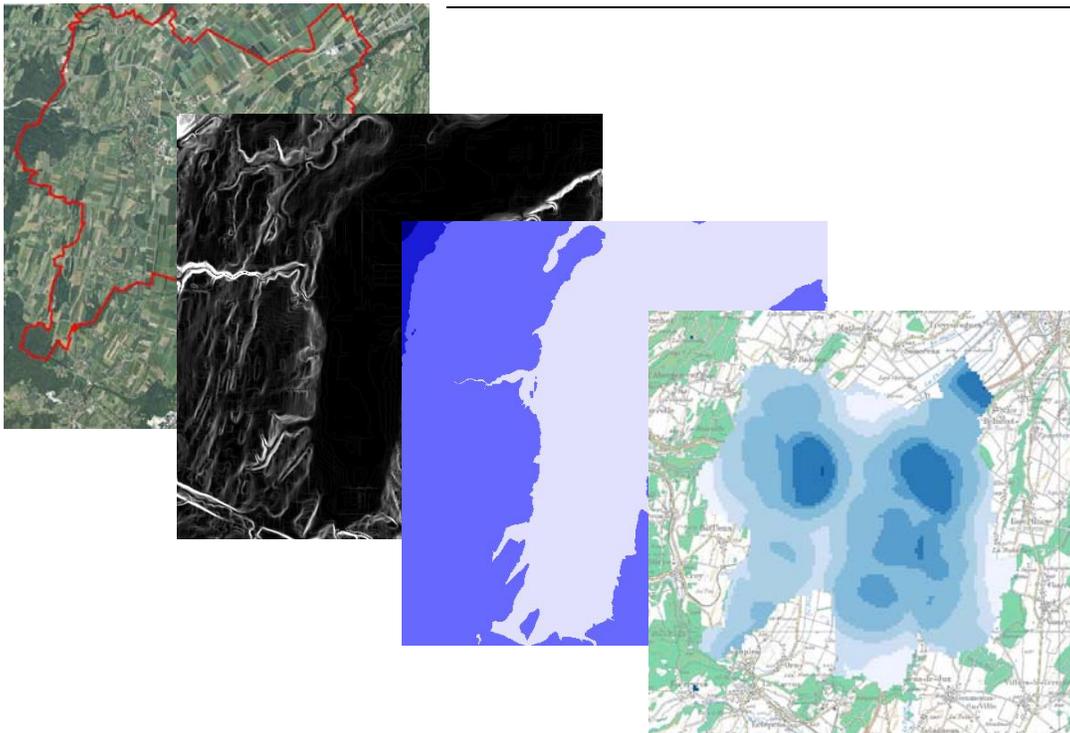


Projet de master

Sciences et ingénierie de l'environnement

Evaluation de la qualité de sites pour l'habitat à travers la
création de profils du territoire



Lausanne, mars 2006 – juillet 2006

Candidat : Yann Mattenberger

Encadrement scientifique:

Régis Caloz
EPFL - Laboratoire des Systèmes d'information géographique
Joël Chétellaz
Collaborateur externe

Prologue

L'objectif de ce projet de master est de développer un outil SIG offrant la possibilité de quantifier et de visualiser l'attractivité du territoire. Ceci afin de rendre les décisions prises en relation avec le territoire plus aisées. Le présent rapport introduit tout d'abord la problématique abordée, quelques notions d'aménagement du territoire nécessaires à la compréhension du problème et une brève revue sur les SIG. Le second chapitre introduit l'approche contextuelle du développement des variables. Il s'agit de la phase de modélisation du processus à analyser, à savoir : le territoire et son attractivité. Ainsi les données nécessaires à l'établissement des variables sont mises en évidence. Il est donc possible de déterminer lesquelles sont réalisables, en fonction de la disponibilité des données. Une zone d'étude est définie afin de mettre en pratique les concepts développés au cours de ce projet. Le contenu du chapitre 3 définit cette zone et ses limites. Le chapitre 4 décrit le processus de création de la base de données, ainsi que les variables, critères et l'indicateur qui en découlent. Cette étape est tout d'abord introduite par une brève présentation des logiciels utilisés, suivi du développement de chaque variable. Finalement, ce chapitre est clos par le développement des méthodes de pondération utilisées afin d'agréger les variables entre-elles. La dernière étape du projet consiste à établir une interface rendant accessibles pour l'utilisateur les informations acquises et déterminées au cours de l'étude. La réalisation et la structuration de cette interface sont décrites dans le chapitre 5. Une conclusion vient clore cette étude alors que les perspectives de développement sont consignées au chapitre 4 traitant des aspects techniques du projet.

Mots-clés : Système d'information géographique, aménagement du territoire, attractivité, plan directeur cantonal, indicateur, développement durable, mobilité, pondération, interface.

TABLE DES MATIERES

1	INTRODUCTION	6
1.1	SUJET	6
1.2	NOTION D'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE.....	8
1.3	THEMATIQUE DES PROFILS DU TERRITOIRE	10
1.4	SIG (SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE).....	11
2	INDICATEUR.....	13
2.1	INTRODUCTION ET NOMENCLATURE	13
2.2	MULTI CRITERE VERSUS MULTI OBJECTIF.....	13
2.3	DEMARCHE	14
2.4	PREMIERE ESQUISSE	15
2.5	VOLONTE POLITIQUE VERSUS ATTRACTIVITE	15
2.6	PROBLEMATIQUES ABORDEES	16
2.6.1	ASPECT LEGAL (VOLONTE POLITIQUE)	16
2.6.2	MOBILITE.....	16
2.6.3	SOCIAL.....	17
2.6.4	ECONOMIE	17
2.6.5	PAYSAGE	17
2.6.6	ENVIRONNEMENT	18
2.7	DEVELOPPEMENT DURABLE ET VARIABLES.....	18
2.8	DONNEES.....	19
2.8.1	SOURCE.....	19
2.9	VARIABLES DEFINITIVES	21
2.9.1	CONTRAINTES POLITIQUES	21
2.9.2	CRITERES D'ATTRACTIVITE.....	22
2.9.3	Liste des variables definitives.....	23
	Stabilité du sol	23
	Eaux souterraines.....	23
	Humidité	23
	Marécage	23
	Température.....	23
	Ensoleillement	24
	Vue.....	24
	Pente	24
	Orientation	24
	Stratification démographique.....	24
	Sécurité	24
	Mobilité, pendularité	25
	Mobilité, accessibilité.....	25
	Proximité des arrêts de bus	25
	Taux imposition.....	26
	Emplois.....	26
	Densité arrêts bus.....	26
2.10	SYNTHESE	26

<u>3</u>	<u>ZONE D'ETUDE</u>	<u>28</u>
3.1	DETERMINATION DU SITE	28
3.2	DETERMINATION DE LA ZONE	28
<u>4</u>	<u>SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE</u>	<u>30</u>
4.1	LOGICIELS UTILISES	30
4.2	BASE DE DONNEES	30
4.3	REALISATION DE VARIABLES, CRITERES ET INDICATEUR	31
4.3.1	DEMARCHE	31
	Marche à suivre	31
	Unité de référence des variables, critères et indicateur	32
4.3.2	ELABORATION DES VARIABLES	33
4.3.3	VARIABLES	34
	Densification	34
	Eaux souterraines	35
	Humidité	36
	Température	37
	Ensoleillement	38
	Pente	38
	Vue	39
	Stratification démographique	40
	Sécurité	42
	Mobilité, accessibilité	42
	Proximité arrêt bus	45
	Densité arrêt bus	46
	Taux imposition	46
	Emplois	47
	Mobilité, pendularité	47
4.3.4	CONTRAINTES	48
	Zone d'étude	48
	Stabilité du sol	48
	Marécage	48
	Affectation (Zone à bâtir)	48
	Eaux souterraines	49
	Humidité	49
4.4	PONDERATION (MULTI-CRITERES VS MULTI-OBJECTIFS)	49
4.4.1	METHODE DE PONDERATION	49
4.4.2	METHODE OWA	52
4.4.3	RESULTATS	55
4.5	PERSPECTIVES	56
<u>5</u>	<u>INTERFACE D'UTILISATION</u>	<u>59</u>
5.1	INTRODUCTION	59
5.2	REALISATION, STRUCTURATION	59
5.2.1	STRUCTURE GRAPHIQUE	59
5.2.2	SIGNALETIQUE UTILISEE	60
5.2.3	HIERARCHIE	60
5.3	CONTENU ET UTILISATION	61
<u>6</u>	<u>CONCLUSION</u>	<u>63</u>

7	<u>REMERCIEMENTS.....</u>	66
8	<u>LEXIQUE</u>	67
9	<u>BIBLIOGRAPHIE.....</u>	68
10	<u>ANNEXES.....</u>	70
10.1	ANNEXE 1 : RESULTAT DU BRAINSTORMING	70
10.2	ANNEXE 2 : TABLEAU DES METADONNEES	71
10.3	ANNEXE 3 : LISTE COMPLETE DES VARIABLES	76
10.4	ANNEXE 4 : DETERMINATION DES COMMUNES APPARTENANT A LA ZONE D'ETUDE.	77
10.5	ANNEXE 5 : REQUETE VBS.	78
10.6	ANNEXE 6	79
10.7	ANNEXE 7	81
10.8	ANNEXE 8 : SCRIPTE OPTIMAL ROUTE.....	84
10.9	ANNEXE 9 : CARTES D'EVALUATION DES CRITERES	86

1 Introduction

1.1 Sujet

L'aménagement du territoire est un enjeu primordial de notre société. Son organisation affecte la vie de chaque individu et notre futur est intimement lié à son évolution. Toutefois, depuis plus de 30 ans, les politiques ont pris conscience de l'importance du territoire et de la nécessité de légiférer dans ce domaine. Il est cependant extrêmement complexe d'établir des pronostics sur le développement de notre société et du territoire dont elle dispose. Dans cette perspective les politiques doivent prendre des décisions sur le territoire, déterminer quelles zones sont destinées à accueillir la population et quelles zones ne le sont pas. Cette démarche relève d'un nombre de facteurs très élevés et extrêmement complexes. D'un point de vue extérieur, le territoire semble s'organiser par lui-même. Cette utopie est peut-être partiellement justifiée par le découpage naturel du territoire que l'homme tente généralement de maintenir. Toutefois, l'organisation du territoire est minutieusement régulée à tous les niveaux politiques, de la confédération jusqu'aux communes qui garde un large pouvoir de décision. Ces décisions dépendent de facteurs sociaux, économiques et environnementaux, il est dès lors difficile de gérer leurs interactions et leurs issues. Il arrive parfois que la volonté politique ne coïncide pas avec les souhaits de la population. Qu'un territoire donné soit destiné à l'habitat par les politiques et que ce dernier ne soit pas considéré comme attirant par la population. Dans de tels cas on remarque nettement le fossé entre les volontés politiques et les désirs des concitoyens. Les questions qui se posent sont donc :

Comment définir au mieux les zones constructibles, vouées à l'habitat ? Comment tenir compte à la fois des facteurs politiques et des souhaits de la population ?

Afin de fournir un élément de réponse à cette problématique, le sujet de ce projet de master est l'établissement de profils du territoire. Un profil étant en quelque sorte une carte de visite d'un lieu. Il s'agit donc d'extraire un maximum d'informations sur ce lieu afin de permettre une prise de décision éclairée. Ces informations sont de natures très différentes, elles regroupent d'une part les volontés politiques et d'autre part les souhaits de la population. De nombreuses variables rentrent en considération dans la détermination de ces profils. Afin de les rendre plus pertinentes et plus parlantes, elles ont été agrégées en critères et finalement en un unique indicateur d'attractivité généralisé. Il est évidemment extrêmement difficile de faire preuve de l'exhaustivité nécessaire à l'établissement d'un tel indicateur. L'ensemble des variables, critères et indicateurs sera finalement mis à disposition de l'utilisateur à travers la création d'une interface,

permettant à ce dernier de visualiser lui-même les parties du territoire qu'il souhaite analyser en recourant aux informations qui lui sont nécessaires. Cette interface se veut donc être un miroir du territoire vu au travers des différentes variables sélectionnées, une carte d'identité du territoire considéré.

