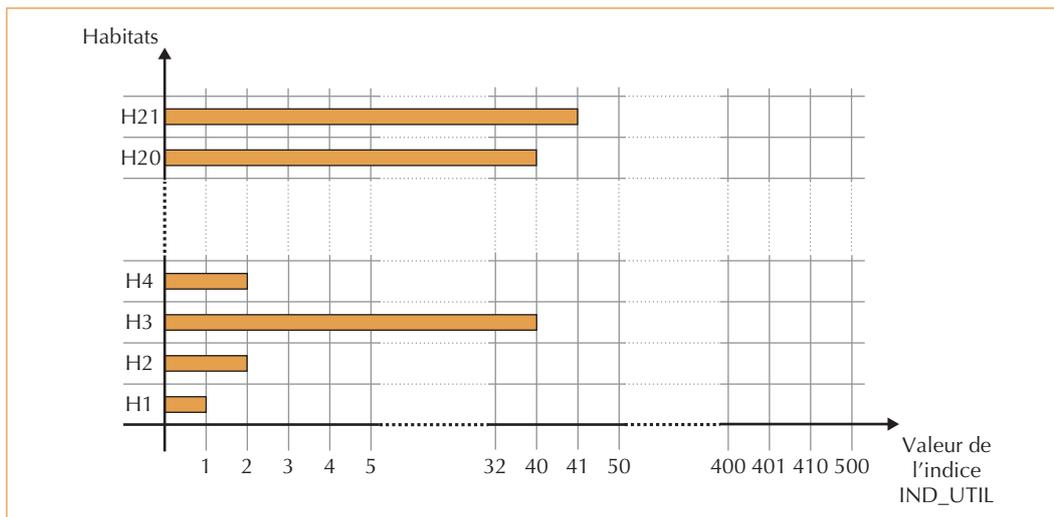


Figure 5 – Exemples de valeurs d'indice IND_UTIL pour une espèce E.

Développement d'un indice global sur la valeur faunistique du paysage

Considérant que chaque espèce a des comportements propres, une analyse complète des relations faune/habitats pour la totalité des espèces présentes sur un territoire demanderait l'étude d'une quantité importante d'informations et rendrait la tâche délicate. Dès lors, l'idée d'un indice global permettant d'avoir, pour un ensemble d'espèces, une lecture synthétique directe de la

valeur écologique des composantes paysagères, prend tout son sens dans le cadre d'un outil de gestion et d'aide à la décision à destination d'une collectivité.

L'objectif d'un tel indice est d'offrir aux aménageurs une appréciation globale du paysage en faisant ressortir les éléments paysagers (habitats) à forte valeur écologique (zones importantes pour le maintien de l'avifaune) et de signaler les espaces qui devront faire l'objet d'une prise

en compte particulière dans l'aménagement et le développement de la commune en vue d'un maintien ou d'une restauration du patrimoine biologique.

En comparaison avec l'indice IND_UTIL qui permet de qualifier des relations EHU (relations simples de type espèce/habitat/utilisations) mettant en jeu à chaque fois **une** espèce, **un** habitat et **cinq** utilisations possibles de l'habitat par l'espèce, le nouvel indice doit chercher à qualifier des relations EHU_m (relations multiples de type espèces/habitat/utilisations) mettant en jeu à chaque fois **plusieurs** espèces, **un** habitat et **cinq** utilisations possibles de l'habitat pour chacune des espèces.

Considérant la quantité importante d'information à traiter dans le cas d'une double analyse quantitative et qualitative, nous nous sommes alors posé la question suivante : avons-nous prioritairement besoin d'un indice quantitatif retranscrivant le nombre d'utilisation d'un habitat ou d'un indice qualitatif informant de la valeur globale d'un habitat pour l'ensemble des espèces utilisatrices ?

Compte tenu des objectifs de l'étude, notre choix s'est orienté sur une approche qualitative en partant du postulat suivant : le nombre d'utilisations d'un habitat ne prédomine pas sur la valeur d'utilisation.

Le développement de ce nouvel indice, nommé IND_UG (indice global d'utilisation des habitats), part donc de l'idée suivante : superposer et traiter les matrices d'utilisations des habitats de manière à faire ressortir, pour chaque habitat, la valeur maximale d'utilisation rencontrée lors des différentes utilisations par l'avifaune étudiée.

Ainsi, la construction de l'indice IND_UG repose sur le principe suivant :

- une seule utilisation de valeur VAL_U = 3 sera prioritaire à plusieurs utilisations de valeur VAL_U = 2 ;
- une seule utilisation de valeur VAL_U = 2 sera prioritaire à plusieurs utilisations de valeur VAL_U = 1.

Par ailleurs, et comme pour l'indice IND_UTIL, seules les valeurs VAL_U qui qualifient une utilisation du paysage par la faune sont retenues pour la définition de l'indice IND_UG, à savoir :

- VAL_U = 3 : habitat critique,

- VAL_U = 2 : habitat important,

- VAL_U = 1 : habitat non nécessaire mais présence de l'espèce possible.

L'indice IND_UG se présente sous la forme d'un nombre pouvant atteindre trois chiffres avec une valeur comprise entre 0 et 555 sur une échelle non linéaire de deux cent seize valeurs.

