
SIG « Paysages bocagers »

Un outil pour l'étude des paysages bocagers et l'aide à la décision

Erwan Bocher – Régis Le Vaillant – Olivier Bedel

ESO – UMR 6590 CNRS

Université Rennes 2 Haute-Bretagne

Place du recteur Henri Le Moal, CS 24307, 35043 Rennes

erwan.bocher@uhb.fr, regis.levaillant@uhb.fr, olivier.bedel@uhb.fr

RÉSUMÉ. Les paysages ruraux sont aujourd'hui considérés du point de vue de leur multifonctionnalité. Les différents impacts de l'évolution des structures paysagères sur les plans écologique, économique et social restent souvent sous-évalués faute d'outils ou de dispositifs satisfaisants. Cet article constitue une contribution technique et thématique à la mise en place d'un Système d'Information Géographique (SIG) appliqué à l'étude des paysages bocagers bretons. Le SIG élaboré s'appuie sur le module APaRAD (Analyse des Paysages Ruraux pour l'Aide à la Décision) actuellement en cours de développement. Ce module fournit une interface pour l'analyse des configurations spatiales des éléments paysagers. Il vise à extraire les caractéristiques propres à leurs diverses fonctions. Le diagnostic ainsi obtenu fournit un tableau de bord, synthèse de plusieurs indicateurs notamment environnementaux, à l'échelle d'une commune. Ce tableau de bord doit aider les collectivités locales dans la mise en œuvre de leur politique d'aménagement durable du territoire.

ABSTRACT. Nowadays the rural landscapes are considered according to their multifunctionality. The various ways they act upon ecology, economy and society remain often underestimated through lack of efficient tools and devices. This paper provides a technical and thematic approach of the setting up of a Geographic Information System (GIS) designed to study the characteristics of the bocage landscape of Brittany. The main module of this GIS is called APaRAD (still under development). Its interface is devoted to the analysis of spatial arrangements of the landscape elements. This module aims at extracting some of their specific characteristics matching to their various functions. The resulting diagnosis summarizes several indicators about the landscape structures for a particular village. These indicators are to be used as a decision support by local authorities in their regional development policy.

MOTS-CLÉS: SIG, bocage, tableau de bord, indicateurs, modèle de données, outil d'aide à la décision, aménagement du territoire.

KEYWORDS: GIS, bocage, indicators, data model, decision support system, regional development.

1. Introduction

L'espace rural et agricole, parfois considéré comme périphérique, cristallise aujourd'hui un certain nombre d'attentes et d'inquiétudes de la société française. Espace productif, espace résidentiel, espace touristique et de loisirs mais aussi espace de fragilités et de risques, l'espace rural mobilise autour d'enjeux parfois difficilement conciliables. Qu'il s'agisse plus particulièrement de qualité du cadre de vie, de préservation de l'environnement ou de dynamisme économique, les acteurs et gestionnaires des espaces ruraux sont directement confrontés à ces enjeux territoriaux complexes.

Au cours des cinquante dernières années, l'espace rural breton s'est profondément modifié sous l'effet notamment d'une intense modernisation agricole. Les bouleversements vécus dans les campagnes ont entraîné une réorganisation des structures agraires, transformant considérablement le paysage bocager et portant atteinte aux équilibres environnementaux.

Pourtant, malgré les nombreux travaux scientifiques, les programmes de « rebocagement » ou les politiques publiques incitatives, la Bretagne reste en retard quant à la mise en place de dispositifs de suivi et d'évaluation des transformations de ses paysages de talus et de haies.

Pour répondre à ces préoccupations, nous présentons ici une recherche en cours, qui entend mettre en place un SIG adapté à l'étude des caractéristiques et des transformations des paysages bocagers de l'Ouest de la France et de la Bretagne en particulier. Les travaux s'inspirent de différentes expériences menées aux échelles tant régionale (Baudry et Burel, 1999) qu'internationale (Hydram, 2001). Engagés depuis une dizaine de mois, ils sont réalisés en parallèle de travaux de recherches doctorales et s'inscrivent dans un projet plus vaste, appelé LERA (Lecture de l'Espace RurAl), qui vise à rassembler différentes compétences disciplinaires (géographie, sociolinguistique, études celtiques, etc.) et différentes sources d'informations (photographie aérienne, cadastre napoléonien, etc.) autour de la thématique des paysages ruraux.

Nous présenterons tout d'abord le contexte dans lequel s'inscrit notre démarche et les objectifs de la mise en place d'un SIG dédié aux paysages bocagers. Nous exposerons ensuite les choix méthodologiques et techniques qui ont guidé sa conception. Enfin, nous présenterons quelques résultats obtenus à partir des fonctionnalités développées dans ce SIG, appliquées à une commune des Côtes-d'Armor.

2. Contexte et objectifs de la mise en place du SIG « Paysages bocagers »

2.1. *Le bocage : un paysage au cœur des préoccupations contemporaines*

« L'état d'un paysage est toujours temporaire et porte les marques du passé aussi bien que du présent : activités, réglementations, rapports sociaux, techniques... » (Baudry, 1993). Le paysage de bocage n'échappe pas à ce constat. Manié et remanié, d'expansions en régressions, le bocage actuel connaît son apogée du début du XX^e siècle à la fin de la Seconde Guerre mondiale (Meynier, 1952 ; Antoine, 2002).

À partir de la deuxième moitié du XX^e siècle, la forme traditionnelle de l'agriculture bretonne, organisée autour de petites et moyennes exploitations en polyculture-élevage, disparaît progressivement au profit d'une agriculture spécialisée, à la recherche de productivité et de compétitivité. Les remembrements « table-rase » des années soixante et soixante-dix créent des parcelles de grande taille (Flatrès, 1979 ; Canévet, 1980).

Parallèlement, ces mêmes années sont marquées par un foisonnement de recherches sur les fonctionnalités et les rôles du bocage. Ainsi les travaux organisés sous l'égide du CNRS par l'INRA et l'Université de Rennes entre 1973 et 1976 apportent les « premiers éclairages sur l'impact hydraulique, anti-érosif et écologique des haies et talus » (IDF, 1995).

Progressivement, la reconnaissance de l'utilité du bocage s'impose, non seulement au sein de la population mais aussi, et surtout, dans les textes réglementaires (dans les études d'impact depuis 1976, les études préalables à toute opération de remembrement depuis 1993, etc.).

Plus récemment, confrontées au grave problème de pollution des eaux superficielles, les collectivités locales engagent des politiques incitatives de « rebocagement », convaincues de son utilité dans la lutte contre ces pollutions. Les départements bretons, après avoir subventionné largement le remembrement, financent la plantation de haies et la reconstruction de talus. Les Bassins versants, par leur action pour répondre aux mêmes préoccupations environnementales, amènent d'ailleurs ces structures à se pencher sur les causes de ces bouleversements.

Plus largement, la loi de renforcement de protection de l'environnement de 1995 édicte que « le paysage (...) est constitutif du patrimoine commun de la Nation ». Chaque collectivité publique en est le gestionnaire et le garant, au sens de l'article L.110 du code de l'urbanisme. La loi « paysage » a ainsi confié aux communes la responsabilité, dans le cadre de leurs documents de planification, d'identifier et localiser les éléments de paysage (...) et de définir, le cas échéant, les prescriptions de nature à assurer leur protection (article L.123-1 du code de l'urbanisme).

Au-delà des textes spécifiques, les orientations prises par les nouvelles politiques agricoles et de développement rural et exposées notamment dans le Plan de

développement rural national (PDRN), le Schéma de services collectifs des espaces naturels et ruraux (SSCENR) ou encore la Loi d'Orientation Agricole de 1999 (LOA), confirment cet engagement en faveur des paysages et de leurs éléments constitutifs. Ainsi, en dehors de son rôle traditionnel de production de matières premières de qualité à des coûts compétitifs, l'agriculture se voit confier l'équilibre du territoire et de l'emploi, des fonctions d'entretien de l'espace, de protection et de renouvellement des ressources naturelles (DATAR, 2002). La LOA de juillet 1999 intègre explicitement la qualité des paysages ruraux dans les objectifs assignés à l'agriculture.