1.2 Notion d'aménagement du territoire

<p>CONFEDERATION</p> <p>OFAT (Office Fédéral de l'Aménagement du Territoire), département de justice et police</p> <p><i>Tâches :</i></p> <ul style="list-style-type: none">• Bases légales générales• Politique d'organisation du territoire de la confédération• Conception et plan sectoriel de la confédération• Coordination avec les cantons et acceptation des plans directeurs cantonaux• Coordination avec l'étranger <p>CANTON</p> <p>Service spécialisé, dpt des travaux publics, du territoire, evt. de l'économie publique</p> <p><i>Tâches :</i></p> <ul style="list-style-type: none">• Bases légales cantonales• Plans directeurs cantonaux et evt. Plans d'affectation cantonaux• Acceptation des plans directeurs communaux et des plans d'affectations• Autorisation de construire (selon législation cantonale) <p>COMMUNE</p> <p>Les plus grandes communes possèdent un service spécialisé</p> <p><i>Tâches :</i></p> <ul style="list-style-type: none">• Plans directeurs communaux• Plans d'affectation et plans de quartier (ou de détail)• Règlements de construction• Autorisation de construire (selon législation cantonale)

Depuis plus de 30 ans les autorités politiques de notre pays ont pris conscience de la nécessité d'établir une cohérence au sein du développement territorial. Cette démarche s'échelonne sur les 3 grands niveaux politiques qui constituent la confédération Helvétique. Ainsi la confédération établit les grandes lignes du développement national dans ses plans sectoriels. Les cantons ont la tâche d'établir des plans directeurs qui déterminent à leur tour, à une échelle plus grande, les lignes directrices du développement cantonal ; le plan directeur cantonal doit suivre les indications que la confédération a édictées dans les plans sectoriels. Finalement, les autorités communales ont la charge de réaliser et de mettre en œuvre les plans de zones qui déterminent pour chaque parcelle de terrain le type d'utilisation que l'on peut en faire. Ainsi Le plan de zone communal est contraignant pour la population, cette dernière n'a d'autres choix que de se plier aux volontés politiques.

En ce qui concerne le canton de Vaud, le premier plan directeur cantonal date de 1987. A cette époque le territoire subissait déjà une pression très forte de la part de la population. Les grandes lignes de ce premier plan directeur étaient claires : il s'agissait de réaliser une « décentralisation concentrée ». Une telle démarche implique de nombreux problèmes qui sont aujourd'hui le pain quotidien des aménagistes. L'étalement urbain est en effet un fléau qui perturbe

l'ensemble du territoire. Comment est-il envisageable de gérer la desserte en voies de communications, en transport public ou encore l'équipement de chaque parcelle ? A l'heure où un nouveau plan directeur cantonal est sur le point d'être accepté, le constat suivant s'impose « Malgré l'objectif d'alors d'orienter le développement vers une « décentralisation concentrée », le canton est aujourd'hui pris dans un phénomène d'étalement urbain aux

effets négatifs évidents. Ainsi si le développement doit bien entendu se poursuivre, il apparaît nécessaire d'en changer certaines modalités. » [2]. A travers ce message du conseil d'état qui introduit le nouveau plan directeur cantonal, on comprend la complexité de gérer le territoire et les problèmes liés à l'évolution temporelle. Le territoire est un pilier du développement durable. Par sa gestion, la société doit assurer le maintien des ressources naturelles pour les générations futures. Dans cette perspective, le nouveau plan directeur cantonal vaudois est fortement basé sur les 3 grands axes du développement durable : économique, social et environnemental. La volonté politique est clairement exprimée dans l'avant-projet définitif du nouveau plan directeur cantonal vaudois :

Vitalité du territoire	Qualité du cadre de vie	Solidarité sociale
SOUTENIR L'ATTRACTIVITE DU CANTON	PRESERVER LA QUALITE DU CADRE DE VIE	MAINTENIR LA COHESION CANTONALE
Dans une conjoncture toujours incertaine, dépendante de la concurrence internationale et sujette à des changements rapides, la vitalité du territoire reste une priorité. Pour la soutenir, il est essentiel de favoriser le dynamisme et la diversité des activités humaines, de s'adapter aux nouveaux défis économiques en respectant la qualité du territoire, facteur d'implantations économiques.	Les incertitudes économiques ne doivent pas conduire le Canton à réduire ses exigences en matière de qualité de l'offre en équipements et de protection de l'environnement. Au contraire, la qualité de l'air, de l'eau, des sols, des paysages urbains et naturels et des biotopes est un enjeu plus stratégique que jamais, ainsi que la qualité et l'accessibilité aux services, à la formation, à des logements diversifiés, etc. La préservation de ces atouts est aussi importante pour la santé et le bien-être de la population que pour l'attractivité économique	Les bouleversements rapides de l'économie tendent à creuser les inégalités entre les composantes internes du canton, au risque de laisser à l'écart du développement certaines catégories de population, des secteurs urbains défavorisés et des régions périphériques. Ce contexte fait de la cohésion cantonale et du maintien des équilibres entre les centres et les régions une priorité de l'action publique.

Figure 2: Principes de bases de l'avant projet définitif du plan directeur vaudois [2]

De ces grands axes découle la logique que le canton de Vaud entend suivre durant les deux prochaines décennies afin de gérer au mieux les problèmes liés à l'aménagement du territoire. Un des changements majeur que prend la politique d'aménagement est le découpage du territoire en pôles de développement autour desquels s'axera le développement futur. Ce projet vise à renforcer les centres cantonaux, régionaux et locaux. Il s'agit d'une trame du territoire autour de laquelle le tissu urbain vient s'intégrer, ceci afin d'engorger les problèmes d'étalement urbain provoqués par la politique menée jusqu'alors.

Le nouveau plan directeur cantonal établit six stratégies afin d'orienter l'évolution du territoire. Parmi lesquelles il s'agit de coordonner mobilité, urbanisation et environnement, le plan directeur cantonal fixe trois lignes d'actions pour atteindre cet objectif :

- Localiser l'urbanisation dans les secteurs déjà urbanisés
- Développer une mobilité multimodale
- Protéger l'homme et l'environnement contre les risques et les dangers

En analysant les lignes directrices du nouveau plan directeur cantonal, on obtient un aperçu des souhaits politiques pour l'avenir du territoire et de son développement. Toutefois, il y existe une scission entre les volontés politiques et les souhaits de la population. Cette dernière recherche un idéal de vie qui lui est propre. Ainsi certaines zones du territoire sont déterminées comme constructibles par les organes politiques d'une commune et malgré cette volonté politique le lieu ne rencontre pas de succès auprès de la population, qui ne considère pas cet emplacement comme attrayant. A l'opposé, certains lieux subissent une pression sur le territoire énorme, ce qui engendre une augmentation des prix disproportionnée. Il s'agira donc au fil de ce projet de tenter de mettre en évidence les facteurs qui attirent ou au contraire repoussent les individus pour un lieu donné.

1.3 Thématique des profils du territoire

L'établissement d'un indicateur d'attractivité du territoire est une tâche qui semble a priori réalisable. Mettre en évidence en sélectionnant des variables telles ou telles qualités du territoire n'est en soit pas une mission impossible. Mais lorsque l'on désire agréger ces variables, que l'on souhaite rendre l'indicateur applicable à l'ensemble du territoire et, de plus, valable pour chaque individu, cette tâche devient extrêmement complexe, voire utopique. En effet, comment faire preuve de l'exhaustivité nécessaire afin de prendre en compte les souhaits de chacun ? Il n'existe pas une solution vraie lorsque l'on parle de territoire. A chaque individu correspondent d'autres critères d'attractivité. Même s'il est possible de mettre en avant une certaine « norme », il n'est pas envisageable de réduire l'attractivité à un indicateur unique. Dans ce cas la richesse de la diversité des individus est une limite à la modélisation de l'attractivité.

Plutôt qu'un indicateur unique rendant compte de l'attractivité du lieu. L'idée développée au long de ce projet est donc d'établir des profils du territoire, une liste de variables aussi représentatives que possible de l'attractivité du lieu seront considérées et évaluées pour chaque endroit du territoire. Il sera ensuite possible non seulement d'agréger ces variables afin de créer des critères d'attractivités, mais également, et c'est là l'intérêt de cette méthode, des comparaisons entre divers lieux seront rendues possibles. Ces profils du territoire ne fourniront pas de solutions toutes faites aux problèmes d'aménagement du territoire, mais ils rendront possible la mise en évidence de certains lieux en fonction de l'observation des variables concernées. En d'autres termes, il s'agira d'un outil d'aide à la décision, qui de part la modélisation de l'attractivité du territoire permettra aux acteurs aussi bien politiques que privés d'avoir une vue simplifiée et globale d'un

territoire donné. Ces profils serviront également de bases à des questionnements plus spécifiques qui pourront être fait au travers de requêtes.

1.4 SIG (Système d'information géographique)

La quantité d'informations disponibles sous la forme de données numériques est en constante évolution. Chaque année en Suisse, 200'000'000 de francs sont investis pour l'acquisition de ces données [3]. Cela représente une source extraordinairement riche d'informations. Les SIG cherchent donc à résoudre des problématiques définies en utilisant de la façon la plus simple possible les données à disposition.

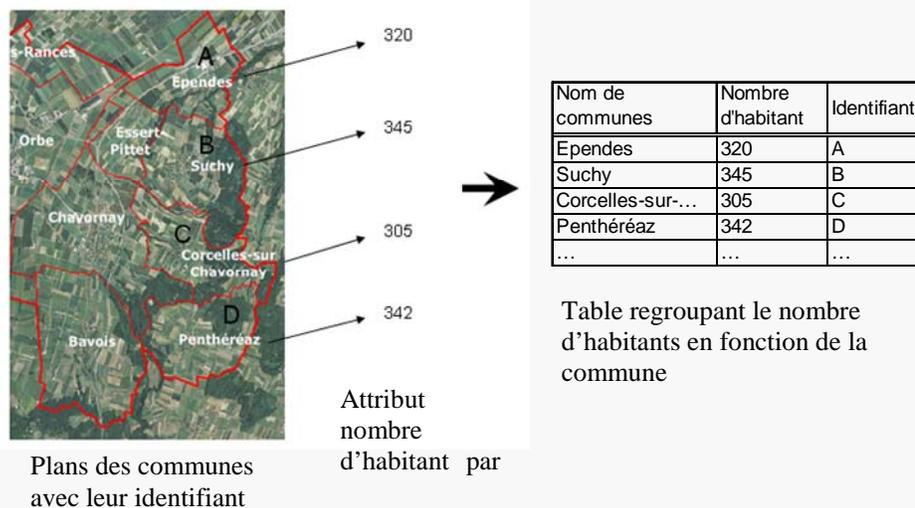
Ainsi, dans le cas d'une problématique liée à l'aménagement du territoire, l'intérêt des SIG est immédiat. En effet, les qualités d'un terrain varient en fonction de l'endroit considéré ; la relation entre la donnée et le positionnement géographique est directe. Mais l'intérêt des SIG ne se limite pas à cette relation entre la donnée et le territoire. Bien plus que cela ils servent également d'outil d'aide à la décision. En effet, lors de la résolution d'une problématique grâce aux SIG plusieurs étapes sont à considérer. Cette succession d'étapes détermine une approche systématique qui permet de cibler de façon très précise le problème. La **compréhension** du problème représente la première étape, les problèmes doivent être identifiés. Et les variables qui s'y rapportent misent en évidence. Dans un second temps, une **approche conceptuelle** est envisagée. Divers modèles sont mis en avant, ils représentent tous une simplification de la réalité mais varient en fonction de l'importance que l'on souhaite attribuer aux diverses variables entrant en jeu. Finalement, le processus s'achève par une phase de **sélection**, où l'on utilise les SIG pour mettre en évidence une alternative plutôt qu'une autre, où l'on tente, selon les choix que l'utilisateur fait, de lui proposer l'alternative qui correspond le mieux à ses besoins.

Toutefois, cette approche est quelque peu biaisée par rapport à la démarche de cette étude. Dans le cadre de ce projet, il ne s'agira pas de mettre en évidence une alternative parmi plusieurs, il s'agira de rendre possible la comparaison de différentes variables entres elles pour un endroit donné. La force des SIG réside également dans ce cas dans les possibilités de visualisation quasiment illimitées des différentes variables, la possibilité de combinaison de ces variables ainsi que dans les nombreuses requêtes que l'on peut effectuer afin d'obtenir des informations sur le territoire considéré. Ainsi, on ne déterminera pas une sélection parmi différentes alternatives, mais on établira une base de données géographique permettant de questionner le territoire et livrant un maximum d'informations sur ce dernier.