La valeur « 0 » qualifie une zone non utilisée alors que la valeur « 555 » identifiera un espace présentant un caractère critique au moins une fois dans chacune des utilisations possibles de cet espace (reproduction, nourrissage, abris, hivernage, migration), et pour au moins une espèce du groupe étudié.

Plus la valeur de l'indice attribuée à une zone est élevée, plus la valeur écologique de cette espace est importante pour l'ensemble d'espèces utilisatrices étudiées.

Ainsi, pour un habitat très fréquenté, mais ne présentant pas d'intérêt critique pour la majorité des espèces utilisatrices, il suffira d'une espèce inféodée à ce milieu pour qualifier la zone comme un espace d'une grande importance écologique, caractérisé par la valeur la plus élevée de l'indice : IND_UG = 555.

Si l'habitat étudié est critique pour la reproduction d'une première espèce, pour le nourrissage d'une seconde, pour l'abri d'une troisième, pour l'hivernage d'une quatrième et pour la migration d'une cinquième, alors la valeur de l'indice IND_UG pour cet habitat sera également de 555.

L'indice permet donc de faire ressortir les intérêts prioritaires d'un habitat sur un grand nombre d'utilisations par la faune présente sur un territoire.

Résultats

Cartographie des aires potentielles

L'exploitation du modèle UPH dans un SIG permet de réaliser des cartographies centrées sur :

- les habitats,
- les espèces,
- les utilisations.

Pour chacune de ces « entrées », des analyses quantitatives ou qualitatives sont possibles. Il est

envisageable de réaliser des documents faisant ressortir des éléments sur les habitats les plus utilisés ou encore ceux qui sont critiques (VAL_U = 3). Cette analyse apporte ainsi des informations sur les structures paysagères à conserver dans la politique de gestion communale.

Si l'on souhaite travailler sur la protection d'une espèce particulière, on va pouvoir créer des cartes identifiant les zones à enjeux : cartographie des habitats critiques et importants pour l'espèce, que l'on croisera ensuite avec des cartes de projets urbains ou de zones cadastrales vouées à changer de nature.

Pour une approche centrée sur les utilisations, on va évidemment s'intéresser aux zones de reproduction de la faune : une fois identifiées, ces zones peuvent faire l'objet de mesures de protection ou être intégrées dans un classement particulier du PLU⁶.

Les exemples d'extractions cartographiques réalisables à partir du modèle UPH sont nombreux et peuvent être encore plus étendus en exploitant les fonctionnalités des SIG, en particulier les fonctions d'analyse spatiale.

Parmi les possibilités qu'offre le modèle UPH dans la réalisation de documents d'aide à la décision et à la gestion, la cartographie de la répartition des espèces dans le paysage illustre la pertinence de l'outil. Les cartographies portent sur les aires potentielles suivantes :

- zones de reproduction, de nidification,
- zones d'alimentation, de recherche de nourriture,
- zones de repos, d'abri, de dortoir,
- zones d'hivernage,
- zones de haltes migratoires.

Dans le modèle UPH, ces aires correspondront aux espaces favorables à l'utilisation étudiée, à savoir les habitats présentant les valeurs d'utilisations (VAL_U) 3, 2 ou 1.

Les cartes 1 à 5 donnent des exemples d'analyse pour la buse variable sur la zone d'étude de Gap.

Pour valider le modèle UPH, nous avons réalisé une cartographie des points de contacts que nous avons superposés à la carte issue du modèle. Les données d'observation (points de contacts) sont celles issues des campagnes de terrain de Roger

Garcin entre 1990 et 2002. Ce choix permet de faire coïncider les dates d'expertise portant sur la buse variable avec les dates d'expertise de la végétation (la cartographie de la végétation utilisée pour l'étude a été réalisée par le CBNA entre 1999 et 2001).

D'autre part, les observations ornithologiques réalisées pendant la période de reproduction sont les plus significatives. Elles permettent de localiser et de fixer les milieux de vie centraux de chaque espèce. En effet, les sites de reproduction sont généralement choisis dans des zones apportant à la fois l'abri et la nourriture, ou situés à proximité des milieux de nourrissage. Les oiseaux rayonnent ensuite autour de ces habitats suivant des capacités de déplacement qui sont propres à chacune des espèces.

Le résultat des croisements cartographiques (carte 6) montre que les points de contact issus du travail de terrain se superposent ou sont joints à des zones identifiées à partir du modèle. On peut considérer que le modèle propose des résultats cartographiques théoriques acceptables par rapport à la réalité de terrain et aux objectifs de l'étude.

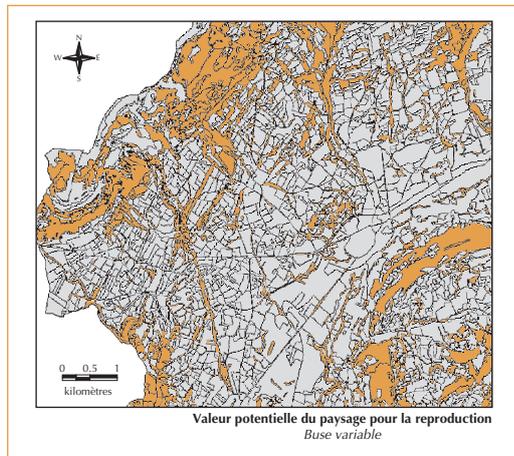
6. Plan local d'urbanisme.