Ces différents éléments traduisent la nouvelle dimension prise par les paysages ruraux. L'engouement pour la nature se généralisant, le recours aux « services collectifs rendus par les espaces naturels et ruraux » (DATAR, 2002) en terme d'aménités est croissant pour les citoyens comme pour les habitants des campagnes : activités de loisirs (chasse, pêche, randonnée), culturelles ou sportives, ou simple aspiration à un cadre de vie sont plébiscitées.

Au total, le paysage bocager devient un facteur essentiel de l'aménagement du territoire. Deux aspects doivent être distingués :

- un aspect fonctionnel associé aux fonctions environnementales remplies par les différents éléments constituant ce paysage,
- un aspect social jouant un rôle central dans la définition du cadre de vie et des identités locales et servant aussi de base au développement d'activités humaines, marchandes ou non, principalement touristiques ou récréatives.

À chacun des deux aspects sont associées des exigences dont le respect est indispensable à la poursuite des fonctions assurées par les paysages, mais qui ne sont pas sans provoquer des oppositions ou des conflits d'usage. Pour relever ces enjeux, et sans porter atteinte à la pérennité des activités économiques (agricoles ou autres), nous envisageons l'évolution de la diversité des paysages bretons dans le but de :

- protéger les ressources (sols et eau),
- protéger les cultures,
- gérer et valoriser la diversité biologique et paysagère.

Mais, parallèlement à la prise en compte croissante de ce paysage, il nous faut souligner ici l'absence de dispositifs et d'outils d'appréciation des structures bocagères et de leur évolution, et ce, malgré les nombreuses études et les travaux de reconstruction du bocage.

2.2. Vers la constitution d'un Système d'Information Géographique

Face aux enjeux exposés, il est indispensable de mettre à la disposition des gestionnaires du territoire des outils d'aide à la décision, capables d'intégrer la

complexité de ces espaces. Par définition, la notion même de Système d'Information Géographique permet de répondre à cette préoccupation. En effet, nous définissons ici le SIG comme un système d'information qui intègre et met en relation des données structurées (attributaires et géoréférencées), des outils (système de gestion) et des méthodes permettant d'établir des analyses statiques ou dynamiques, et de représenter l'information à différentes dimensions et échelles spatio-temporelles (Joliveau, 1996 ; Laurini *et al.*, 1992).

Les récents progrès observés en informatique et les nouvelles orientations des éditeurs de logiciels (solutions plus souples, environnements de travail plus conviviaux) ont permis aux gestionnaires et administrateurs territoriaux de s'approprier et de mettre en œuvre des techniques de gestion et d'analyse de données qui étaient auparavant réservées aux seules structures ayant les moyens de s'équiper de systèmes (hardware et software) lourds et surtout coûteux (Bordin, 2002).

Pourtant, derrière cette appropriation désormais plus facile de l'information spatiale, plusieurs freins majeurs persistent (Gayte *et al.*, 1997) :

- les structures de données des outils standards sont inadaptées, notamment lorsque l'on s'intéresse aux interactions et aux dynamiques spatiales ;
- les outils sont incapables d'interopérer entre eux, malgré les recommandations de l'OpenGis Consortium¹ (OGC), (en témoignent, les problèmes rencontrés lors d'échanges de données de système à système, problèmes liés au format des données, au modèle de structuration utilisé...).

Plus globalement, l'accessibilité de l'information reste complexe pour le décideur qui réclame une information claire et synthétique. Certains auteurs soulignent ainsi le décalage entre les moyens dépensés pour l'élaboration de SIG, les informations cartographiées et les besoins des décideurs. Les SIG s'inscrivent trop souvent dans une conception géométrique et structuraliste de la géographie au lieu d'intégrer des approches plus thématiques, plus proches de l'aménagement (Pottier *in* Joliveau, 1996).

Pour s'affranchir de certains de ces handicaps et pallier le manque de dispositif de suivi de l'état et de l'évolution des paysages bocagers, nous avons élaboré un SIG fondé sur une technologie Open Source² conçu autour de deux niveaux d'utilisation. L'un, disposant des fonctions standards et avancées du SIG (numérisation et traitement des données...) est destiné à l'administrateur. L'autre, qui présente des fonctions simplifiées, notamment la production d'un tableau de bord géographique, est destiné au décideur. L'interconnexion entre ces deux niveaux est établie au moyen d'une application métier : le module APaRAD (Analyse des Paysages Ruraux et Aide à la Décision).

¹ L'OpenGis Consortium a la charge de définir un modèle standard pour l'organisation et la manipulation de l'information géographique sous toutes ses formes. <http://www.opengis.org>

² Elle implique notamment la libre diffusion du code source.

3. Le SIG « Paysages bocagers » et le module APaRAD

3.1. Principes généraux du SIG « Paysages bocagers »

Le SIG « Paysages bocagers » est conçu dans une perspective de gestion globale et durable d'un paysage bocager. A ce titre, il repose sur l'exploitation d'une base de données regroupant l'ensemble des informations de la matrice territoriale (milieux naturels, espaces agricoles, infrastructures...). Cette base de données sert de support à la production d'un tableau de bord géographique. Ce dernier regroupe un ensemble de fiches techniques organisées en trois rubriques : diagnostic, évolution et actions-simulations. Son intérêt est double :

- rendre accessible les analyses produites par le SIG à des utilisateurs non-spécialistes,
- constituer un outil de planification et d'aménagement du territoire.

La figure 1 en expose le principe de fonctionnement.

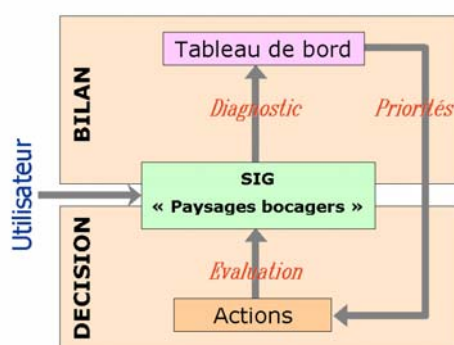


Figure 1. Fonctionnement du système

L'utilisateur, à partir de l'interface du SIG « Paysages bocagers » appelle le module APaRAD. Celui-ci, après une phase d'initialisation de la base de données (alimentation, vérification des nomenclatures), génère le tableau de bord. Cette première étape, qualifiée de bilan, va permettre, en fonction des informations exposées, de définir un ensemble de priorités. Ces priorités peuvent ensuite être mises en application en utilisant les fonctions de numérisation du SIG. Par exemple, l'utilisateur peut décider d'implanter de nouveaux linéaires bocagers. Pour cela, il modifie la structure de la couche géographique considérée. Il peut alors de nouveau lancer le module APaRAD et évaluer les conséquences de ces choix ; jusqu'à obtenir satisfaction.

3.2. Présentation du module APaRAD

3.2.1. Unités spatiales élémentaires et sources de données

Le choix des unités spatiales élémentaires est fondamental dans l'approche spatiale (Triboulet, 2001 ; Bommel *et al.*, 2000). Pour l'analyse des structures paysagères, l'élément de base peut être défini à partir de plusieurs critères : taille, forme, nature de la construction, type de propriétaire, échelle, etc. Le choix des critères s'établit en fonction des objectifs d'étude fixés. Une entité bocagère qualifiée en fonction de sa position topographique référerait par exemple à une entité d'observation (de diagnostic) tandis qu'une entité bocagère qualifiée en fonction de son propriétaire s'apparenterait à une entité de gestion (Burel *et al.*, 1999).