Introduction au SIG

Système informatique permettant, à partir de diverses sources, de rassembler et d'organiser, de gérer, d'analyser et de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement, contribuant notamment à la gestion de l'espace. Un système d'information géographique n'est autre qu'une base de données au sein de laquelle chaque donnée est liée à une information spatiale.

Exemple : Dans une base de données traditionnelle, des informations pourraient être stockées sur la population des communes d'un canton. Ainsi il existerait une table comprenant le nom de la commune dans une colonne et le nombre d'habitants dans l'autre. Dans le cas des SIG, cette information est directement reliée à la position géographique de la commune. On dispose ainsi d'une carte représentant l'ensemble du canton et à chaque commune est associé son nom ainsi que le nombre de ses habitants.



Les données spatiales que les SIG peuvent assimiler sont aussi bien des cartes, des images, des modèles numérique de terrain, etc... Il existe deux grands modes de représentation en SIG, le vecteur et le raster.

Le mode raster : La réalité est décomposée en une grille régulière et rectangulaire, organisée en lignes et en colonnes, chaque maille de cette grille ayant une valeur qui lui est propre. Les mailles portent le nom de pixel. A un pixel une seule valeur peut-être attribuée.

Le mode vecteur : Les limites des objets spatiaux sont décrites à travers leurs constituants élémentaires, à savoir les points, les lignes, et les polygones. Chaque objet spatial est doté d'un identifiant qui permet de le relier à une table attributaire. Dans l'exemple ci-dessus, l'identifiant serait la colonne contenant la lettre qui permet de faire le lien entre le polygone (commune) et la ligne de la table fournissant le nom de la commune et le nombre d'habitants.

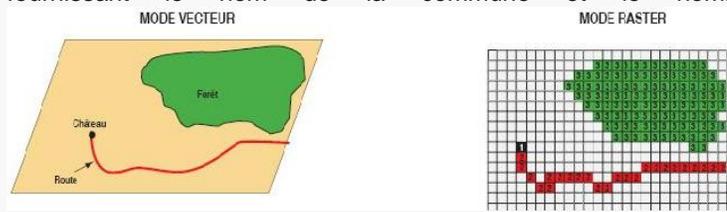


Figure 3: introduction aux SIG

2 Indicateur

2.1 Introduction et nomenclature

Dans le présent chapitre, l'attention du lecteur devra se porter sur les données et la structuration imposée à ces dernières. En effet, afin de créer un profil du territoire, il est nécessaire de collecter un maximum d'informations sur ce dernier. La création d'indicateurs est une démarche très complexe qui commence par l'acquisition de **données**, ceci dans le but de déterminer des **variables** issues de ces données. Ces variables doivent traduire le sens des données. En effet, certaines données ne sont pas explicites ; il s'agit dans ce cas de les rendre compréhensibles et mesurables dans le but de pouvoir les évaluer. Une fois cette évaluation réalisée et la variable à disposition, il est possible de combiner plusieurs variables entre elles afin de créer un **critère**. Il existe différents critères, simples ou complexes en fonction qu'ils dépendent directement d'une variable ou qu'ils fassent appel à plusieurs variables traitant de sujet à priori différents. Finalement, le but ultime de cette démarche sera d'établir un **indicateur** d'attractivité global qui dépendra de l'information contenue dans chaque critère. Cet indicateur sera le fruit d'agrégations successives de l'ensemble des variables, il y aura donc un fort risque de perte d'informations liée à l'éloignement de la donnée brute à l'indicateur final. Il s'agira donc de traiter cet indicateur avec prudence et de rester vigilant en analysant les résultats obtenus. Cependant, un indicateur est le résultat d'une agrégation entre critères, il ne dépend que des éléments que l'on y insère et de la pondération entre ces éléments. Il sera donc très important de garder une grande clarté dans l'établissement successif des variables, critères et indicateur afin de maintenir une bonne vue d'ensemble de la démarche et de permettre une compréhension optimale à l'utilisateur.

2.2 Multi critère versus multi objectif

Le terme de critère est un terme général qui contient à la fois la notion d'attribut et d'objectif. Avant de poursuivre la démarche suivie dans ce projet, il est nécessaire de définir clairement ces différentes notions. Ainsi les définitions suivantes de Malczewski permettent de cerner ces différences de vocabulaire :

« Un **attribut** est une propriété d'un élément du monde réel. Plus spécifiquement, un attribut est une quantité ou une qualité mesurable, appartenant à une entité géographique ou encore une relation entre différentes entités géographiques. Dans le contexte d'un problème d'aide à la décision, les entités et les relations les liant sont considérées comme

l'objet de la décision. On accepte que la décision soit faite pour changer ou au contraire pour laisser inchangée la situation du système spatial considéré, qui correspond aux entités et aux relations citées précédemment. Le concept d'attribut est synonyme du concept usuel de capacité de mesurabilité d'un système. Un attribut est utilisé pour mesurer une performance en relation à un objectif. Cela peut être vu comme le moyen ou la source d'information dont le preneur de décision dispose afin d'établir ces objectifs. Un **objectif** est une situation concernant l'état désiré du système sous certaines considérations. Il indique les directions à prendre afin d'améliorer tel ou tel autre attribut. Les objectifs dépendent ou sont dérivés d'un set d'attributs. Pour un objectif donné, il est parfois nécessaire de fournir une évaluation complète de plusieurs attributs différents afin d'atteindre le niveau souhaité pour l'objectif considéré. » [4]

Il est encore nécessaire de préciser que ces termes sont traduits de l'anglais, ainsi plutôt que de parler d'aide à la décision « multi attribut » on préférera « multi critère » quand à la dénomination « multi objectif », elle reste la même. On comprend donc qu'un modèle de décision multi critère s'applique dans les cas où l'on évalue des données sous forme de variables et que l'on agrège ensuite ces variables entre elles pour former des critères et des indicateurs. Dans une autre démarche, il serait ensuite possible d'établir des objectifs à atteindre et une évaluation des critères dans le but de se rapprocher au maximum de cet objectif, il s'agirait alors d'une analyse multi objectif.

Dans le cas présent, la thématique tend d'elle-même vers un modèle multi critère. En effet, la question n'est pas de répondre à un ou plusieurs objectifs, ce qui serait utopique et manquerait d'exhaustivité. Mais il s'agit de fournir un profil du territoire, en d'autres termes de mettre à disposition un jeu de variables, critères et indicateurs capables de renseigner l'utilisateur sur différents éléments ayant trait avec l'attractivité du territoire. Ainsi la démarche suivie par la suite est celle d'une analyse multi critère d'aide à la décision.

2.3 Démarche

Après avoir fait un tour d'horizon de la littérature traitant des problématiques liées à l'aménagement du territoire, la première étape de l'établissement d'un modèle conceptuel multi critère consiste au choix des variables à considérer. Ainsi la méthodologie suivie dans ce projet a été la suivante :

- détermination d'un premier set de variables issues d'un « brainstorming »
- structuration de ces variables en fonction de leur appartenance aux grands axes du développement durable
- Mise en évidence des données nécessaires afin de construire la variable
- Analyse de disponibilité des données
- Nouvelle détermination des variables en fonction de leur potentiel de réalisation et de la disponibilité des données

Ces 5 étapes sont décrites plus précisément dans la suite de ce chapitre.

2.4 Première esquisse

La liste complète des variables issues du « brainstorming » est disponible à l'ANNEXE 1. Toutefois, afin de visualiser une première ébauche de ce qui peut être considéré lorsque l'on parle d'attractivité du territoire, voici la liste triée des variables classées selon le terrain, le sol et la situation (cf. Figure 4). Cette classification est liée au territoire : le terrain représente les variables qui affectent directement la parcelle, le sol regroupe les informations sur la qualité du sous-sol de l'endroit considéré et la situation regroupe les variables relatives à l'environnement plus ou moins proche de la parcelle considérée. Par la suite, cette classification sera abandonnée au profit d'une division relative aux grands domaines du développement durable.

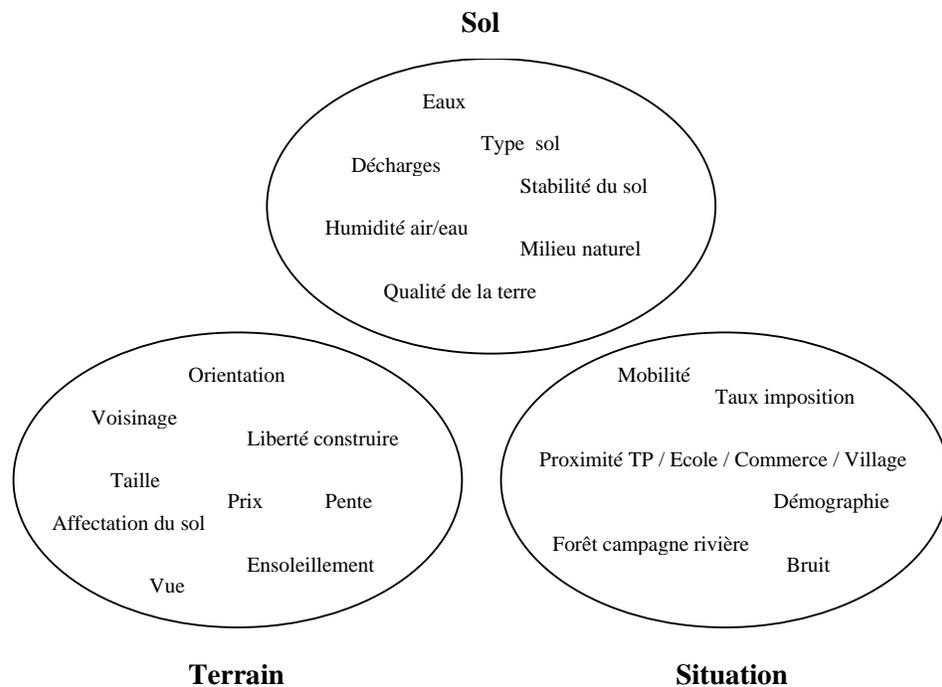


Figure 4: Première ébauche de variables

2.5 Volonté politique versus attractivité

Deux approches sont complémentaires. D'une part le territoire doit satisfaire aux volontés politiques comme décrit dans le paragraphe 1.2 traitant de l'aménagement du territoire, d'autre part les variables choisies doivent être représentatives d'une certaine « qualité de vie ». Il va sans dire que ces deux approches sont complémentaires et qu'elles ne vont généralement pas dans des directions opposées. Toutefois, certaines limitations sont imposées par les milieux politiques afin d'assurer un développement plus structuré du territoire. On scindera ainsi les variables en deux catégories, les variables issues des services publics et les variables d'attractivité. Il est encore

nécessaire de préciser que les variables représentant une volonté politique sont à considérer comme des contraintes. Elles ne représentent pas seulement une information sur le territoire, mais plus encore une volonté de réalisation, ce qui implique leur état de contrainte.

2.6 Problématiques abordées

Cette première définition de variable s'est faite en fonction de divers domaines qui touchent à l'aménagement du territoire. Ces disciplines sont nombreuses et nécessitent chacune la plus grande attention dans ce sens qu'elles forment un tout extrêmement complexe : le territoire. Ainsi, la modélisation de ce dernier passe par la création de variables le caractérisant et ceci de la façon la plus précise possible. Les grands thèmes abordés sont l'aspect légal, la mobilité, la question économique, le social, le paysage ou encore la problématique environnementale.

2.6.1 Aspect légal (volonté politique)

Comme l'indique très bien le titre du chapitre introduisant les enjeux du nouveau plan directeur cantonal « Entre attractivité et concurrence, quatre enjeux », l'aménagement du territoire est au croisement de différentes problématiques que connaît notre société : d'une part l'attractivité d'une région liée à son environnement et d'autre part l'aspect économique, qui ne peut être négligé. Ainsi, l'avant-projet définitif du nouveau plan directeur cantonal vaudois incite les autorités compétentes à porter leur attention sur les quatre enjeux suivants :

- La vitalité : Conserver l'attractivité économique du canton
- La qualité : Préserver la qualité du cadre de vie
- La solidarité : Miser sur un réseau de centres attractifs
- L'équilibre : Limiter l'étalement urbain

C'est précisément ce dernier enjeu qui retient l'attention de l'aménagiste, car il est possible de l'introduire sous forme de contrainte dans un processus d'aide à la décision. Les considérations économiques et liées à la qualité du cadre de vie seront également traitées par la suite mais ne sont pas directement considérées comme volonté politique du fait que ces enjeux sont dépendants de la population et que les politiques ne peuvent imposer une législation dans ces domaines qui permettrait de régir leur évolution.