Hiérarchisation spécifique des éléments paysagers

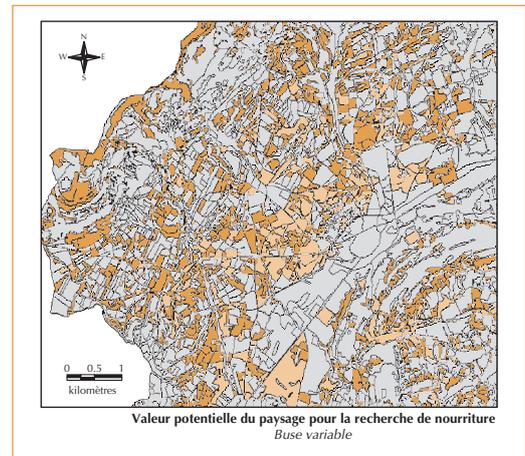
En calculant l'indice IND_UTIL pour la buse variable (figure 6) et en cartographiant les résultats, on obtient un document (carte 7) synthétisant les cinq cartes précédemment exposées : cartes d'aires potentielles pour la reproduction, l'alimentation, le repos, l'hivernage et les haltes migratoires.

Hiérarchisation globale des éléments paysagers

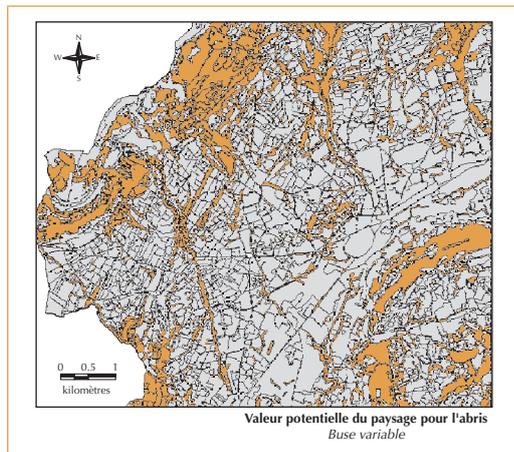
L'exploitation cartographique de l'indice IND_UG va permettre de réaliser un document offrant une lecture générale de la valeur des éléments paysagers pour un ensemble d'espèces. Le résultat peut ainsi être considéré comme une hiérarchisation écologique paramétrée du paysage. Les paramètres étant la liste d'espèces à prendre en compte, la classification des habitats du territoire que l'on cherche à analyser, un modèle local d'utilisations potentielles des habitats par l'avifaune. La carte 8 illustre cette modélisation de la valeur globale du paysage avec un calcul d'indice réalisé à partir des données sur la buse variable et la caille des blés (*Coturnix coturnix*).



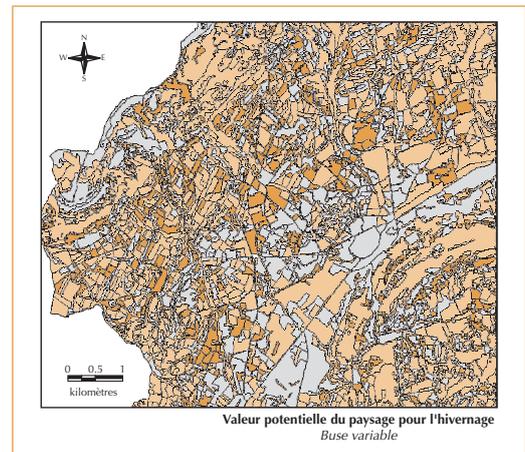
▲ Carte 1 – Aires potentielles de reproduction de la buse variable (modèle UPH).



▲ Carte 2 – Aires potentielles d'alimentation de la buse variable (modèle UPH).



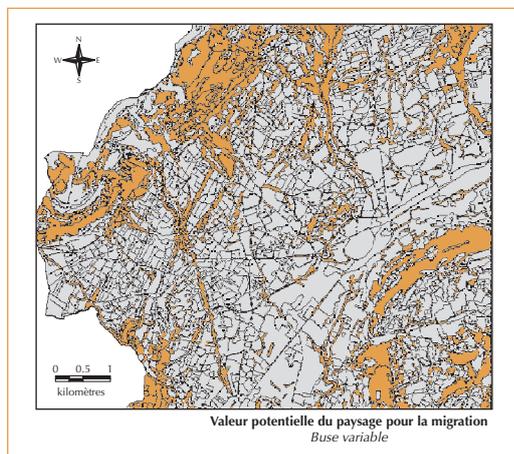
▲ Carte 3 – Aires potentielles de repos et d'abris pour la buse variable (modèle UPH).



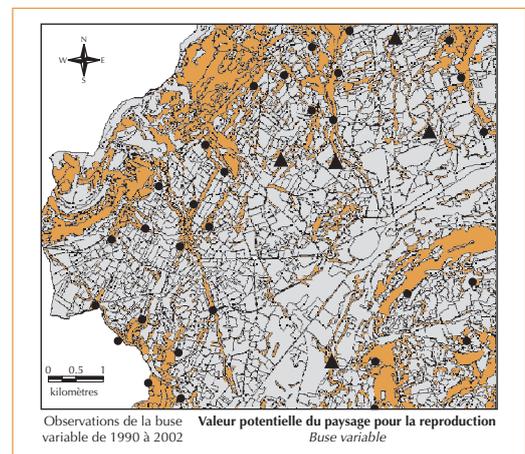
▲ Carte 4 – Aires potentielles d'hivernage de la buse variable (modèle UPH).