À la recherche d'une information diachronique, facilement disponible, s'approchant d'une représentation réelle des objets spatiaux et offrant un support visuel de qualité et compréhensible par le plus grand nombre, nous avons fait le choix d'utiliser les photographies aériennes. Dans un SIG, il est possible d'extraire de celles-ci, par identification visuelle, une information géographique simple (structure linéaire, parcellaire). Si cette information extraite à partir d'une numérisation plane (utilisation d'orthophotoplan) reste peu détaillée, elle est néanmoins suffisante pour appréhender l'organisation des structures paysagères à l'échelle communale. Elle peut, par ailleurs, être précisée par un travail de terrain.

Deux couches d'information géographique peuvent être produites à partir des éléments visibles du paysage (Gilg, 1972) :

- le parcellaire (polygones), dont l'unité spatiale élémentaire est définie comme une unité surfacique homogène, regroupe tous les éléments de la matrice territoriale ayant une emprise surfacique (bâti, parcelle culturale, routes, etc.) ,
- le linéaire bocager (polylignes) dont l'unité spatiale élémentaire est délimitée par un type d'occupation du sol changeant, l'intersection avec un autre linéaire, une rupture angulaire (Baudry *et al.*, 2003).

Ces deux couches d'informations géographiques sont complétées par :

- une couche représentant le réseau hydrographique,
- un jeu de données altimétriques en format raster ou vectoriel,
- une couche limite communale (territoire d'étude),
- des données statistiques fournies par le SCEES (Recensement de l'Agriculture) et de l'INSEE (Recensement de la population).

L'ensemble de ces données constitue pour APaRAD « un jeu de données ». Il se caractérise par une date unique, date d'acquisition de la donnée traduisant un état de la mosaïque territoriale. APaRAD ne peut exploiter que deux jeux de données différents.

3.2.2. *Les indicateurs*

Les nombreuses recherches menées dans l'Ouest de la France sur les paysages bocagers ont permis de faire ressortir plusieurs indicateurs pour l'observation et l'analyse de ces territoires (Burel *et al.*, 1999, Baudry *et al.*, 2003).

Les indicateurs que nous avons choisis (figure 2) l'ont été de sorte qu'ils soient :

- caractéristiques des fonctions assurées par le paysage bocager,
- construits à partir de données accessibles, simples et de mise à jour facile.

Ces indicateurs, dont certains sont exposés dans la figure 2, sont représentés sous forme de cartes, de tableaux ou de graphiques.

type d'indicateurs	indicateur	dimension	unité spatiale d'agrégation	unité spatiale de représentation
indicateurs simples	densité de linéaire bocager	surfaccique	commune îlot parcellaire	îlot parcellaire
	nombre d'îlots bâtis	aucune	commune	-
	somme du linéaire bocager potentiellement brise-vent	linéaire	commune	couche bocage
	pourcentage de superficie de parcelles culturales selon leur taille	surfaccique	commune	-
	somme du linéaire bocager	linéaire	-	couche bocage
indicateurs composites	niveau de desserte d'une parcelle culturale	aucune	commune	-
	localisation du réseau bocager	-	commune	-
	rapport d'enclosure	aucune	-	couche parcellaire
	élément bocager connecté à un bois	linéaire	-	couche bocage
	longueur du bocage potentiellement bloquant par rapport aux écoulements de surface	linéaire	commune îlot parcellaire	-
	longueur du bocage potentiellement brise-vent	linéaire	commune îlot parcellaire	-

Figure 2. Exemple d'indicateurs produits par le module APaRAD

Ils sont classés en deux grandes catégories (Ettarid *et al.*, 2003) :

- les indicateurs simples (ex. : la densité de linéaire bocager) ,
- les indicateurs composites ou synthétiques, construits à partir de plusieurs variables (ex. : le niveau d'enclosure des parcelles culturales).

Ces indicateurs sont propres à chaque jeu de données.

3.3. *L'organisation et la structuration des données*

La base de données a été conçue selon la méthode Merise. Elle est caractérisée par trois niveaux : le niveau conceptuel, le niveau logique et le niveau physique. Cette section ne constitue qu'une synthèse « épurée » des deux premiers niveaux. Le dernier niveau sera abordé dans la partie 4.

3.3.1. *Structure de données utilisées*

L'ensemble des couches d'informations vectorielles thématiques (parcellaire, bocage, limite communale, réseau hydrographique) utilisées par le module APaRAD est organisé dans une base de données relationnelle spatiale. Cette base intègre :

- une structure tabulaire standard,
- une structure tabulaire avec une composante géométrique,
- une structure topologique planaire unique (Devogele, 1997).

L'utilité de cette dernière structure est de dériver rapidement certains indicateurs tels que le taux d'enclosure d'une parcelle, la localisation d'une entité bocagère, etc. Grâce à la déclaration des correspondances entre les objets spatiaux, elle évite la redondance d'information en associant les objets homologues (Laurini, 1992). Ce modèle de données, appelé Modèle Topologique Hybride (MTH), est complété par un modèle TIN (Triangular Irregular Network) qui permet d'intégrer la donnée à caractère topographique. Le modèle TIN est construit à partir du jeu de données altimétriques introduit sous la forme d'une grille régulière, de points et ou de lignes de contraintes. Le MTH et le TIN constituent les deux noyaux du modèle conceptuel de données de la base de données utilisée par APaRAD.

3.3.1.1. *Modèle Topologique Hybride*

Le modèle de données topologique hybride (MTH) repose sur trois primitives géométriques : l'arc, le nœud et la région (figure 3). Chaque objet dispose d'un identifiant géométrique unique (gid).

- Un nœud est défini par ses trois composantes X, Y et Z ; il matérialise un point isolé ou l'intersection d'au moins deux arcs.
- Un arc est une succession ordonnée de points, défini par un nœud de départ et un nœud d'arrivée. Lorsque ces deux nœuds sont identiques, l'arc est dit fermé. Un arc connaît la région qui se trouve à sa droite et celle à sa gauche. Il peut être commun à plusieurs entités géographiques issues de couches différentes (un arc peut correspondre à un élément bocager et à une limite de parcelle).
- Une région est délimitée par un ensemble d'arcs formant une surface fermée.

Au MTH sont associés un nom et un système de coordonnées uniques. Le système de projection détermine l'unité de mesure et la précision du modèle : degré, mètre, kilomètre.

3.3.1.2. Le modèle TIN

Le modèle TIN reprend les mêmes principes d'organisation de l'information spatiale autour des trois objets : face (triangle), edge (côté) et vertex (sommet).

La structure est contrainte par les arcs du MTH. Le lien entre les deux modèles est établi grâce aux identifiants gid_MTH (figure 3). Sa structure est inspirée d'un modèle de type graphe RZ topologique (Langlois, 1994).

La structure TIN est utilisée pour exploiter l'information altimétrique. Elle permet notamment de préciser l'influence des structures linéaires sur l'organisation des écoulements de surface. Contrairement à une structure matricielle carrée, elle offre la possibilité de conserver la géométrie d'origine des entités analysées et de s'adapter plus facilement à la morphologie du terrain.

3.3.2. *Implémentation logique du modèle de données*

Les couches géographiques d'entrée du modèle sont associées à des tables avec composantes géométriques (figure 3). De même, chaque primitive du MTH et du TIN est stockée dans une table avec la géométrie correspondante (point, ligne ou polygone). Les différents indicateurs produits (statistiques et spatiaux) sont regroupés dans des tables (structure tabulaire standard) en fonction de leur unité spatiale de référence et d'agrégation. Enfin, toute entité d'une table possède une clé unique (gid) qui permet la réalisation de jointures avec les autres tables du modèle, notamment avec les indicateurs.

Pour chaque jeu de données intégré dans APaRAD, une structure identique à la figure 3 est construite. Les structures sont différenciées par les noms donnés aux tables. Chaque jeu de données donne donc naissance à un modèle de données.