2.6.2 Mobilité

Le territoire et la mobilité sont intimement liés. Qu'il s'agisse de déplacements en transport public ou en transport individuel, les problèmes d'accessibilité sont un élément décisif dans les problématiques d'occupation de l'espace. Ainsi, comme le montre Schuler et Kaufmann, « Les personnes qui se déplacent le plus loin sont désormais aussi celles qui ont les budgets temps consacrés aux déplacements les plus importants. Des changements économiques et sociétaux contribuent à expliquer cette tendance : le changement de la répartition spatiale des emplois et des logements au profit des couronnes des agglomérations, l'élargissement des bassins de vie, qui génère des déplacements professionnels d'une portée spatiale plus étendue, la précarisation du travail qui oblige parfois à accepter des temps de déplacements très importants, les arbitrages de localisation résidentielle des

couples bi-actifs » [5]. Ceci démontre bien l'appartenance à la fois aux aspects économiques et sociaux de la mobilité. Cette dernière est influencée et réciproquement influence simultanément les enjeux économique et sociaux d'une région. De plus, la mobilité est aujourd'hui un terme très largement utilisé qui perd de son sens. Afin de définir clairement les problèmes de mobilité, cette notion sera par la suite divisée en deux, d'une part une approche par le biais de la pendularité et d'autre part l'accessibilité. Cette différenciation est liée aux types de déplacements. De fait, 50% du budget temps journalier est aujourd'hui destiné aux loisirs, ce qui ne laisse « que » 50% pour les déplacements liés à l'emploi (pendularité). Ainsi il ne serait pas juste de réduire la mobilité à la simple pendularité. Dans la séparation effectuée entre accessibilité et pendularité, on peut ainsi mettre en évidence des tendances différentes en fonction de l'endroit.

2.6.3 Social

La population recherche un idéal de vie, cet idéal de vie correspond toujours à un espace donné du territoire possédant un certain nombre de caractéristiques qui lui sont propres. Ainsi, pour une famille, il est souvent agréable d'habiter dans une zone où la proportion d'enfants est grande, et dans le même ordre d'idée la tranquillité d'un quartier peut-être attirante pour des personnes âgées. De ce fait, la stratification démographique est un élément important et révélateur de la répartition de la population sur le territoire. Le domaine social est très vaste et un grand nombre d'indicateurs pourraient être développés, toutefois pour des raisons essentiellement liées à la difficulté d'obtention des données et au temps limité à disposition, seule une autre variable sera développée, la sécurité (cf. 2.9.3, Liste des variables définitives).

2.6.4 Economie

Comme l'avant-projet définitif du plan directeur cantonal vaudois l'a clairement décrit dans son introduction, « il est essentiel de favoriser le dynamisme et la diversité des activités humaines, de s'adapter aux nouveaux défis économiques en respectant la qualité du territoire, facteur d'implantations économiques.» [2]. En d'autres termes, un développement harmonieux et efficace du territoire ne peut se faire sans tenir compte à part entière de la composante économique. Il est cependant important que l'économie soit un facteur de développement du territoire mais qu'il ne s'agisse pas d'une pression insurmontable pour ce dernier, et que le territoire devienne simplement un outil purement économique. Toutefois, dans la problématique traitée, il s'agit de se mettre à la fois à la place des concitoyens et des politiques, l'aspect économique sera donc essentiellement traité en relation avec l'approche de la population. Les attentes de la population en ce qui concerne les emplois, le taux d'imposition ou encore l'équipement des terrains serviront de base aux développements des variables relatives à l'économie.

2.6.5 Paysage

Les variables relatives au paysage sont certainement les plus intuitives. Elles permettent une bonne représentation du territoire et son relativement facilement modélisables. Ainsi la pente, l'orientation, l'ensoleillement, la température ou encore la pluviométrie sont autant de variables qui

caractérisent un terrain et qui peuvent être déterminées dans le but de classer ce dernier.

2.6.6 Environnement

La qualité du territoire s'exprime également à travers la qualité du sol qui le compose. Ainsi l'environnement influence-t-il directement le territoire. Que ce soit par la stabilité du sol, par la présence de sites pollués, de nappes d'eau souterraines ou encore par l'humidité du terrain. L'environnement est un facteur déterminant dans l'évaluation de l'attractivité d'un terrain.

2.7 Développement durable et variables

Les variables caractérisant la qualité de vie d'un site ne sont pas mises en évidence correctement à travers leur distribution entre le sol, le terrain et la situation. En effet, cette répartition n'offre pas une vue générale de la problématique. Dès lors, les grands axes du développement durable sont des éléments suffisamment globaux et recouvrant de façon adéquate l'ensemble de la thématique abordée. Par la suite, dans l'ensemble du projet, les variables seront donc classées selon qu'elles influencent l'aspect environnemental, social ou encore économique du territoire.

"Le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs. Deux concepts sont inhérents à cette notion : le concept de besoins, et plus particulièrement des besoins essentiels des plus démunis, à qui il convient d'accorder la plus grande priorité, et l'idée des limitations que l'état de nos techniques et de notre organisation sociale imposent sur la capacité de l'environnement à répondre aux besoins actuels et à venir" [7].

Le Développement Durable est souvent présenté comme la recherche d'un équilibre entre trois pôles : le social, l'environnemental et l'économique.

Cette représentation correspond au modèle inspiré de la théorie des ensembles et présenté ci-dessous. « Chacun des cercles définit un ensemble de buts qui justifient les actions humaines. La durabilité du développement exige des synthèses au regard des priorités : cela suggère un traitement équilibré des valeurs et des intérêts. Aucun des buts (écologique, économique ou social) ne doit être sciemment favorisé ou dévalué au détriment des autres. » [8]

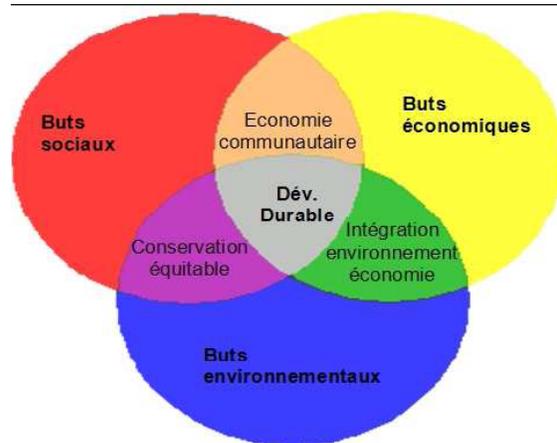


Figure 5:représentation des trois principaux domaines du développement durable et de leurs interactions

2.8 Données

La détermination des variables, critères et indicateur est un processus itératif. La démarche adoptée au cours de ce projet a été de déterminer une première liste de variables, permettant d'en extraire un certain nombre de données qu'il faut avoir à disposition pour créer ces variables. Toutefois, certaines données étant inexistantes ou inaccessibles, il est nécessaire de développer d'autres variables dépendantes de données différentes. A l'inverse, il est possible que l'on découvre un jeu de données en relation avec le sujet traité et que la création de la variable en découle. La démarche d'acquisition des données est donc une étape qui oriente très fortement le développement du modèle conceptuel.

2.8.1 Source

L'essentiel des données nécessaires à la réalisation de ce projet proviennent de l'ASIT-VD. Le catalogue des données à disposition étant relativement complet, il a servi de base à l'établissement de la liste des métadonnées des données jugées nécessaires à la construction des variables, critères et indicateurs. Le tableau complet des métadonnées est disponible à l'ANNEXE 2 du présent rapport.

Concernant chaque jeu de données, les informations suivantes ont été jugées importantes afin de cerner au mieux les possibilités d'utilisation de ces dernières :

- **Thème** : les données ont été réparties selon la même distribution que les variables entre aspect législatif, environnemental, paysager, social, économique et mobilité. Un dernier thème a été introduit permettant de regrouper les données servant de fond de plan, à savoir les orthophotos du territoire et les cartes nationales.
- **Variable** : Pour la définition d'une variable, plusieurs données peuvent être nécessaires.
- **Source** : Essentiellement en provenance de l'ASIT-VD ou directement du LASIG, la source des données permet toutefois de prendre connaissance de l'émetteur de la donnée.
- **Echelle cartographique** : Cette information permet de voir si les différentes données nécessaires à la création de l'indicateur sont cohérentes au niveau de leur échelle d'acquisition. Il serait pour cela beaucoup plus judicieux et efficace de se référer à la précision d'acquisition de la donnée, or cette information ne figure que rarement dans les métadonnées. Il est donc apparu cohérent de comparer l'échelle d'acquisition de la donnée comme base de comparaison.
- **Echelle** : il ne s'agit pas de la dimension spatiale de la donnée, mais du caractère de celle-ci. Qu'il s'agisse d'une information directement mesurable (cardinale), permettant d'introduire un ordre de grandeur (ordinaire) ou ne permettant pas de comparaison (nominale), la donnée aura une utilité différente et il est donc nécessaire de tenir compte de cet élément dans le choix des données.

- Type : Données raster versus données vecteur (cf. figure 3 : Introduction au SIG)

Thème	Variable	donnée	source	échelle carto	échelle	type	remarques
Critères sociaux	Stratification démographique	Statistique de la population (recensement)	OFS	-	cardinale	-	L'information sur la population est agrégée à l'hectare. Diviser la population en différentes strates, par exemple: 0-25, 25-50, 50-75, 75 et plus..
		Limites administratives	asit	25'000	nominale	vectériel	comprend la frontière nationale, les limites cantonales, de district et de communes sous forme vectorielle.
	Sécurité	Nombre d'infractions/délits	Gendarmerie	-	cardinale	-	Se renseigner sur l'existence d'une telle information dans les communes considérées
		Limites administratives	asit	25'000	nominale	vectériel	comprend la frontière nationale, les limites cantonales, de district et de communes sous forme vectorielle.

Figure 6: Exemple de métadonnée pour les données servant à l'établissement du critère Social

En se référant aux métadonnées, il a ensuite été possible de déterminer quelles variables seraient réalisables en fonction de l'existence et de la disponibilité de la donnée. Ainsi certaines variables ont dû être modifiées ou simplement abandonnées. En effet, le but de ce projet étant de créer une base de données structurée afin de réaliser des indicateurs sur le territoire, il n'aurait pas été envisageable d'entamer de grands travaux d'acquisition de données qui auraient alors nécessité un investissement conséquent en temps et en énergie. De ce fait, les variables retenues sont celles pour lesquelles les données sont déjà existantes. La démarche de création des variables sera décrite en détail par la suite. Il faut toutefois préciser que dans le but de couvrir un éventail d'éléments touchant au territoire aussi large que possible, certaines variables ont été modifiées afin de pouvoir être déterminées avec des données déjà acquises, lorsque la donnée initialement prévue ne l'était pas.

Outre le problème lié à la disponibilité des données, comme les données cadastrales qui ne sont pas encore saisies pour l'ensemble du canton de façon numérique, d'autres difficultés se sont manifestées. Entre autres, le coût des données fût une limitation non négligeable. En effet, certaines données mises à disposition par l'ASIT-VD, et devant recouvrir une surface aussi étendue que la zone considérée par la suite dans ce projet, représente un investissement colossal qu'il ne serait pas envisageable de faire dans le cadre d'un projet de master. Sur un autre plan, les données issues du recensement fédéral fournissant une quantité d'informations extrêmement riches sur les statistiques de la population sont considérées comme confidentielles et donc hors de portée dans le cadre de ce projet. Toutefois, il est possible d'acquérir ces informations sous forme agrégée, soit à la dimension de la commune ou à l'hectare. Pour le développement des variables, les informations à l'hectare sont très appréciées.