Valeurs d'utilisation :

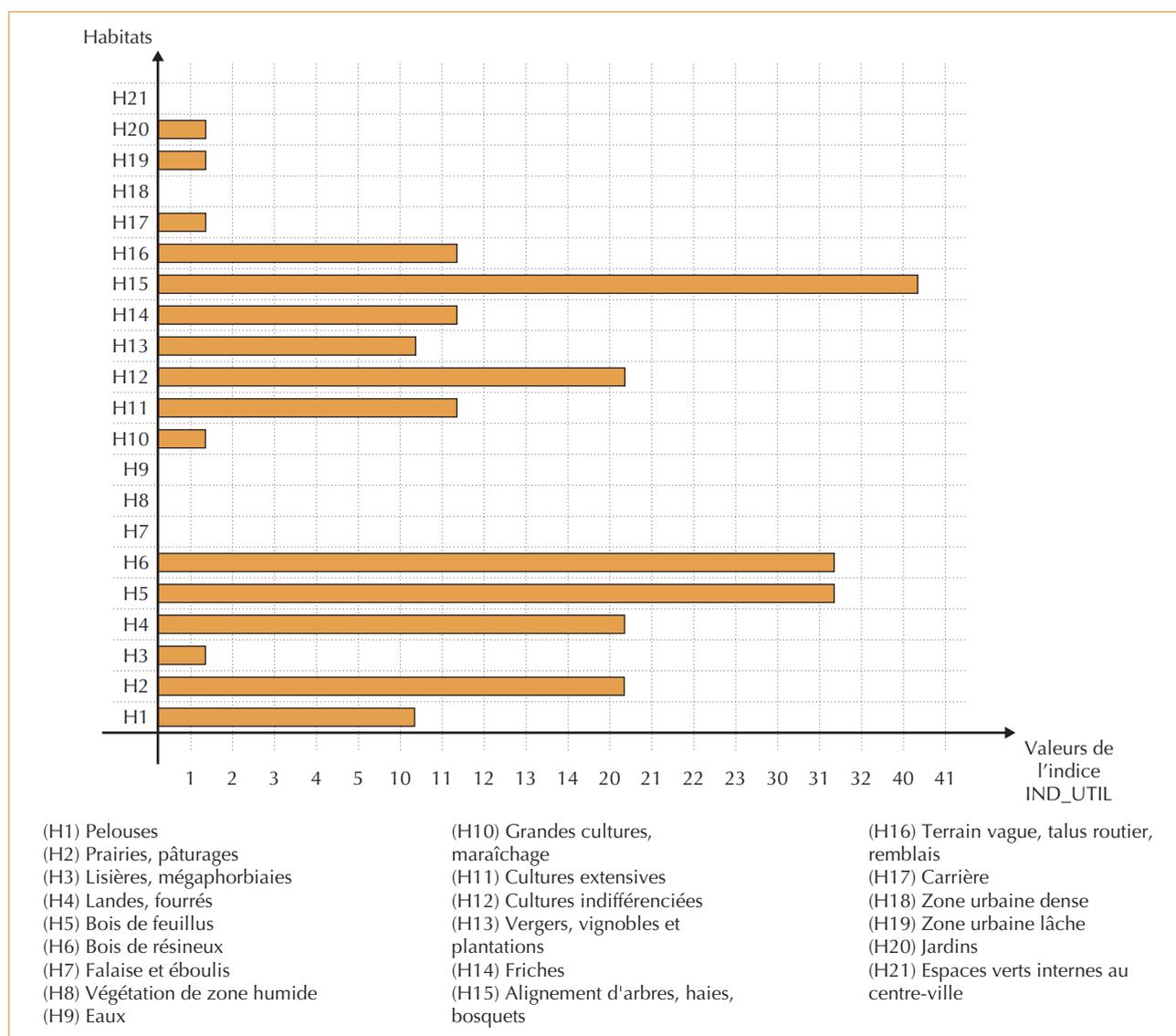
- 2 (Habitat utilisé mais non critique pour l'espèce)
- 1 (Habitat non nécessaire à l'espèce mais présence possible)
- 0 (Habitat non utilisé par l'espèce)



▲ Carte 5 – Aires potentielles pour les haltes migratoires de la buse variable (modèle UPH).



▲ Carte 6 – Aires potentielles de reproduction de la buse variable définies à partir du modèle UPH. Observations de terrain (points de contact 1990-2002) : ● espèce toujours présente ; ▲ espèce disparue depuis 1997.



Exemple d'exploitation des résultats : poids écologique d'un projet routier

Un projet routier de contournement du centre urbain de la commune de Gap est à l'étude. Un essai d'application des travaux présentés dans cet article a été réalisé sur la zone d'emprise du projet en croisant la carte de la zone d'emprise avec la carte de hiérarchisation écologique du paysage réalisée à partir de l'indice IND_UG calculé pour la buse variable et la caille des blés (carte 9).