3.3.3. Nomenclature

Pour assurer l'intégrité sémantique de la base de données, nous avons défini une nomenclature générale permettant de qualifier par une codification les objets observés (champ « codeniv » dans la base de données). Elle résulte d'une adaptation des nomenclatures européennes Corine Land Cover et Corine Biotope, du code de la voirie routière et des fiches techniques du RGA. Cette nomenclature a été précisée par les observations de terrain des techniciens de Bassin versant et du Conseil Général des Côtes-d'Armor.

Les codes sont organisés de façon hiérarchique (figure 4). À chaque code est associée une définition. Le renseignement de cette nomenclature est indispensable pour faire fonctionner APaRAD.

codeniv1	définition	codeniv2	définition	codeniv3	définition	codeniv4	définition
2	terres agricoles et paysages artificiels	21	terre arable	211	céréales	2111	avoine
5	eau	51	eau continentale	511	cours et voies d'eau	5111	cours d'eau

Figure 4. Exemple de codes utilisés dans la nomenclature

3.4. Le traitement de l'information

L'information est traitée sur deux niveaux. Le premier exploite les fonctions géométriques du logiciel SIG pour mettre en cohérence les données spatiales de la base de données. Il s'agit d'un formatage qui repose sur la définition de règles topologiques simples. Par exemple, deux entités parcelles d'une même couche (couche parcellaire) ne peuvent se superposer. Le second niveau exploite ces données pour produire à l'aide du module APaRAD, le tableau de bord géographique (figure 5).

rubrique	thème	contenu
diagnostic	Fiche 1: Description générale du territoire	Données générales sur la commune étudiée : aménagement et occupation du sol, occupation humaine
	Fiche 2: Espace de production agricole et structure bocagère	Mise en valeur des caractéristiques du parcellaire agricole et des structures paysagères
	Fiche 3. Fonctions des structures bocagères	État des structures bocagères par rapport aux fonctions écologiques, brise-vent, hydraulique

rubrique	thème	contenu
évolution	Fiche 4. Évolution du territoire	Comparaison diachronique des données générales
	Fiche 5. Évolution de l'espace agricole et des structures bocagères	Analyses comparatives de l'évolution de la matrice agricole
	Fiche 6. Évolution des fonctions des structures bocagères	Analyses comparatives de l'évolution des fonctions du bocage
actions simulations	Fiche 7. Zones actives, zones prioritaires	Définition de zones d'action prioritaires, des fonctions à restaurer localement
	Fiche 8. Simulations locales	Propositions de scénarii d'aménagement des structures bocagères. Cartes de simulation paysagère et de simulation hydraulique

Figure 5. Détail du tableau de bord géographique

Les indicateurs exploités dans ce tableau de bord sont produits au moyen des fonctions d'analyse de données d'un SGBD spatial (Système de Gestion de Bases de Données). Quelques exemples sont détaillés dans la figure suivante (figure 6).

	indicateurs	méthode
Analyse statistique	densité de linéaire bocager sur la commune	Somme des longueurs des entités bocage divisée par l'aire totale de la commune. Les calculs de longueur et de superficie sont réalisés à partir d'opérateurs spatiaux et du langage de requête SQL.
Analyse spatiale classique	nombre d'îlots bâtis	Cet indicateur est déduit de la couche îlots bâtis qui est créée en utilisant la fonction zone tampon (buffer). Une distance de 50 mètres est appliquée aux entités espaces bâtis de la couche parcellaire. Les entités créées sont fusionnées lorsqu'elles se superposent. L'ensemble de ces entités constitue la couche îlots bâtis.
	longueur du bocage potentiellement brise-vent	Pour chaque arc du MTH qui définit un élément bocager on calcule son angle par rapport à une direction de vent dominant. Une tolérance de +/- 10 % par rapport à la perpendiculaire est retenue pour qualifier l'arc de potentiellement brise-vent. Les longueurs sont ensuite sommées.
Analyse spatiale topologique	Longueur des éléments bocagers connectés à un bois	Pour chaque arc du MTH qui définit un élément bocager on vérifie s'il intersecte une entité bois. Si la réponse est vraie alors on remonte itérativement tous les arcs bocagers adjacents au premier. Chaque arc est marqué par un identifiant de réseau. La somme des longueurs des réseaux est ensuite effectuée.
	longueur du bocage potentiellement bloquant par rapport aux écoulements de surface	Somme des longueurs des arcs TIN vérifiant les critères suivants : - arc rattaché à une entité bocage, - arc localement bloquant pour les écoulements (étude de la ligne de plus grande pente de chacun des 2 triangles voisins de l'arc), - arc globalement bloquant pour les écoulements (bloquant si connecté à une cuvette topographique).

Figure 6. Exemple d'indicateurs et méthode de production

La production de certains indicateurs entraîne la création de deux types de couches géographiques supplémentaires au modèle de données :

- un type de couche propre à un seul modèle (exemple de la couche îlots bâtis),
- un type de couche partagée servant de support à des traitements spatiaux diachroniques (couche matrice de comparaison). Cette dernière est notamment utilisée dans le cadre des comparaisons diachroniques des structures du paysage. Il s'agit d'une grille régulière carrée découpant le territoire de la commune en plusieurs unités de 100 mètres sur 100 mètres. Son utilisation vise, d'une part à s'affranchir d'éventuelles erreurs de numérisation (problème de calage entre deux dates) et d'autre part à offrir une vue globale et sectorisée de l'évolution du territoire. Elle permet de faire le lien entre deux modèles de données.

Pour compléter l'approche diachronique, des traitements statistiques classiques sont réalisés entre les tables indicateurs des différents modèles de données (par exemple, différence de longueur de linéaire bocager entre deux dates).

4. Implémentation du SIG : une architecture modulaire open source

4.1. Des applications open source...

L'utilisation de solutions propriétaires (ArcView, MapInfo) pour l'implémentation du SIG « Paysages bocagers » nécessite l'acquisition d'extensions dédiées à l'analyse spatiale, aux traitements topologiques et à la publication de rapports. Or le coût d'équipement avec de tels systèmes devient rapidement limitant pour une utilisation par de petites collectivités notamment.

Cependant, depuis quelques années, de plus en plus de « logiciels libres »³ font leur apparition dans le domaine des Systèmes d'Information (SI), notamment géographiques. Ces applications souvent gratuites constituent une réelle alternative aux logiciels propriétaires du marché et offrent, avec l'ouverture du code source, une plus grande flexibilité aux concepteurs, pour l'organisation et la spécialisation de leur SI. Les plus connus sont GRASS, MapServer, SPRING, JUMP ou Gdal.

L'implémentation du SIG « Paysages bocagers » repose sur l'association de trois de ces produits que nous présentons brièvement :

- le SGBD PostGreSQL, muni de son extension spatiale PostGIS (Ramsey, 2003),
- l'application SIG JUMP (Java Unified Mapping Platform; Davis, 2004),
- l'API⁴ Java d'édition de rapport Jasper Reports.

Le module PostGIS étend les fonctionnalités du SGBD PostGreSQL en intégrant un schéma relationnel étendu et des opérateurs spatiaux pour l'intégration et la

³ L'expression « logiciel » libre fait référence à la liberté pour les utilisateurs d'exécuter, de copier, de distribuer, d'étudier, de modifier et d'améliorer le logiciel.

⁴ Application Programming Interface : bibliothèque de structures et de fonctions pré-compilées pouvant être incorporées dans un programme tiers.

manipulation des données géographiques. Cette structure autorise le stockage de l'ensemble des données du SIG (données spatiales et sémantiques, MTH, TIN et indicateurs) dans une même base.

Le stockage de l'information spatiale est réalisé via l'ajout d'une colonne de type « geometry » (*the_geom*) au schéma relationnel classique. Ce format de stockage associe forme de la géométrie et système de projection (figure 7).

gid	codeniv1	codeniv2	...	the_geom
0	2	22	...	SRID=-1;POLYGON((183066.9642...
1	2	23	...	SRID=-1;POLYGON((182925.9979...
2	1	11	...	SRID=-1;POLYGON((182640.1590...