2.9 Variables définitives

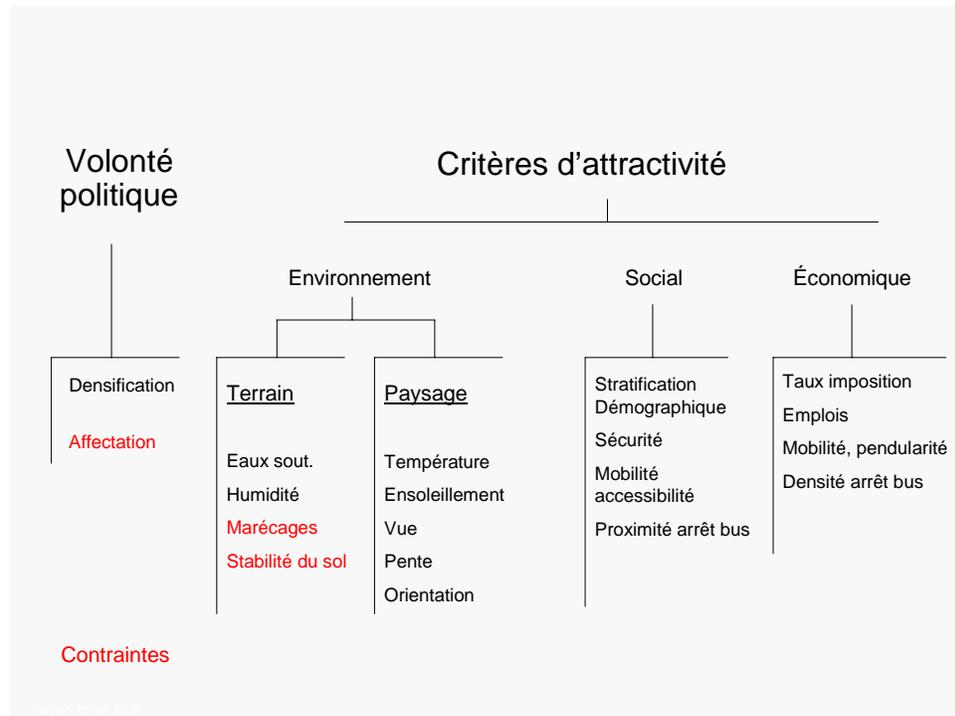


Figure 7: Répartition des variables définitives entre les différents axes du développement durable

2.9.1 Contraintes politiques

« Le canton est engagé dans un phénomène d'étalement urbain, processus qui va à l'encontre d'un développement durable. (...). L'étalement urbain est provoqué par plusieurs facteurs convergents : l'essor de la motorisation individuelle, le prix des terrains, la fiscalité communale, la tendance à la ségrégation sociale, la pénurie de logements en ville. » [2]. Ainsi, après avoir pris conscience de ce phénomène, les autorités souhaitent le maîtriser, c'est dans cette perspective que la stratégie du PDC a été établie. La première ligne d'action de ce dernier est très claire : « Localiser l'urbanisation dans les secteurs déjà urbanisés » [2]. Un **critère de densification** verra donc le jour, il sera développé selon deux axes : d'une part un critère qui aura une valeur informative nécessaire à la création du profil et d'autre part un caractère contraignant qui sera introduit sous forme de contrainte liée à la volonté politique.

Parallèlement à la problématique de densification du territoire qui sera approfondie au chapitre concernant la réalisation des indicateurs 4.3.3, il faut relever que la volonté politique s'exerce tout d'abord à travers le zonage du territoire. En fonction du **type de zone** à laquelle une parcelle appartient, le développement de cette dernière varie fortement. Zones constructibles, intermédiaires ou agricoles façonnent le territoire ; grâce au plan d'affectation communal, chaque commune a la possibilité de gérer l'évolution de la consommation de son sol. Cependant, dans la réalité, les enjeux sont très complexes et les intérêts de chacun difficilement définissables. Ainsi chaque commune souhaite obtenir le maximum de zone à bâtir dans une logique économique pure. Toutefois, à l'heure actuelle et

toujours selon le PDC, « les surfaces disponibles sont deux à trois fois plus importantes que nécessaires pour les besoins prévisibles à 15 ans. Cette surabondance de terrains à bâtir incite à l'étalement urbain. » [2]. Il apparaît donc que les zones constructibles octroyées par les communes sont nettement supérieures aux besoins. De cette observation, une seconde contrainte est née ; il s'agit du type de zone. Un masque sera imposé au territoire et ne permettra de visualiser que les zones destinées à la construction ; ainsi les zones agricoles, forestières ou encore les sites protégés seront exclus du potentiel de développement territorial. Cette contrainte sera cependant considérée comme auxiliaire, dans ce sens que l'utilisateur pourra choisir d'activer ou non la contrainte. Il est en effet intéressant d'obtenir l'information sur l'ensemble du territoire pour chaque variable, ceci dans un but d'évaluation et de comparaison.

2.9.2 Critères d'attractivité

Après avoir défini les éléments qui touchent plus l'aspect légal de l'aménagement du territoire, il est nécessaire de modéliser des notions beaucoup moins exhaustives et plus difficiles à cerner. La liste des variables définitives (cf. Figure 7) n'est hélas pas complète pour les raisons de disponibilité des données déjà énoncées au paragraphe 2.8.1 traitant de cette problématique.

Dans cette étape, il est nécessaire de prendre du recul par rapport aux variables déterminées jusqu'à présent, de bien planifier l'utilisation ultérieure qui sera faite des variables. Ainsi l'analyse de l'habitat ne repose pas uniquement sur des variables simples tels que la pente d'un terrain ou sa distance par rapport à un centre ville. Beaucoup d'autres éléments rentrent en ligne de compte et complexifient le processus. L'intérêt d'une telle démarche se porte essentiellement sur le potentiel que le territoire offre aux individus. Ce potentiel peut être entrevu de deux façons distinctes. Tout d'abord une dimension effective qui peut être perçue comme étant la situation actuelle, le territoire tel qu'il est. Deuxièmement, une dimension virtuelle qui regroupe ce que l'on pourrait réaliser. Cette dimension virtuelle est en quelque sorte le potentiel qu'a un territoire de se développer. Dans la perspective de mise en évidence du potentiel d'un terrain, il est important de considérer l'aspect temporel. Dans ce sens il serait intéressant de construire des variables basées sur l'évolution temporelle. Ainsi une variable pourrait mesurer l'évolution de la desserte en TP comme l'explique l'encadré ci-dessus, cette analyse permettrait non seulement de mesurer d'une certaine façon le développement du territoire, mais cela fournirait également une méthode pour évaluer la différence de réalité entre la carte et la réalité tangible, soit ce qui se passe « en vrai ». Il est encore nécessaire de préciser avant de présenter les variables définitives, que la détermination des critères et de l'indicateur d'attractivité passe par l'analyse de processus. Ces processus sont constitués de diverses variables qui évoluent, et qui de part leur évolution influencent la perception que l'on a du territoire. La qualité que l'on perçoit d'un territoire n'est pas statique, au contraire, elle évolue et dépend de nombreuses variables. Ainsi la création des variables, critères et indicateur est directement influencée par cette approche de processus.

Evolution des Transports Publics :

Cette variable représenterait l'évolution de la desserte des communes concernées par l'étude. Les données disponibles sont la fréquence journalière, le type de desserte (train, car) et le nombre d'arrêt par commune. Il serait également possible de saisir la durée du trajet depuis le lieu de départ, à savoir : les centres urbains environnants. Il s'agirait donc de définir cette variable par deux éléments différents. D'une part **l'évolution de la fréquence**, et d'autre part **l'évolution du temps de desserte** depuis le départ de la ligne serait nécessaire à la construction de la variable.

Dans cet exemple, les données sont existantes, en effet un annuaire annuel regroupant l'ensemble des horaires de trains et de bus postaux est édité. Toutefois la saisie de cette information pour l'ensemble des arrêts représenterait un travail important, car pour l'instant cette information n'est pas numérisée.

2.9.3 Liste des variables définitives

Stabilité du sol : Cette variable représente certaines zones de dangers, susceptibles de subir des glissements de terrain. Ainsi les valeurs seront binaires, « risqué » opposé à « non risqué ».

Eaux souterraines : La carte des secteurs de protection des eaux est directement utilisable afin de quantifier le degré de protection des eaux. La carte comprend les secteurs A, B, C et S, S étant

une zone source et A le secteur le plus extensif autour de la nappe donc nécessitant le moins de précaution. Il faut toutefois ajouter que la majorité du territoire n'est tout simplement pas concernée par la protection des eaux souterraines.

Humidité : Les valeurs que peuvent prendre cette variable sont les suivantes : Sec, normalement perméable, modérément engorgé par l'eau, humide, rarement engorgé jusqu'en surface, très humide, souvent engorgé jusqu'en surface, généralement mouillé dès la surface. Il faut relever qu'un sol sec n'est pas bénéfique, mais un sol généralement mouillé l'est encore moins. La situation idéale est donc un terrain « normalement perméable ». Cette variable est représentative d'une certaine qualité du sol. En effet, elle qualifie le potentiel de la terre d'un terrain, d'autres variables avaient été prévues dans ce domaine, mais il n'a hélas pas été possible d'obtenir les données nécessaires. Ainsi la pierrosité de surface et les sites pollués auraient apporté un bon complément à cette variable, mais les données ne sont malheureusement pas entièrement numérisées.

Marécage : détermine des polygones de zones marécageuses. Ces polygones sont considérés comme impropres à la construction.

Température : La détermination de la température se fait à l'aide du MNA (Modèle Numérique d'Altitude) et d'une valeur de température de référence pour une altitude donnée. Un gradient de température est nécessaire afin de déterminer la température pour chaque altitude à partir de cette référence. En s'inspirant de la thèse de Florent Joerin, qui traitait une zone d'étude proche de celle analysée au cours de ce projet, la variable température a été estimée de la façon suivante, on s'aperçoit que « la zone d'étude ne bénéficie ni d'un climat polaire ni d'un climat particulièrement clément. Les habitants potentiels de la région privilégieront cependant certainement des valeurs de température les plus clémentes possibles. Ceci pour différentes

raisons, tout d'abord pour des raisons de confort, mais également dans un souci d'économie d'énergie, pour maintenir par chauffage ou refroidissement une température intérieure agréable, il est préférable dans le contexte du canton de Vaud, que les températures ne soient pas trop basses. » [10]

Ensoleillement : La valeur d'ensoleillement se détermine à partir du MNA. Il faut comprendre par cette variable une durée d'ensoleillement quotidienne. Pour cela, les logiciels de SIG mettent à disposition des fonctions adaptées à cette problématique ; il est ainsi possible de déterminer la durée moyenne annuelle d'ensoleillement quotidien. Si le logiciel ne permet pas cela, une autre alternative est de déterminer une valeur quotidienne lors du plus long jour de l'année (solstice d'été, généralement le 21 juin) et à l'opposé lors du plus court (solstice d'hiver, généralement 21 décembre) et d'en prendre une valeur moyenne. Pour la détermination de cette variable, l'extension « solar analyst » du logiciel Idrisi sera appliquée.

Vue : Comme expliqué dans la métadonnée, la vue se détermine en fonction de points du territoire représentant une vue intéressante. Pour cela il sera dans un premier temps nécessaire de déterminer quels points sont jugés intéressants et de leur attribuer un certain poids (le clocher du village n'est pas aussi prestigieux que le Mont-Blanc). Ensuite depuis chaque endroit du territoire il sera possible de déterminer quels points sont visibles. Plus le nombre de points visibles est grand plus la probabilité que la vue soit dégagée et donc dans un certain sens généreuse sera élevée.

Pente : La pente est classifiée en trois catégories, plat, pente acceptable pour construction et impropre au bâti. Ces trois classes se déterminent à partir du MNA. Une pente comprise entre 0 et 3 % est considérée comme définissant un terrain plat, une pente entre 3 et 10 % définit un terrain de pente acceptable pour la construction, au-delà de cette valeur de 10 % le terrain n'est plus favorable à la construction. En effet, les frais que cela engendrerait sont trop élevés.

Orientation : La carte de l'orientation sera déterminée à partir du MNA. Les valeurs pour chaque pixel seront soit : Nord, Sud, Est ou Ouest. Dans une logique énergétique et de confort, les zones exposées au sud seront préférées aux zones nord. Par contre entre une exposition Est ou Ouest il ne semble pas judicieux d'établir un jugement de valeur. En effet, cela dépend essentiellement des préférences des habitants (soleil levant/couchant) et du point de vue de la consommation d'énergie cela revient au même.

Stratification démographique : La pyramide des âges est bien déterminée en Suisse. En effet, l'office fédéral de la statistique possède un recensement de la population qui comprend un nombre conséquent d'informations sur la population. Ainsi la répartition de la population au sein de la pyramide des âges est bien connue. Dans le cadre de cette variable, un pas de temps de 10 ans est choisi. La variance entre la répartition moyenne de la population et la valeur de la répartition de la population dans la zone considérée est déterminée comme variable mesurant la divergence entre une répartition idéale de la population au sein de la pyramide des âges et la répartition réelle sur le territoire.