La carte 10 permet de mettre en évidence les entités paysagères critiques pour les espèces étudiées (valeur de l'indice IND_UG \geq 100). Pour com-

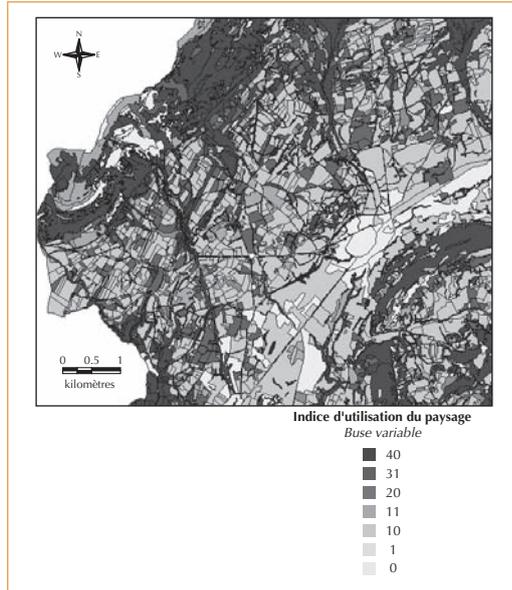
pléter ces deux cartes, des analyses statistiques simples sont possibles et complètent l'analyse du poids écologique du projet (figures 7 à 9).

Discussion et conclusion

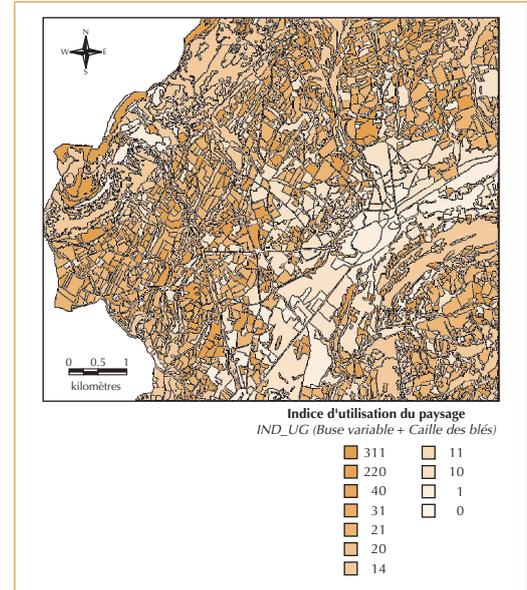
Ce travail de modélisation de l'utilisation des éléments paysagers par l'avifaune propose une approche permettant d'avoir une analyse synthétique spécifique ou globale de l'espace.

L'outil ainsi défini offre une aide à la connaissance, à la décision et à la gestion environnementale d'un territoire.

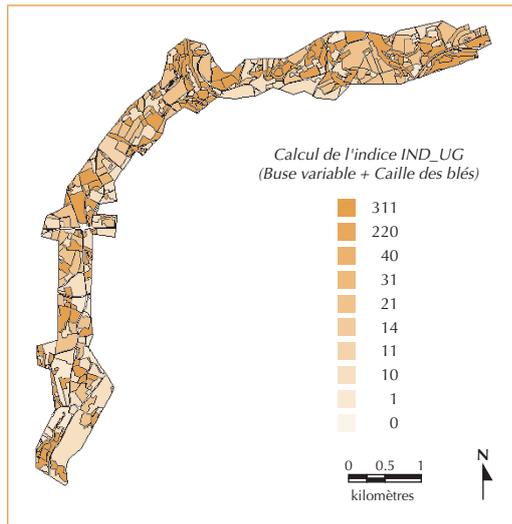
▲ Figure 6 – Valeurs de l'indice IND_UTIL pour la buse variable.



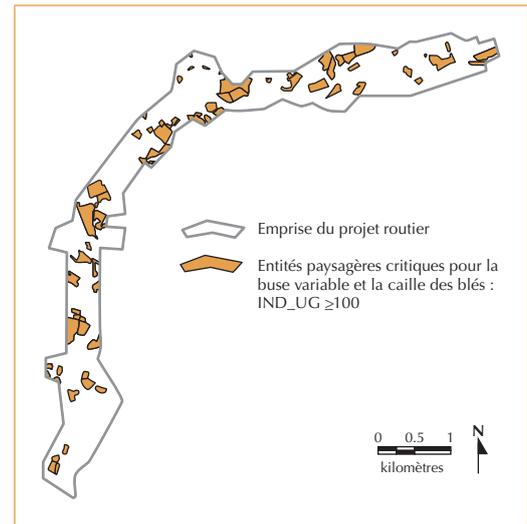
▲ Carte 7 – Hiérarchisation spécifique du paysage pour la buse variable (indice IND_UTIL).



▲ Carte 8 – Hiérarchisation globale du paysage à partir de l'indice IND_UG calculé pour la buse variable et la caille des blés.