Figure 7. Exemple de table PostGIS : stockage des attributs, de la géométrie d'une entité géographique (*the_geom*) et de son système de projection associé (SRID) au sein d'un même enregistrement

Contrairement à des systèmes comme ArcSDE (distribué par la société ESRI), l'extension PostGIS est simple d'exploitation puisqu'elle ne s'appuie que sur deux tables particulières :

- *geometry_columns* : super table pour la gestion des colonnes contenant la géométrie,
- *spatial_ref_sys* : table de référence des différents systèmes de projection.

L'utilisation de JUMP dans le SIG s'explique par plusieurs raisons. Tout d'abord, son interface conviviale (figure 8) proche de celle d'ArcView, en fait un outil assez intuitif pour des utilisateurs novices. Ensuite, JUMP permet une numérisation et une correction aisées des données vectorielles grâce aux fonctionnalités de la bibliothèque JTS (Java Topology Suite). Enfin, entièrement écrit en Java, son architecture a été pensée pour faciliter l'intégration d'extensions sous la forme de plugins. Cet aspect permet de fondre totalement le module APaRAD dans l'interface de JUMP.

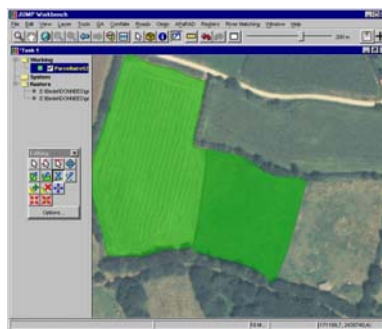


Figure 8. Interface de l'application SIG JUMP

L'API Jasper Reports est utilisée pour produire les fiches du tableau de bord au format pdf et html. Pour chaque fiche, un squelette vide (arbre XML) a été défini. Lors de l'édition du tableau de bord, les différents squelettes sont complétés avec les indicateurs stockés dans le SGBD et les cartes produites sous JUMP.

4.2. ... pour une architecture modulaire et inter-opérable

Chacun de ces éléments constitue une brique du SIG coordonnée par le module APaRAD (figure 9).

Ce module fournit à l'utilisateur l'interface lui permettant d'intégrer les données spatiales dans le MTH, de paramétrer la production du TIN et de choisir les indicateurs à calculer et à publier dans le tableau de bord.

L'architecture du SIG « Paysages bocagers » en fait un système ouvert. Il est en effet possible de connecter d'autres applications au SGBD pour exploiter directement le MTH, ou récupérer les indicateurs sous forme numérique par exemple. De même, il est parfaitement envisageable d'utiliser JUMP pour rapatrier des données déjà organisées sur un serveur existant.

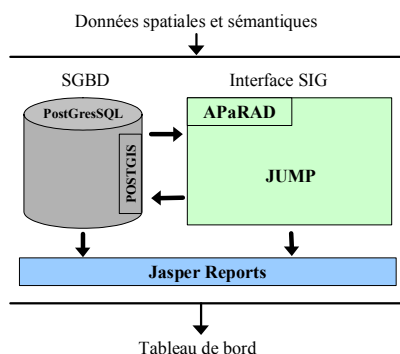


Figure 9. L'architecture du SIG « Paysages bocagers »

5. Exemple d'application

L'élaboration de l'outil s'est appuyée sur le cas d'une commune des Côtes-d'Armor, Quemper-Guézennec, située à une quinzaine de kilomètres du littoral, au nord-ouest du département. Celle-ci est représentative des évolutions connues dans les communes rurales de Bretagne, bien qu'elle n'ait pas subi d'opération officielle de remembrement.

5.1. *Données utilisées*

Deux séries de photographies aériennes au 1/25 000 de l'IGN datant de 1952 et de 1998 ont été utilisées pour numériser les couches parcellaire et bocage. Ces deux séries ont été géoréférencées sur le scan 25 (IGN) et calées entre elles (pas d'orthorectification). Les données altimétriques (courbes de niveau) ainsi que le réseau hydrographique ont été acquis à partir du scan 25. Les différentes entités de ces couches ont été renseignées en respectant la nomenclature d'APaRAD.

5.2. *Résultats*

Ne pouvant exposer des résultats exhaustifs, nous présentons dans cette partie quelques éléments qui concernent notamment l'organisation du territoire communal, les structures agraires et bocagères. Le commentaire qui y est associé n'a pour objectif que de montrer les potentialités de l'outil présenté dans cet article.

5.2.1. *Fiche 1 : Description générale du territoire*

Cette fiche dresse un rapide portrait du territoire étudié et concerne notamment la population, sa répartition, les infrastructures de communication et l'occupation du sol. Nous n'en retenons ici que quelques points.

D'après le recensement de 1999, la population de la commune de Quemper-Guézennec s'élève à 1018 habitants ; ce qui représente une densité relativement faible pour la région de 44 habitants au kilomètre carré. Le traitement par APaRAD montre, qu'en dehors d'une concentration en centre bourg, l'habitat, s'organise autour de hameaux dispersés, regroupés en 87 îlots bâtis. L'essentiel des infrastructures de communication est constitué par les routes de niveau communal (43 % du réseau routier). Avec près de 45 kilomètres, les chemins ruraux représentent 35 % de ce réseau en 1998. Enfin, comme le montre la figure 10, l'agriculture détient un rôle majeur dans l'organisation de ce territoire : la surface en parcelles culturales représente plus de 75 % des 2308 hectares de la commune.

5.2.2. *Fiche 2 : Espace de production agricole et structure agraire*

L'espace agricole de la commune, qui compte 49 exploitations recensées en 2000, est en partie constitué de 1488 parcelles culturales d'une superficie moyenne de 1,2 hectare. En 1998, seuls 16 % de ces parcelles font plus de 2 hectares bien qu'elles représentent près de 51 % de la superficie en culture. On observe quelques très grandes parcelles de culture : 7 mesurent plus de 10 hectares, et une atteint les 15 hectares.

La figure 11 montre que près de 68 % de l'espace mis en culture est accessible par un réseau asphalté, c'est-à-dire de niveau départemental ou communal, ce qui représente 58 % des parcelles.