Sécurité : La base de donnée de la gendarmerie cantonale contient un grand nombre d'informations sur les délits causés sur le territoire cantonal. Il est

donc possible de saisir l'information qui est agrégée au niveau communal. Ainsi le nombre de dommages à la propriété, vols de fait, lésions corporelles, vols à l'étalage, vols simples, vols avec effraction ou encore vols de véhicule est disponible dans le but de déterminer une variable représentative de la sécurité de la population.

Mobilité, pendularité : Il s'agit d'un indicateur qui tient compte de la pendularité de la population, il est agrégé au niveau de la commune. Dans cette perspective, trois données sont nécessaires :

- Destination (commune)
- Mode de transport utilisé et/ou réseau routier
- Répartition des actifs

Ainsi à partir de la destination on peut déterminer une distance, à partir du mode de transport on peut déterminer une vitesse et finalement en combinant ces deux informations on trouve un temps de trajet. Ce temps combiné à la répartition des actifs entre les diverses communes cibles donne la durée du budget temps global des individus de la commune. En divisant cette valeur par le nombre d'actifs, on obtient un temps de transport moyen quotidien par habitant d'une commune.

Mobilité, accessibilité : Dans le même état d'esprit que le temps d'accès, cette variable cherche à mettre en évidence les problèmes liés à l'accessibilité. Il est ainsi possible d'introduire la notion de déplacement pour les loisirs. Cette notion n'a pas été retenue dans la détermination des temps d'accès. Dans la détermination de l'accessibilité, on part d'un point précis et l'on détermine pour un temps donné le nombre d'équipements que l'on peut atteindre. Par équipements sont entendus l'ensemble des lieux de destination lors de transport destinés aux loisirs, cela comprend un supermarché, un cinéma, un restaurant, un musée ou encore un centre sportif, cette liste n'est bien entendu non exhaustive. Il convient cependant de scinder cette démarche en deux variables différentes, qui traitent d'échelles différentes. Tout d'abord une échelle locale, dans notre cas une échelle rurale, ainsi qu'une échelle plus globale qui comprend des installations relatives à une ville, aspect urbain.

Echelle locale : il s'agit de déterminer pour un temps donné le nombre de lieux (équipements) accessibles. Pour cette échelle les lieux de destination sont l'école, le centre du village que l'on modélisera par la présence de l'église. Le temps considéré pour cette étape sera de 15 minutes. Il faut également tenir compte du type de transport utilisé, ainsi si l'on utilise une voiture ou une bicyclette le chemin parcouru n'est pas le même et l'accessibilité en est influencée. Il est donc préférable de déterminer pour chaque type de transport un rayon d'action atteignable en 15 minutes.

Echelle globale : idem à la démarche précédente mais pour d'autres équipements représentant des loisirs qualifiables d'urbains. Cela comprend entre autres, cinéma, salle de spectacle, bibliothèque, musée, hôpital, park and rail et supermarché. De même, les types de transport à considérer sont différents que dans le cas de l'échelle locale. On part cette fois-ci sur une durée de trajet de 20 minutes pour atteindre le plus d'équipements possible.

Proximité des arrêts de bus : Cette variable se détermine en créant des zones tampon autour de chaque point de départ et ainsi donne un poids en

fonction de l'éloignement de l'arrêt de bus. En considérant qu'un déplacement de 10 minutes pour se rendre à un arrêt de bus à pied soit le maximum qui soit toléré, un individu marchant à 6 km/h pourrait parcourir un kilomètre pour rejoindre l'arrêt de bus.

Taux imposition : Cet indicateur est agrégé à la commune. Il s'agit de tenir compte à la fois du taux d'imposition qui est une variable d'attractivité non négligeable, et du prix de location par m² de logement. Il semble assez simple de faire le lien entre le prix du mètre carré d'habitation et le taux d'imposition d'une commune. Toutefois, concrètement, le lien n'est pas aussi aisé à représenter. La démarche de calcul de la variable sera détaillée dans le prochain chapitre 4.3.3.

Emplois : Il s'agit d'un indicateur « économique », c'est-à-dire qui fournit des informations sur l'attractivité économique d'une commune. Les informations disponibles sur ce sujet sont agrégées à la commune. Il s'agit d'analyser la répartition des emplois entre les 3 secteurs d'activité et de tenir compte du nombre d'emplois par commune. Le secteur d'activité à une importance non négligeable. En effet, si l'on parle du secteur primaire, ce dernier ne permet pas d'influencer positivement l'attractivité économique d'une commune. Le secteur primaire n'étant pas en expansion et ne permettant pas la création de nombreux nouveaux emplois dans les années à venir. De ce fait, les emplois du secteur primaire ne sont pas introduits dans l'indicateur. Les emplois des secteurs secondaire et tertiaire sont quant à eux comptabilisés et ont le même poids. En effet, dans une région telle que la zone d'étude il est fortement probable de voir s'établir une entreprise artisanale appartenant au secteur secondaire mais tout autant possible d'y voir une entreprise de service. La somme de ces deux secteurs donne une information sur le nombre d'emplois disponibles sur la commune. Il est cependant important de rapporter ce nombre d'emplois au nombre d'habitants actifs de la commune considérée. Ainsi la variable emploi est établie à partir de la somme des emplois dans les secteurs secondaire et tertiaire, rapportée à la population active de la commune.

Densité arrêts bus : cette variable est agrégée au niveau communal. Le problème dans notre cas est que la zone d'étude se situe en zone rurale et non urbaine (cf. chapitre 3), la densité des arrêts de bus est donc faible. Ainsi il est plus judicieux de tenir compte d'une échelle globale qui représente mieux la situation actuelle des communes, une analyse de la densité d'arrêts de bus à une échelle trop fine telle que l'hectare serait dénouée de sens. Un autre élément important est de rendre ce critère plus représentatif. Il s'agit pour cela de combiner l'information de la densité d'habitant avec le nombre d'habitants sur la zone considérée. On obtient ainsi le nombre d'arrêts de bus par habitant.

2.10 Synthèse

Maintenant que l'ensemble des variables définitives sont déterminées, il convient de créer des critères formés par ces variables. La démarche suivie est celle développée auparavant dans ce chapitre. En effet, l'approche développement durable est particulièrement adaptée aux problématiques liées à l'aménagement du territoire. Un critère est développé pour chaque domaine du DD.

L'aspect **économique** est traité à travers les notions de taux d'imposition, d'emplois et de mobilité liée à la pendularité.

Le **social** sera représenté par les variables de sécurité, de stratification démographique, de mobilité liée à l'accessibilité et finalement de proximité et de densité des arrêts de bus.

Le domaine **environnemental** est scindé en deux sous-critères permettant de traiter tour à tour les aspects terrain et paysage qui forment un tout complémentaire qui est finalement agrégé dans le facteur environnemental.

Le sous critère **terrain** regroupe les variables de stabilité du sol, eaux souterraines, humidité et marécages alors que le sous critère **paysage** comprend l'information relative à la température, l'ensoleillement, la vue, la pente ou encore l'orientation du terrain.

Cette répartition tient compte uniquement des variables qui sont effectivement développables. Pour se référer à la liste complète des variables initialement prévue sans tenir compte de la disponibilité des données consultez l'ANNEXE 3.

Il est maintenant nécessaire de prendre un peu de recul afin de ne pas perdre de vue le problème lié au manque d'exhaustivité qui touche à une modélisation aussi complexe que celle du territoire. Ainsi il s'agira dans les prochains chapitres de prêter une attention toute particulière à la détermination de la pondération intra et inter critère, ceci afin de rentabiliser l'information à disposition au maximum et d'éviter les pertes d'informations par une utilisation maladroite de cette dernière.

3 Zone d'étude

3.1 Détermination du site

Une zone d'étude a été déterminée avec comme objectif la mise en application des principes et concepts de modélisation du territoire développés tout au long de ce projet. A travers la réalisation de cet exemple, les difficultés concrètes liées à l'acquisition des données, puis au traitement de ces dernières ont été mises en évidence.

Le choix du site s'est fait en fonction d'une part de la nouvelle répartition des pôles de développements régionaux déterminée dans l'avant projet définitif du nouveau plan directeur vaudois et d'autre part en fonction de la disponibilité des données concernant le territoire.

Ainsi la région d'Orbe et Chavornay est apparue comme étant intéressante. La situation de ces communes sur l'axe Lausanne-Yverdon en fait un lieu de développement potentiel élevé. De plus, cette région ne connaît pas encore la saturation qui accable le territoire sur l'axe Lausanne-Genève. La desserte de ces deux communes est très bonne, que ce soit par la route (sorties autoroutières indépendantes pour les deux communes) ou en transport public, Chavornay se situant sur la ligne CFF Lausanne-Neuchâtel et Orbe étant reliée à la gare de Chavornay par une ligne CFF auxiliaire.

3.2 Détermination de la zone

Une fois le site déterminé, il a fallu définir les limites de la zone d'étude. La démarche entreprise a été d'analyser les plans d'affectation des communes, analyser la disponibilité des terrains ainsi que les systèmes de dessertes en transports publics. Le but ultime étant de définir quelles communes font parties de l'agglomération d'Orbe et Chavornay, quelles communes sont dépendantes, sous l'emprise du développement des communes centrales que sont Orbe et Chavornay. En d'autres termes, il s'agit d'établir une sorte de bassin versant topographique, économique et social autour de ces deux communes.

Pour chaque commune susceptible d'appartenir à l'étude, les éléments suivants ont été observés. Le district, le nombre d'habitants, la densité de population, l'évolution de la population entre 1850 et 2000, la présence de zones à bâtir, l'accessibilité en TP et en transport individuel et finalement si la commune considérée est limitrophe à Orbe ou Chavornay. Un tableau résumant ces informations est disponible à l'ANNEXE 4.

Finalement la zone d'étude comprend douze communes. La topographie du lieu et l'accessibilité ont été les éléments décisifs dans la définition de la zone. En effet, la plaine de l'Orbe impose par elle-même ses limites, de même le cordon boisé qui sépare à peu de choses près les communes du district d'Echallens et d'Orbe sert de frontière naturelle à la zone. Au niveau de l'accessibilité, la proximité aux villages centraux ainsi qu'à l'autoroute et à la voie de chemin de fer a été privilégiée. Cette dimension permet certaines analyses comparatives tout en gardant une taille admissible afin de rendre l'acquisition des données possible.

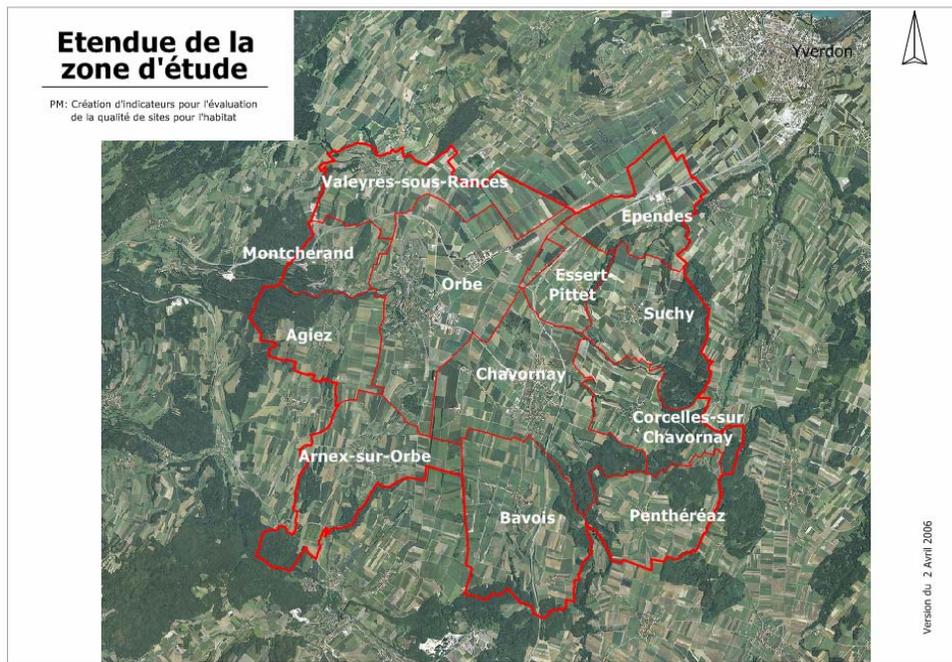


Figure 8: Délimitation de la zone d'étude

Dans une seconde étape, une zone d'étude plus large doit être définie, ceci dans le but de développer des variables à une échelle plus petite que celle de la zone d'étude. Typiquement, la problématique liée à la pendularité fait appel à une zone allant de Berne à Genève. Il ne s'agit donc pas d'un territoire qu'il faudra représenter spatialement, mais de l'étendue nécessaire lors de l'acquisition des données. On différenciera donc l'échelle locale, les douze communes de la zone d'étude, de l'échelle globale qui comprendra l'ensemble des données nécessaires au calcul des variables.