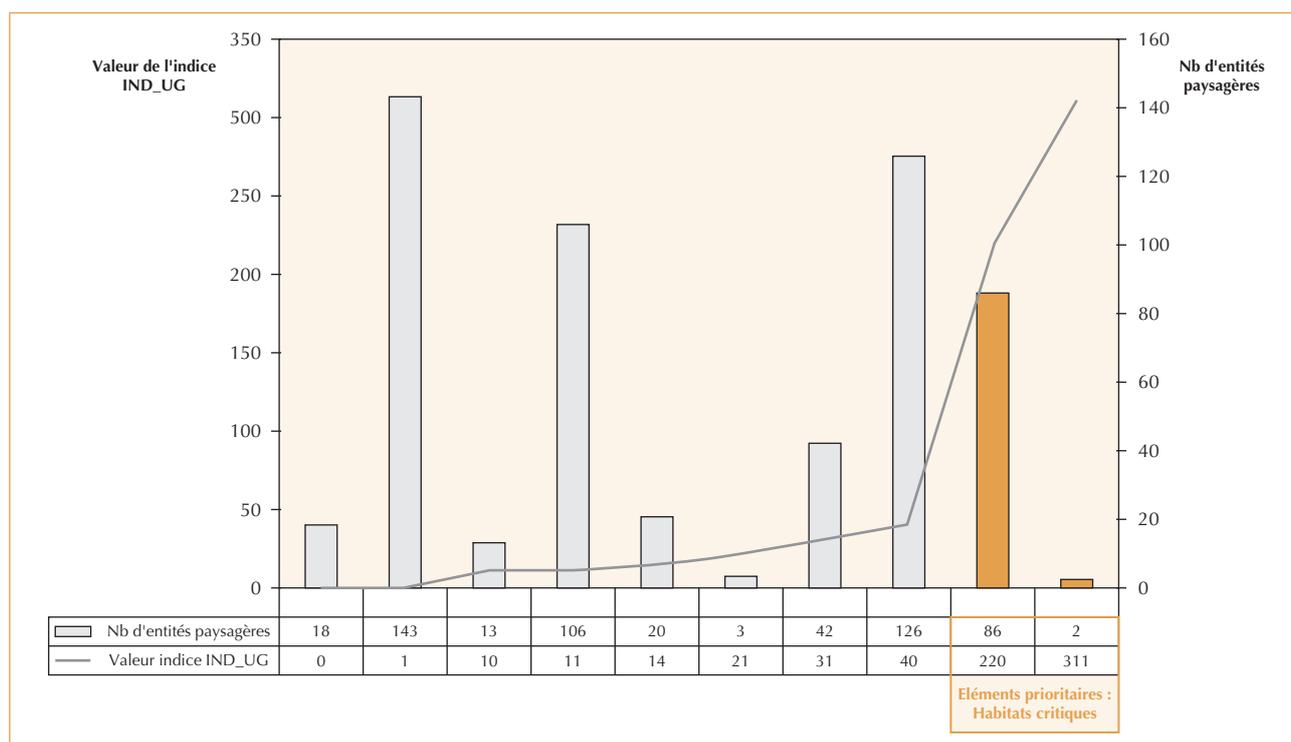
▲ Carte 9 – Calcul de l'indice IND_UG sur la zone d'emprise du projet routier de contournement de Gap pour la buse variable et la caille des blés.



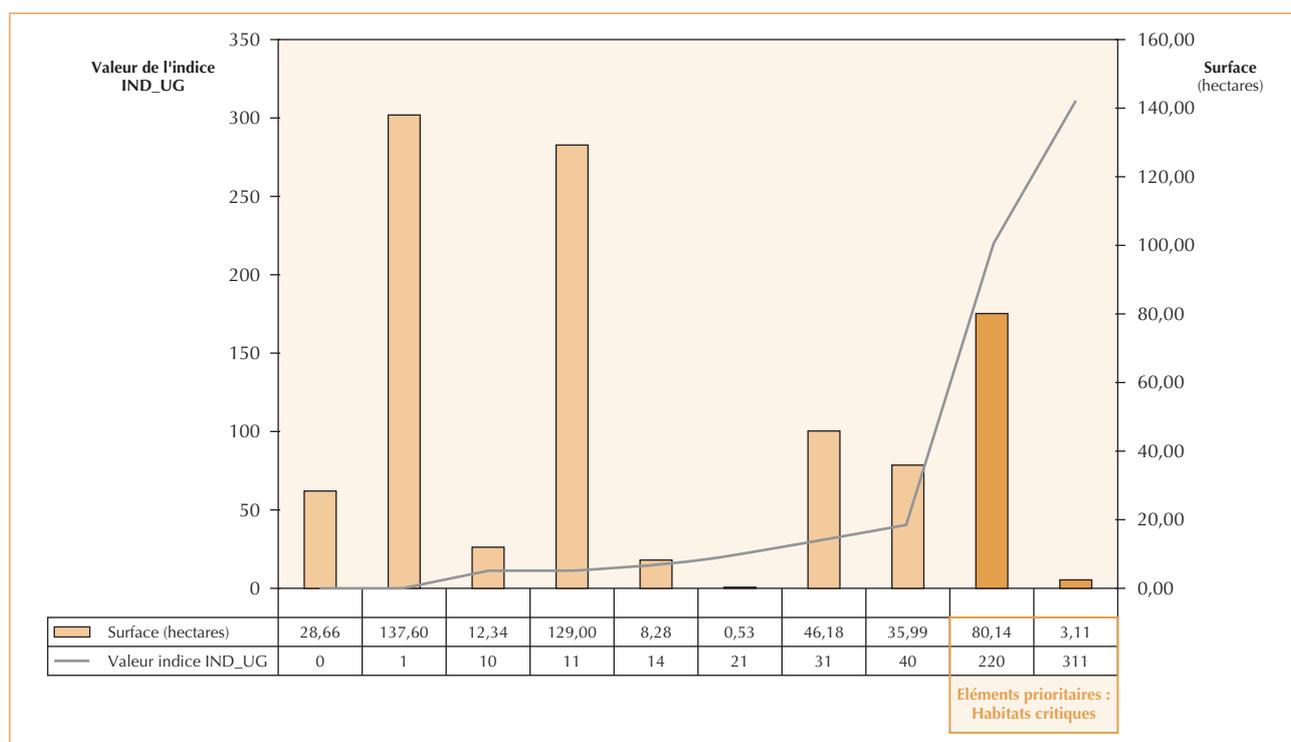
▲ Carte 10 – Mise en évidence des entités paysagères critiques pour la buse variable et la caille des blés dans le projet de contournement de Gap.