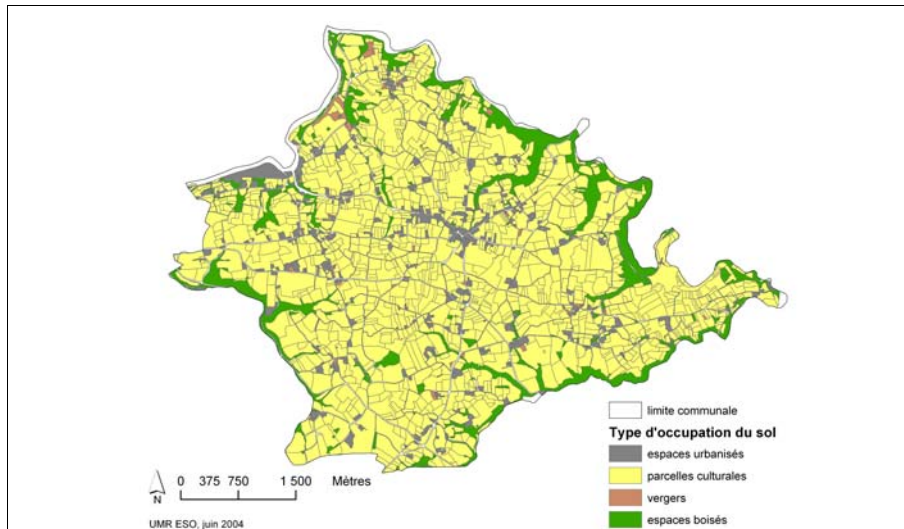


Figure 10. Occupation du sol en 1998

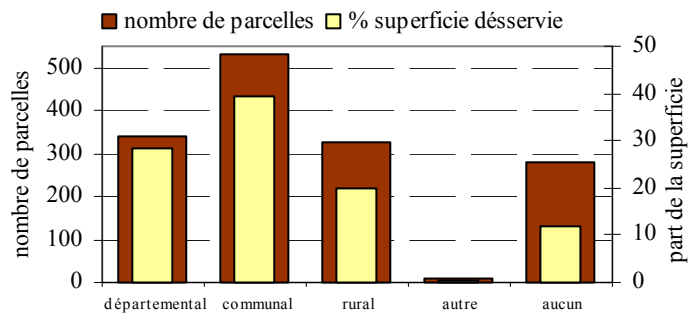


Figure 11. Répartition du parcellaire selon le niveau de desserte en 1998

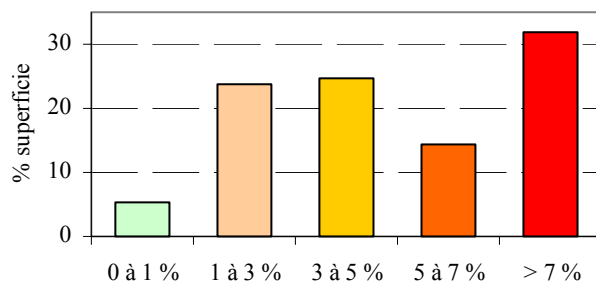


Figure 12. Répartition de la superficie selon les pentes dominantes des parcelles en 1998

Si l'accès aux zones de culture est relativement aisé, le caractère vallonné du territoire – observable grâce au TIN et au classement des pentes dominantes par parcelle (figure 12) réalisé par APaRAD – peut laisser supposer quelques gênes lors des travaux agricoles : 32 % des parcelles ont une pente dominante supérieure à 7 %. À cette difficulté, s'ajoutent les risques liés au ruissellement qui sont potentiellement forts. En effet, en 1998, d'après les critères utilisés dans les bassins versants pour le classement des parcelles à risques, plus de 46 % des parcelles de la commune peuvent être considérées comme présentant un risque fort pour la pollution des eaux superficielles par les produits phytosanitaires et les déjections animales ; ceci du fait de leur localisation sur des pentes supérieures à 5 %.

En 1998, la commune compte plus de 281 kilomètres de linéaire bocager ; ce qui représente une densité de bocage encore relativement élevée de 122 mètres par hectare. Concernant la localisation du linéaire, notons simplement deux chiffres : 38 % de celui-ci est situé sur des pentes supérieures à 5 % et 43 % sépare des parcelles culturales. Ainsi, près de 53 % des parcelles, équivalant à la moitié de la superficie culturale, sont encloses sur plus de 70 % de leur périmètre. Comme l'indique aussi la figure 13, les parcelles bénéficiant de ce fort taux d'enclosure sont majoritaires, quelle que soit la classe de taille, même si leur part diminue légèrement après 2 hectares.

5.2.3. Fiche 3 : Fonctions des structures bocagères

Cette fiche présente trois des fonctions dévolues aux structures bocagères. Les fonctions micro-climatique, anti-érosive et biologique y sont exposées par l'intermédiaire de cartes et de tableaux statistiques.

Concernant la première fonction, il apparaît qu'en 1998 seul 16 % du linéaire bocager, par son orientation, est susceptible d'assurer une fonction de protection contre les vents d'ouest, dominants dans cette zone.

Directement liée aux préoccupations quant à la qualité de l'eau, la fonction anti-érosive du bocage est perçue par les caractéristiques de son implantation. Même si la localisation du linéaire bocager ne permet pas de noter une relation stricte entre l'implantation du bocage et la topographie de la commune, l'analyse montre que 60 % du linéaire bocager est susceptible d'avoir une efficacité contre le ruissellement ; sa localisation est représentée sur la figure 14.

Toute aussi liée que les précédentes à l'activité de production agricole, la fonction biologique du bocage s'inscrit dans le thème de la biodiversité faunistique et floristique. Deux facteurs sont particulièrement favorables à la biodiversité : la longueur des réseaux et leur connexion. Les traitements obtenus avec APaRAD indiquent qu'en 1998 63 % du réseau bocager est connecté à une parcelle boisée. Parmi les 487 réseaux bocagers dénombrés à cette date, le plus long mesure 4,4 kilomètres. La carte des réseaux bocagers connectés au bois (figure 15) montre un plateau central nettement dégarni ; l'activité agricole et le mitage par les zones

bâties n'y sont pas étrangers. Dans les vallons, le nombre d'éléments connexes au bois reste élevé même si les longueurs de réseaux sont généralement faibles.

5.2.4. *Fiche 4 : Évolution générale du territoire*

Après un diagnostic statique, les trois fiches suivantes permettent d'observer les transformations majeures subies par le territoire. Le traitement diachronique utilise des indicateurs identiques à la première partie auxquels s'ajoutent des cartes de synthèse. Pour notre cas d'application, nous avons choisi les années 1952 et 1998, dates les plus éloignées pour lesquelles nous disposions des photographies aériennes.

Entre ces deux années, les superficies destinées à la construction et au boisement se sont accrues d'une centaine d'hectares au détriment de l'espace agricole. L'augmentation de la part des surfaces bâties de 2,5 points tient en partie à la densification du bourg et à de nouvelles constructions en campagne. De fait, elle conduit à une diminution de l'isolement par la jonction des zones bâties. L'extension des surfaces boisées de 30 % correspond aux plantations réalisées dans quelques anciennes parcelles culturales ou prairies situées en fond de vallées et à l'évolution de landes et de terrains peu accessibles vers la friche et le boisement spontané.

Si les routes de niveau départemental ou communal n'ont que très peu évolué, il n'en est pas de même des chemins ruraux. En effet, très développés en 1952, puisqu'ils représentaient 50 % du réseau routier, leur longueur s'est réduite de près de la moitié par rapport à 1998, soit une perte d'environ 35 kilomètres. Ces chemins, qui desservaient plus du tiers des parcelles en 1952 (soit près de 1060), ont été parfois intégrés aux parcelles culturales.

5.2.5. *Fiche 5 : Évolution de l'espace agricole et des structures bocagères*

D'après les recensements agricoles, entre 1955 et 2000, 73 % des exploitations ont disparu. Cette chute explique certainement la multiplication par deux de la superficie moyenne des parcelles cultivées, qui n'était que de 60 ares en 1952.

L'augmentation des superficies s'est logiquement accompagnée d'une réduction de moitié du nombre des parcelles et une meilleure desserte par les voies départementales et communales. En 1998, celles-ci desservent 284 hectares de plus qu'en 1952.

De l'agrandissement des parcelles résulte logiquement la disparition d'environ 21 % du linéaire bocager entre 1952 et 1998 – soit 76 kilomètres – que l'on peut également traduire par une perte de 35 mètres par hectare. La figure 16, qui utilise la méthode des mailles carrées, dresse le bilan de la restructuration bocagère de ce territoire.