4 Système d'information géographique

4.1 Logiciels utilisés

Au cours de ce projet deux logiciels de SIG ont principalement été utilisés. Premièrement Manifold version 6.5 et dans une seconde étape IDRISI Kilimanjaro. Le point fort de Manifold se situe essentiellement en ce qui concerne l'utilisation et le traitement des données vectorielles alors qu'IDRISI est nettement plus efficace pour le traitement des données raster. Il a donc été nécessaire de combiner l'utilisation de ces deux logiciels, les méthodes de transfert de données étant bien élaborées entre ces deux logiciels, cela n'a pas posé de problèmes particuliers en dehors du temps nécessaire au transfert successif de l'ensemble des données.

4.2 Base de données

Normalisation [11]

Cette étape de conception d'une base de données consiste à éliminer toutes les redondances possibles entre les différents attributs que contiennent les tables de données.

Les formes normales sont les suivantes :

Première forme normale, élémentarité des propriétés : tous les attributs doivent être uniques et élémentaires selon le point de vue des usagers.

Deuxième forme normale, dépendance complète d'une propriété relativement à l'identifiant : il ne doit pas y avoir d'attribut dont les valeurs ne dépendent pas directement de l'identifiant.

Troisième forme normale, dépendance transitive : toute propriété ne doit dépendre que de la clé, i.e. il ne doit pas y avoir d'attribut dont la valeur dépend de la valeur d'un autre attribut qui ne soit identifiant.

Quatrième forme normale, dépendance de Boyce-Codd : aucune partie de l'identifiant ne doit dépendre de la valeur d'un autre attribut qui n'est pas identifiant.

La création de la base de données est une étape longue et fastidieuse. Il s'agit en effet, non seulement d'acquérir les données, mais également et surtout de s'assurer de la cohérence entre ces dernières, de sélectionner les attributs nécessaires à la création des variables. En d'autres termes de façonner la base de données et de la normaliser (cf. encadré Normalisation).

La normalisation des données s'est faite au fur et à mesure de l'acquisition de ces dernières. Ainsi le schéma conceptuel de données correspond-il scrupuleusement à la structuration des tables des données de bases. Toutefois, le MCD final présenté ci-dessous diverge légèrement par rapport au MCD prévu initialement. En effet, plusieurs données telles que l'équipement des parcelles, les sites pollués ou encore les anciennes décharges n'ont hélas pas pu être intégrées dans la version finale car les données n'ont pas pu être obtenues.

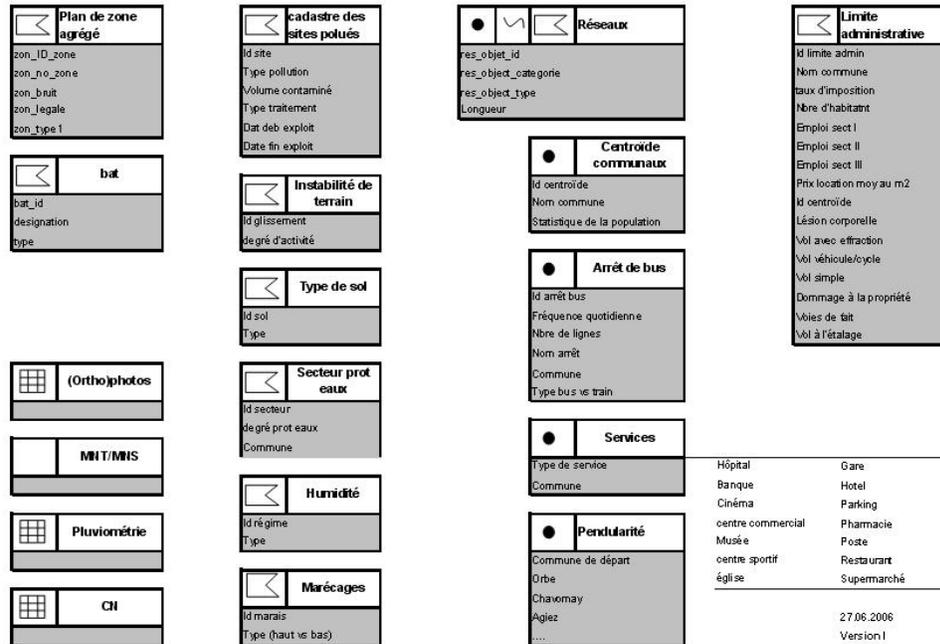


Figure 9: Schéma conceptuel de données

4.3 Réalisation de variables, critères et indicateur

4.3.1 Démarche

Marche à suivre

L'approche par profils du territoire a déjà été introduite au chapitre 2.2. La prochaine étape est donc de structurer les variables de façon à pouvoir extraire l'information contenue dans les données. Ainsi, l'approche réalisée est la suivante : construction des variables, établissement des critères, établissement d'un indicateur unique. Avant de pouvoir établir un critère, il est tout d'abord nécessaire de créer le regroupement entre les différentes variables qui interviennent dans ce critère et de les rendre compatibles au niveau de l'échelle (ordinaire, cardinale, nominale). Finalement, un critère est donc dépendant des variables précédemment choisies. Ces dernières sont échelonnées et donc compatibles. Il suffit donc de déterminer la pondération voulue entre les variables pour déterminer le critère. Les poids peuvent facilement être modifiés, cela ne change en rien la structure du critère qui reste dépendante des mêmes variables. Une telle démarche offre la possibilité de modifier les valeurs des poids sans fournir un effort considérable.

En suivant la démarche précédemment définie, les variables sont élaborées de façon à pouvoir être agrégées afin de définir les critères suivants :

- Terrain
- Paysage
- Social
- Economique

Par la suite, les critères Terrain et Paysage seront agrégés en un seul critère environnement. Finalement, les critères environnement, social et économique seront à leur tour agrégés dans le but de développer un indicateur unique d'attractivité. La détermination des poids est traitée dans le chapitre 4.4.

Le résultat attendu n'est autre que des cartes du territoire fournissant une évaluation pour chaque variable, critère et indicateur des résultats visuels qui permettent de quantifier l'attractivité du lieu en relation avec la variable considérée. Ainsi l'établissement d'une carte par variable est nécessaire, de même pour les critères.

Unité de référence des variables, critères et indicateur

Avant de déterminer la méthodologie de mise en œuvre pour le développement de chaque variable, il est important de déterminer l'unité de base choisie pour l'agrégation de ces dernières. En effet, plusieurs possibilités existent pour la réalisation de telles variables. Il est ainsi possible de déterminer des variables à l'échelle d'une commune, d'une parcelle ou encore de choisir les zones du plan d'affectation comme éléments de base de la détermination des variables. Ces différents degrés d'agrégation ne sont cependant pas jugés optimaux dans le cas présent. Même si une définition égale à celle de la parcelle peut sembler intéressante de part le haut degré de détails, cette alternative n'est que difficilement réalisable du fait de la masse de données à traiter. De plus, beaucoup de données ne sont initialement pas agrégées à cette échelle, et le découpage du territoire en parcelles ne correspond pas à la qualification de l'attractivité qui est poursuivie dans ce projet. Le degré d'agrégation a finalement été défini en fonction de la grille hectométrique des données issues du recensement fédéral de 2000. Ainsi il s'agit de créer des grilles raster, qui contiennent pour chaque pixel la valeur de la variable considérée. Cette méthode permet par la suite de combiner de façon très aisée les diverses variables, afin de fonder les critères. De plus, l'échelle de l'hectare est particulièrement adaptée à la problématique traitée. Il ne s'agit ni d'une échelle trop grande nécessitant de traiter un nombre exagéré de données, ni d'une échelle trop petite qui ne permettrait pas de mettre en évidence les nuances. Finalement, ce degré d'agrégation permet de traiter des variables à d'autres échelles, telles que la commune par exemple. Il suffit ensuite de passer du format vecteur définissant la commune comme un polygone, au format raster attribuant la valeur initialement donnée au polygone à l'ensemble des pixels défini par la commune considérée.

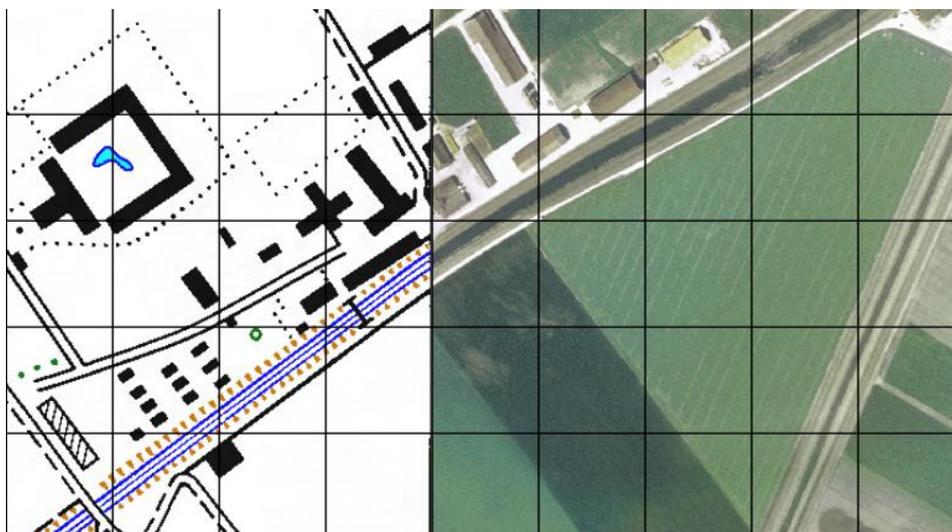


Figure 10: Illustration de la grille hectométrique avec en fond de plan vecteur 25 et l'orthophoto

4.3.2 Elaboration des variables

Convention :

Afin de pouvoir rendre l'agrégation entre variables plus aisée par la suite, il est utile d'introduire immédiatement les points suivants :

On différencie variable et contrainte. Une contrainte étant un masque que l'on impose au territoire, ceci afin d'évincer certains lieux jugés comme impropres à la construction. Les cartes de contraintes sont binaires, une valeur de 1 est attribuée si le pixel est jugé constructible, alors que la valeur 0 l'exclut.

Les valeurs des variables s'échelonnent entre 0 et 255 ; ces bornes sont arbitraires. En effet, rien n'est plus simple que de rééchelonner un échantillon de pixels, toutefois le logiciel IDRISI utilisé par la suite demande un tel échelonnage ; il est donc judicieux de travailler directement avec ces valeurs.

La notion de contrainte s'étend également aux bornes que l'on définit pour les variables. Ainsi, les valeurs extrêmes que peuvent prendre les scores des variables sont limitées. Ceci représente également une forme de contrainte.

Au sein du chapitre 2.9, les indicateurs ont été définis. Il s'agit maintenant de les réaliser avec l'aide des outils SIG à disposition. Pour chaque indicateur une valeur unique représentative de ce dernier doit être déterminée. Pour certaines variables simples, cela ne pose pas de problèmes. La donnée peut directement être traduite en une valeur représentative, par exemple les variables pente et orientation découlent du MNA. D'autres variables demandent de plus amples manipulations des données avant de livrer un résultat. Ainsi, la variable sécurité ou celles liées à la mobilité, pour ne citer que celles-ci, demandent un prétraitement.

4.3.3 Variables

Rasterisation

Les variables dépendantes du MNA sont par nature définies au format raster, la maille est de 25 mètres. Comme décrit auparavant, une grille hectométrique correspondant à la répartition des données issues du recensement fédéral de 2000 est utilisée comme base de détermination des variables qui ne sont au départ pas de nature raster. La grille hectométrique correspond logiquement à une maille de 100 mètres de côté. Ainsi, certaines variables seront directement déterminées au niveau du pixel, comme par exemple la densification, la stratification démographique ou encore la proximité aux arrêts de bus. D'autres variables nécessitent la transformation de zones vectorielles en informations raster telles que la variable secteur protection des eaux ou encore la vue. Finalement, la troisième alternative correspond à un cas particulier de la précédente. En effet, des variables comme la sécurité, l'emploi, la pendularité sont agrégées à la commune. Il s'agit donc de transformer le polygone vectoriel représentant la commune en information raster. Ces différentes étapes de rasterisation sont donc réalisées dans le logiciel Manifold à travers la transformation de cartes vectorielles en surface, une surface étant une image raster possédant une valeur par pixel.