Les exploitations de l'outil peuvent être centrées sur une espèce particulière, comme une espèce protégée et emblématique d'un site, ou des groupes d'espèces. On peut ainsi envisager d'appli-

quer l'analyse à des regroupements d'individus listés par famille, milieu, aire de répartition (zone de reproduction, etc.), répartition altitudinale, statut juridique.

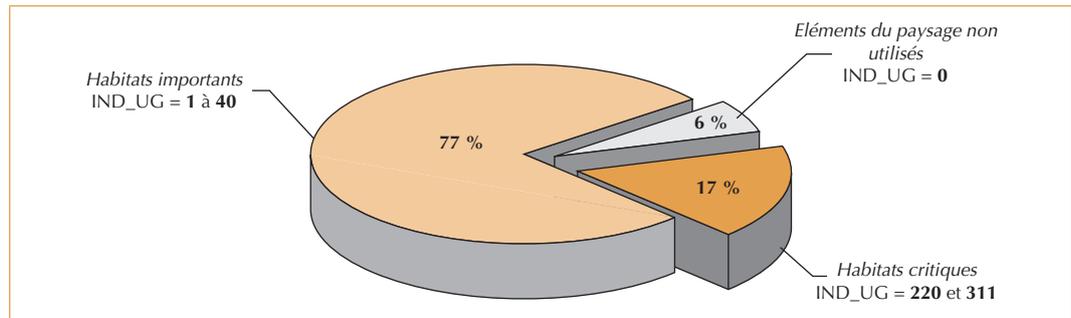


▲ Figure 7 – Dénombrement des entités paysagères par valeur d'indice (calcul de l'indice IND_UG pour la buse variable + caille des blés).



▲ Figure 8 – Étude des surfaces par valeur d'indice (calcul de l'indice IND_UG pour la buse variable + caille des blés).

► Figure 9 – Mise en évidence de l'importance des « surfaces critiques » (calcul de l'indice IND_UG pour la buse variable + caille des blés).



La finesse de la modélisation et des analyses cartographiques obtenues permet de travailler à une échelle opérationnelle en aménagement du territoire : l'échelle parcellaire.

Intégré et exploité dans un SIG, la portée de l'outil est évidente lors de croisement avec des projets urbains ou dans la révision d'un POS/PLU pour la définition de nouveaux zonages.

Les résultats présentés dans cet article concernent exclusivement l'avifaune. Mais la méthodologie initiale de ce travail porte sur des objectifs prenant en compte les mammifères, les reptiles, les amphibiens et les oiseaux. L'intégration des données sur les mammifères, reptiles et amphibiens pourrait aboutir rapidement à des résultats plus

complets dans l'analyse faunistique du paysage gapençais. En outre, une approche adaptée à la faune aquatique peut également s'envisager.

L'idée est alors de travailler sur une approche globale de la faune d'un territoire, ce qui constituerait un outil inédit et attendu par les décideurs et aménageurs.

D'autre part, des développements complémentaires prenant en compte les aspects organisationnels et fonctionnels du paysage pourraient venir accentuer la pertinence de l'outil et affiner les résultats cartographiques générés.

Sur un plan pratique, une approche « logiciel » a été conceptualisée afin de créer un « module spécialisé » intégrable dans un SIG. □

7. Plan d'occupation des sols.

8. Systèmes environnementaux, information géographique et aide à la décision.

Remerciements

Les auteurs de l'article souhaitent remercier Jean Faure (service technique de la Ville de Gap), les services techniques de la ville de Gap, Roger Garcin (Centre de recherches par le baguage des populations d'oiseaux, Muséum national d'histoire naturelle de Paris), Jean-Pierre Dalmas (Conservatoire botanique national alpin de Gap-Charance) ainsi que l'équipe cartographie du Conservatoire botanique national alpin de Gap-Charance. Le programme de recherches opérationnelles dans lequel s'intègrent les travaux présentés dans cet article, a été réalisé avec le soutien de la DIREN PACA en partenariat avec le laboratoire SEIGAD⁸ et l'Institut de géographie alpine de l'université Joseph Fourier de Grenoble I.