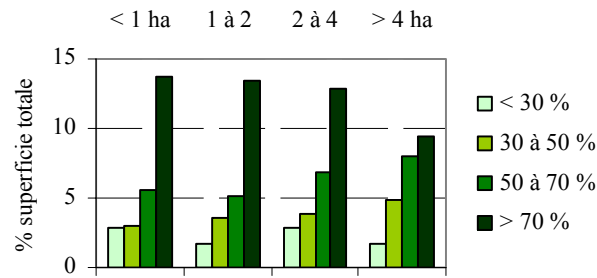


Figure 13. Superficie selon l'enclosure et la taille des parcelles en 1998

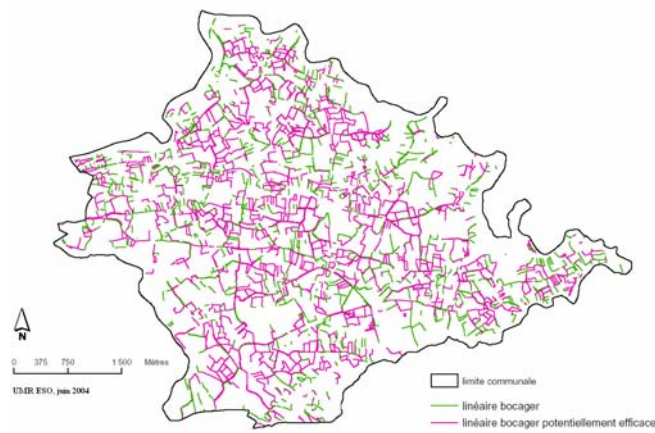


Figure 14. Linéaire potentiellement efficace contre le ruissellement en 1998

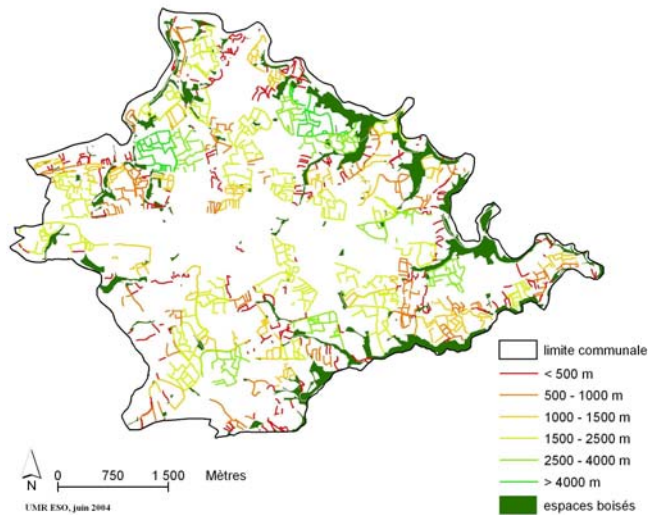


Figure 15. Répartition et longueur des réseaux connectés au bois en 1998

À une plus grande échelle, on peut également noter une diminution de la part du bocage servant à séparer des parcelles culturales contiguës (moins 10 points), même si cette fonction reste majoritaire. Le linéaire situé en limite des zones bâties s'est quant à lui accru : il concerne plus de 10 % du linéaire en 1998 quand cette part atteignait à peine les 2 % en 1952. Ce chiffre s'explique par l'augmentation du nombre des zones bâties mais surtout par le développement des haies d'ornement ou d'intégration paysagère.

Plus préoccupante, la refonte du parcellaire s'est traduite par une plus forte sensibilité au ruissellement, et ce pour deux raisons. D'une part, la proportion des superficies dont la pente dominante est supérieure à 5 % s'est accrue de 10 points. On voit ici une des conséquences de l'agrandissement de parcelles qui comptent alors des versants plus longs et une part de pentes plus fortes. D'autre part, 43 % du linéaire total ayant disparu était localisé sur des pentes supérieures à 5 % et en majorité sur celles supérieures à 7 %.

Enfin, malgré la diminution du linéaire bocager, le niveau d'enclosure s'est paradoxalement amélioré entre les deux dates, passant de 41 % à 53 % des parcelles entourées à plus de 70 %. En dehors des erreurs possibles de numérisation, imputables à la qualité des photographies aériennes de 1952 en noir et blanc, cette progression résulte en partie de la disparition d'un grand nombre de petites parcelles mal encloses. Les nouvelles grandes parcelles sont généralement bien ceintées.

5.2.6. *Fiche 6 : Évolution des fonctions des structures bocagères*

Des constats qui précèdent, il est aisé de déduire que les fonctions du bocage ont été atteintes par la modification de la structure parcellaire.

Ainsi, l'analyse montre que près de 100 kilomètres de linéaire potentiellement efficace contre le vent dominant ont disparu. Notons que 40 % du linéaire bocager était susceptible d'assurer cette fonction de protection en 1952.

L'augmentation de la proportion de parcelles concernées par des pentes plus fortes et la forte diminution des talus sur ces mêmes pentes ont réduit de 40 kilomètres le linéaire bocager anti-érosif, accroissant ainsi la sensibilité au ruissellement. Le bilan dressé par bassins versants (figure 17) permet d'ailleurs de mieux cibler les espaces en fortes mutations et s'avérera des plus utiles pour la troisième rubrique du tableau de bord (que nous n'abordons pas dans cette contribution).

Les impacts sur la fonction biologique du bocage sont divers. En passant de 1000 à 480 réseaux, le réseau bocager a perdu plus de la moitié de ses éléments. La longueur du réseau le plus long du territoire, qui était de 11,2 kilomètres en 1952, n'est plus que de 4,4 kilomètres en 1998. Par contre, il est intéressant de remarquer qu'à cette date plus de 63 % du linéaire bocager est connecté à un bois contre seulement 47 % en 1952.

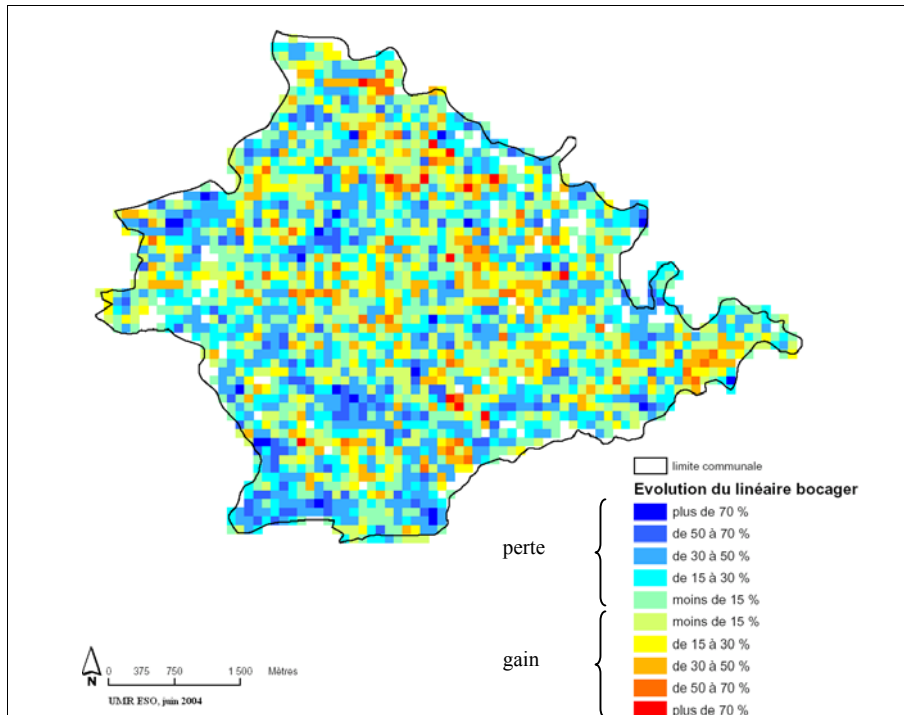


Figure 16. Évolution de la densité du bocage entre 1952 et 1998

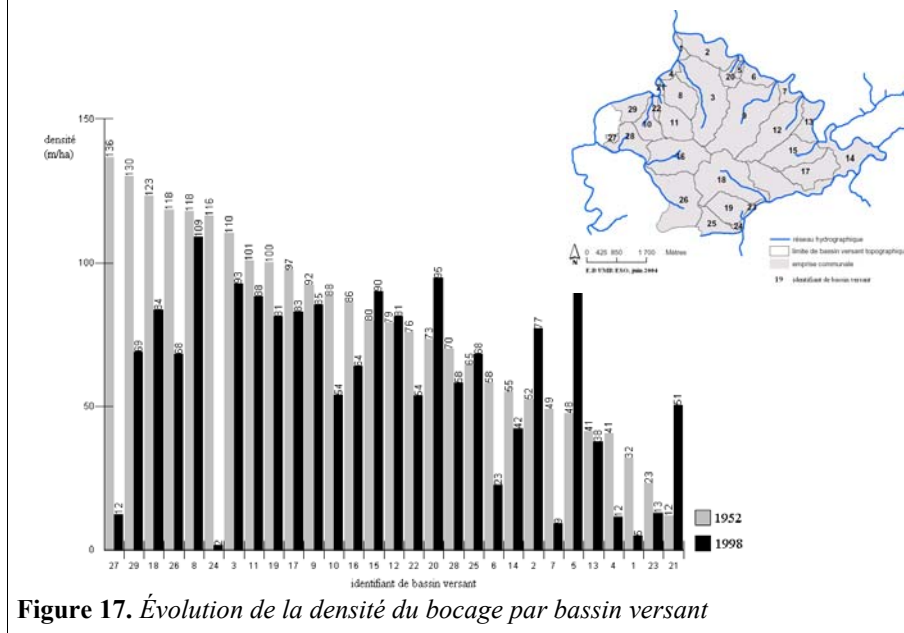


Figure 17. Évolution de la densité du bocage par bassin versant

Par ailleurs, on constate une augmentation de la longueur moyenne des unités spatiales élémentaires du bocage de 36 à 58 mètres, certainement due à l'agrandissement des parcelles. Paradoxalement, la fonction biologique semblerait mieux assurée en 1998 qu'en 1952, si nous ne prenions pas en compte la moindre densité bocagère et le caractère plus inégal du maillage.

L'ensemble des transformations constatées dans cette commune des Côtes-d'Armor et rendues visibles par le module APaRAD rappelle l'extrême dépendance entre l'évolution de l'agriculture et l'évolution du paysage. L'agrandissement des parcelles cultivées a entraîné une réorganisation des structures agraires. Toutefois, il faut souligner que ces modifications ne sont pas uniformes et qu'elles ne sont pas excessives. La commune n'ayant pas subi de remembrement, les structures anciennes n'ont pas été entièrement transformées. Les informations contenues dans les six premières fiches sont ensuite synthétisées pour élaborer automatiquement des priorités d'intervention et des simulations. Le développement de cette partie de l'outil n'étant pas achevé, nous avons choisi de ne pas aborder la troisième rubrique du tableau de bord.

6. Conclusion

Nous avons présenté ici la mise en place d'un outil dédié à l'analyse des paysages bocagers de l'Ouest de la France et à l'aide à la décision.

La composante principale du SIG « Paysages bocagers », le module APaRAD, permet de coupler méthodes d'analyse du paysage et fonctionnalités d'un SIG au sein d'une même interface. Les indicateurs ont été choisis en fonction des avancées et des connaissances scientifiques sur les rôles du bocage, dans le but de produire une information agrégée et synthétique facilement utilisable par les décideurs et gestionnaires au sein des collectivités territoriales pour appréhender la complexité des territoires ruraux par exemple lors des aménagements fonciers ou l'établissement des Plans Locaux d'Urbanisme (PLU).

L'application du dispositif sur la commune de Quemper-Guézennec s'est révélée essentielle pour l'ajustement et la validation des méthodes de production des indicateurs, dont simplement une partie a été exposée dans cet article. Les résultats obtenus démontrent déjà l'utilité de l'outil dans sa fonction d'analyse.

La finalité du système étant l'aide à la décision, les prochaines étapes s'attacheront à valider les cartes et résultats par un comité d'experts, à enrichir le module APaRAD de fonctions de simulation et à tester l'outil auprès de quelques collectivités. Ne perdons toutefois pas de vue que le SIG « Paysages bocagers » reste un outil d'accompagnement et qu'il ne peut en aucun cas se substituer à la dimension humaine d'analyse et de prise de décision.

7. Bibliographie

- Antoine A., *Le paysage de l'historien – Archéologie des bocages de l'Ouest de la France à l'époque moderne*, PUR, Collection Histoire, Rennes, 2002.
- Aquino J., *Jump : The Unified Mapping Platform, Developer's guide*, Vivid solutions, 2003, 33 p., disponible à l'URL : <http://www.jump-project.org>
- Baudry J., Acx A.-S., *Écologie et friches dans les paysages agricoles*, Ministère de l'Environnement, Paris, 1993.
- Baudry J., Jouin A., *De la haie aux bocages. Organisation, dynamique et gestion*, Ministère de l'Écologie et du Développement durable, INRA Paris, 2003.
- Bommel P., Lardon S., « Un simulateur pour explorer les interactions entre dynamiques de végétation et de pâturage », *Revue internationale de géomatique*, vol 10, n°1, 2000, p. 107-130.
- Bordin P., *SIG : concepts, outils et données*, Lavoisier, 2002.
- Burel F., Baudry J., *Écologie du paysage, concepts, méthodes et applications*, Éditions Tec et Doc, Paris, 1999.
- Canévet C., « Les mutations de l'espace rural », *Noréis*, tome 27, n°105, 1980, p. 6-18.
- DATAR, *Schéma de services collectifs des espaces naturels et ruraux*, Édition des journaux officiels, Paris, avril 2002.
- Davis M., *JUMP Unified Mapping Platform Technical Report*, 2004, consultable à l'URL : <http://www.jump-project.org> (19/04/2004).
- Devogele T., *Processus d'intégration et d'appariement de Bases de Données Géographiques - Application à une base de données routières multi-échelles*, Thèse de doctorat en méthodes informatiques, IGN, Versailles, 1997.
- Ettarid M, Barkane F, Bouhajla J, Nasseridine A, *Contribution à la mise en place d'un observatoire de l'aménagement du territoire*, 2nd FIG Regional Conference, Marrakech, Maroc, décembre, 2003.
- Flatrès P., « L'évolution des bocages : la région de Bretagne », *Noréis*, tome 26, n°103, 1979, p. 303-320.
- FSF, *Définition du logiciel libre*, Free Software Fondation, site officiel, consultable à l'URL : <http://www.fsf.org/philosophy/free-sw.fr.html> (19/04/2004).
- Gayte O., Libournel T., Cheylan J.-P., Lardon S., *Conception des systèmes d'information sur l'environnement, collection géomatique*, Hermes, Paris, 1997.
- Gilg J. P., « Photographie aérienne et espace rural », *Études rurales*, 1972, p. 71-72.
- Hydram, *Projet AGICE (Agriculture et Gestion Intégrée du Contexte Environnemental)*, École Polytechnique fédérale de Lausanne, Résumé du rapport intermédiaire, mai 2001, 9 p., consultable à l'URL : <http://hydram.epfl.ch/labo/amen/AGICE.htm> (19/06/2004).
- IDF (Institut pour le développement forestier), *Les talus du bocage*, IDF Diffusion, Paris, 1995.

- J.O. n°158 du 10 juillet 1999, Loi n°99-574 du 9 juillet 1999 d'orientation agricole, p.10231.
- Joliveau T., « Les systèmes d'information géographique pour gérer les territoires et l'environnement », *Revue de Géographie de Lyon*, vol 2, n°71, 1996, p. 101-110.
- Langlois P., « Formalisation des concepts topologiques en géomatique », *Revue internationale de géomatique*, vol 4, n° 2, 1994, p.181-205.
- Laurini R., Thompson D., *Fundamentals of Spatial Information Systems*, Academic Press, London, 1992.
- Meynier A., « Signification et évolution du bocage », *Cahiers de l'Information Géographique*, suppléments n°3 à 5, Paris, 1952, p. 37-46.
- Ramsey P., *PostGis Manual*, 2003, 40 p., consultable à l'URL : <http://postgis.refractions.net/docs/postgis.pdf> (10/04/2004)
- Triboulet P., « Apports et limites de la cartographie statistique dans une démarche de développement territorial », *Revue internationale de géomatique*, vol 11, n°2, 2001, p. 159-176.
- Vanpouille L., Cariou S., « Paysage. Bocage. Mécanisation », FNCUMA, FNCAUE, Paris, extrait d'étude, 40 p., mai 1998.