Résumé

Dans le cadre de sa charte pour l'environnement et en perspective de la révision prochaine de son plan local d'urbanisme (PLU), la ville de Gap souhaite conforter sa politique environnementale en se dotant d'outils d'aide à la décision et à la gestion permettant une meilleure intégration des données écologiques et paysagères dans ses actions territoriales. Ainsi, la ville de Gap s'est-elle engagée dans une démarche géomatique visant à équiper l'ensemble de ses services techniques d'un système d'information géographique (SIG). Dans ce contexte, la demande de la ville s'est ainsi orientée vers une exploration méthodologique et technique des possibilités qu'offrent les SIG dans la gestion des problématiques écologiques et paysagères auxquelles elle est confrontée.

Ce programme de recherche opérationnelle s'intègre dans une logique de développement durable en apportant une contribution méthodologique et technique à la mise en œuvre d'une politique environnementale pour un développement raisonné du territoire gapençais. Il se définit comme une démarche expérimentale innovante et complémentaire des politiques actuelles de la ville de Gap.

Le présent article porte sur la partie du projet qui concerne la biodiversité. Il s'agit du développement d'une méthode originale d'évaluation et de cartographie des potentialités faunistiques d'un paysage, appliquée à l'avifaune de la commune de Gap.

Abstract

Within the framework for the environmental charter and the revision of its Local Town Planning (PLU), the city of Gap wishes to consolidate its environmental policy. It needs decision-making and management tools allowing a better integration of ecological and landscape data in its territorial actions. Thus, the city of Gap will equip all technical and engineering units with a Geographical Information System (GIS). The city of Gap request was a methodological and technical exploration of the possibilities offered by the GIS in the ecological and landscape management.

This program of operational research is integrated in a logic of sustainable development. This research contributes a methodological and technical share with the implementation of an environmental policy for a reasoned development of the Gap territory. It is defined as an innovating experimental step, complementary to the current policies of the city of Gap.

This article is restricted at the biodiversity part of the total research. It explains the development of an evaluation and of faunistic cartography of the potentialities of a landscape method. The example used is Gap's avifauna.

Bibliographie

- BONELLO, Y.-H., 1996, *La ville*, PUF, Paris, 127 p.
- BORDIN, P., 2002, *SIG – Concepts, outils et données*, Hermès-Lavoisier, Paris, 259 p.
- CHARRIER, J.-B., 1988, *Villes et campagnes*, Paris, Masson, 208 p.
- CLARAMUNT, C., LARDON, S., 2000, *SIG et simulation*, Revue internationale de géomatique, Hermès, Paris, 155 p.
- COLLET, C., 1992, *Systèmes d'information géographique en mode image*, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 186 p.
- GUILLERMIN, P., 2000, *Le paysage Gapençais : État, Analyse et SIG*, mémoire de maîtrise, spécialité géographie, Aix-Marseille, 99 p.
- JOERIN, F., 1997, *Décider sur le territoire – Proposition d'une approche par utilisation de SIG et de méthode d'analyse multicritère*, thèse doctorale ès sciences techniques, École polytechnique fédérale de Lausanne, Lausanne, 220 p. + annexes.
- MANCEBO, F., 2003, *Questions d'environnement pour l'aménagement et l'urbanisme*, Éditions du Temps, Nantes, 285 p.
- MC RAE, T., SMITH, C.-A.-S., GREGORICH, L.-J., 2000, *L'agriculture écologiquement durable au Canada – Rapport sur le Projet des indicateurs agroenvironnementaux*, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Ottawa, 233 p.
- METL, URBANDATA, 1999, *Systèmes d'Information Géographique – Les utilisations nouvelles de l'information géographique numérique en urbanisme*, Actes de la rencontre des 17 et 18 juin 1999, 47 p.
- OZENDA, P., 1986, *La cartographie écologique et ses applications*, Masson, Paris, 160 p.
- PIGEON, P., 1995, *Ville et environnement*, Nathan Université, Luçon, 192 p.
- PISSARD, P.-A., 2004, *Intégration des données écologiques et paysagères dans l'aménagement des territoires de montagne – Développement d'outils d'aide à la décision et à la gestion : Bases de données, Modélisations et Cartographies Environnementales – Expérimentation sur la commune de Gap (Hautes-Alpes, France)*, thèse de recherche et développement, spécialité géographie, IGA-UJF Grenoble I, Grenoble – Gap, 658 p.
- PISTORESI, D., 2000, *Diagnostic paysager du pays de Gap et dynamique d'évolution*, mémoire de DESS, spécialité paysage et aménagement, Aix -Marseille, 66 p.
- PORNON, H., 1992, *Les SIG : mise en œuvre et applications*, Hermès, Paris, 159 p.
- PORNON H., 1990, *Systèmes d'information géographique : des concepts aux réalisations*, Les éditions du Service technique de l'urbanisme – Hermès, Paris, 108 p.
- THERIAULT, M., PRELAZ-DROUX, R., 2002, *SIG et développement du territoire*, Hermès, Paris, 474 p.
- TUBIANA, L., 2000, *Environnement et développement – L'enjeu pour la France*, rapport au Premier ministre, La documentation Française, Paris, 169 p.
- TURLIN, M., 1996, *La prise en compte de l'environnement dans les projets de travaux et d'aménagement*, La documentation Française, Paris.
- VILLE DE GAP, DIRECTION RÉGIONALE DE L'ENVIRONNEMENT PACA, 2001, *Charte communale pour l'environnement de Gap*, plusieurs volumes.