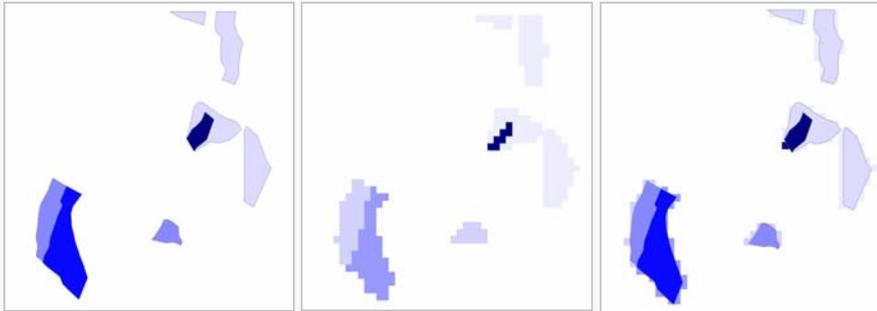


Figure 11: Processus de "rasterisation" pour la variable secteur protection des eaux, de gauche à droite: information raster, information vectoriel, superposition des polygones vectoriels aux pixels raster.

Densification

Cette variable regroupe l'information issue de deux sources de données différentes. D'une part, le plan d'affectation agrégé qui détermine des valeurs de COS pour les différentes zones du plan et d'autre part la couche bâtiments du plan cadastral qui met à disposition la surface au sol des bâtiments. De ces deux éléments, il est possible d'extraire un COS théorique qui est issu de la législation en vigueur, à savoir le plan d'affectation et dans une seconde étape un COS réel issu de l'occupation réelle du sol. Pour déterminer le COS réel, il a tout d'abord fallu déterminer la maille de référence, comme exprimée plus haut. L'hectare a été retenu comme unité de base. Ainsi, la détermination du COS se fera pour chaque hectare du territoire. Finalement, pour chaque pixel de la grille hectométrique, il s'agit de déterminer la proportion de surface bâtie par rapport à la surface totale de 10'000 m², soit un hectare. Cette dernière opération se fait à travers une requête (cf ANNEXE 5) qui fournit une table de résultats comprenant pour chaque pixel de la grille son identifiant et le COS de la maille considérée.

Afin de pouvoir déterminer une variable représentant la densification du territoire, il est ensuite nécessaire de comparer l'occupation théorique et réelle du sol. En calculant le rapport suivant :

$$COS_Théorique / COS_Réal$$

On obtient ainsi une valeur par hectare aisément interprétable. Les pixels valant 1 et plus sont à considérer comme saturés de construction, la surface bâtie est déjà supérieure à ce que la législation préconise. Au contraire, les zones proches de 1 sont encore peu denses et peuvent le devenir. Dans la logique de l'avant-projet définitif du plan directeur vaudois, les zones déjà urbanisées mais potentiellement densifiables sont à privilégier. Il s'agit dans ce cas d'attribuer un score faible aux zones très peu denses, qui ne sont pratiquement pas bâties et un score élevé aux zones déjà hautement densifiées mais n'atteignant tout de même pas la limite fixée par la législation. Ainsi, un pixel ayant une valeur nulle reste nul, un pixel ayant une valeur égale ou supérieure à 1 devient nul car la zone est déjà saturée et on ne peut plus accueillir de nouvelles constructions. Les pixels compris entre 0 et 1 non compris sont rééchelonnés entre 0 et 255 de façon linéaire, de sorte qu'une zone déjà hautement bâtie, ayant un rapport COS théorique sur COS réel élevé, ait de même un score élevé.

Dans le cadre de ce projet, seules les données de la commune d'Orbe ont été acquises en ce qui concerne la base cadastrale. De ce fait, le COS réel n'a pu être déterminé que pour cette commune.

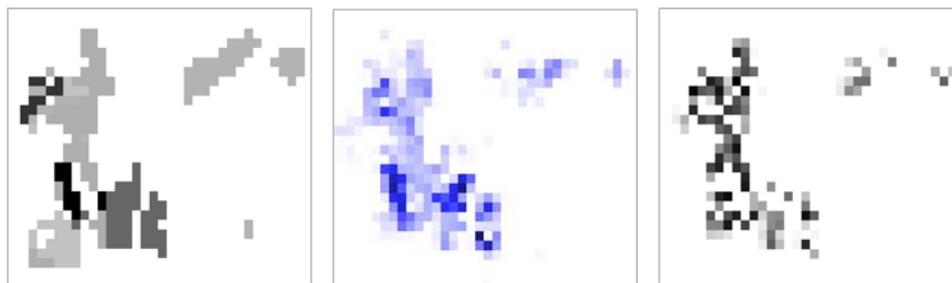


Figure 12: COS Théorique

COS Réel

Densification

Eaux souterraines

La variable qualifiant les eaux souterraines est particulière dans ce sens qu'elle se répartit entre la notion de variable « simple » et la notion de contrainte. En effet, les secteurs A, B et C sont considérés comme des limitations à la liberté de construire, mais si l'on considère une zone S, la limitation étant complète, elle se transforme en contrainte.

Les différents secteurs influencent le territoire de la façon suivante : Secteur A comprend les eaux souterraines exploitables ainsi que les zones attenantes nécessaires à leur protection. Le secteur B est constitué des zones moins sensibles mais nécessitant tout de même une certaine attention dans le type de culture ou d'utilisation du territoire. Le secteur C est constitué des zones ne subissant pratiquement pas de contraintes liées au secteur protection des eaux mais étant situé à proximité d'une nappe phréatique exploitée.

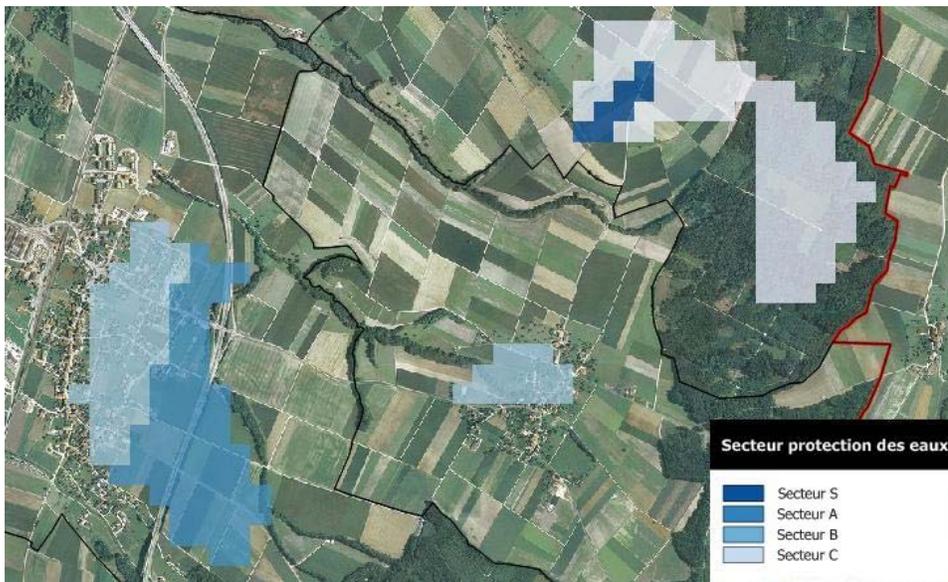
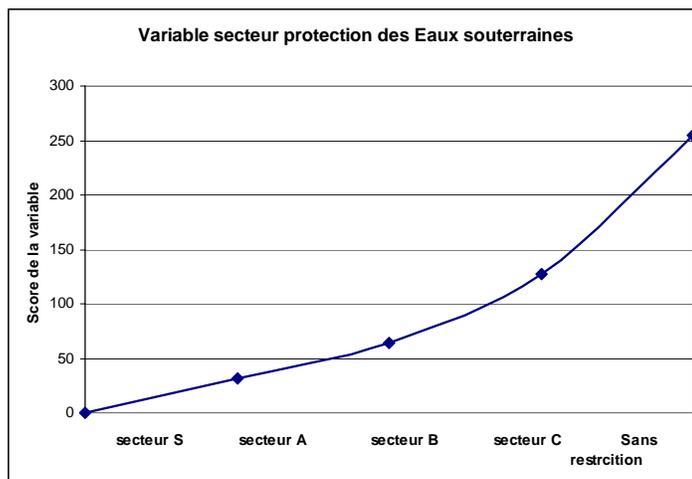


Figure 13: Variable secteur protection des eaux souterraines agrégée à l'hectare, orthophoto en fond de plan

Les scores attribués aux différents pixels dépendent de leur appartenance à l'un des secteurs de protection des eaux. Ainsi, une zone n'étant pas concernée par une quelconque restriction liée aux eaux souterraines se verra attribuer le meilleur score soit 255 ; au contraire, la zone S est considérée



comme nulle. La répartition des valeurs entre ces deux extrêmes est déterminée ainsi : à chaque seuil de restriction supplémentaire, le score double.

Figure 14: Détermination des scores de la variable secteur protection des Eaux

Humidité

La variable humidité est créée selon le même schéma que la variable eaux souterraines précédemment définie. Il s'agit d'une part, d'une variable prenant différents scores en fonction de la qualité du terrain, et d'autre part, d'une contrainte définissant la zone pour laquelle les données sont disponibles. En effet, la carte servant de base à la détermination de l'humidité n'étant pas complète (les zones de villages et certaines autres zones du territoire n'ont pas été analysées) il existe des endroits du territoire non définis. Deux possibilités sont offertes pour résoudre cette problématique. Il est possible d'attribuer une valeur moyenne aux zones non définies, on obtient ainsi une carte raster pour la variable humidité ou

chaque pixel reçoit une valeur ; toutefois, cette alternative biaise fortement la variable humidité car l'information qui est introduite est fortement incertaine. L'autre possibilité, réside dans la création d'un masque définissant la zone pour laquelle la variable humidité est définie. Ce masque est ensuite appliqué à l'ensemble des critères et à l'indicateur qui tiennent compte de la variable humidité. Ainsi, lors de la consultation des cartes résultantes, l'utilisateur peut choisir de prendre la variable humidité en compte ou non. S'il choisit de l'intégrer au calcul des critères et de l'indicateur, alors le masque sera appliqué, et uniquement les pixels pour lesquels l'humidité est définie auront alors une valeur. Dans le cas contraire, tous les pixels seront déterminés, mais la variable humidité ne sera pas prise en compte. Il s'agira par la suite de déterminer cette subtilité clairement dans l'interface.

Finalement les valeurs suivantes sont attribuées aux pixels :

- 0 – Sol aéré, sans excès d'eau
- 0.5 – Sol au régime intermédiaire entre aéré et peu perméable
- 1 – Sol sur sous-sol peu perméable avec régime de nappe perchée temporaire
- 2 – Idem 1, plus accusé
- 3 – Sol à régime de nappe souterraine abaissée, par drainage, à ressuyage plus ou moins lent suivant la texture et avec engorgement temporaire en cas de sol ou sous-sol peu perméable
- 4 – Sol à régime de nappe souterraine influençant encore l'engorgement assez haut dans le profil pour limiter la gamme de cultures ou des essences en station

Un échelonnage linéaire est bien adapté à ce genre de variables, du fait que le degré de désagrément engendré par l'humidité est proportionnel au taux d'humidité du lieu. Ainsi les scores sont rééchelonnés de 0 pour le moins bon score (0) à 255 pour le meilleur (4).

Température

La variable température dépend du MNA, du gradient de température et d'une température de référence. Ainsi, l'altitude de référence a été extraite de l'atlas de la Suisse, la valeur est prise pour la commune d'Orbe avec une référence altimétrique à 479 m et une valeur moyenne de température annuelle de 9°. Le gradient de température est issu de la carte Primault de 1972 [9]. Il correspond à 1°C pour 183 mètres de dénivellation défini par les stations de Genève, Montreux, Lausanne et Leysin. La surface de température a donc été obtenue en appliquant une transformation au MNA (surface → transform) ; la fonction est la suivante :

$$Y[°C] = 9[°C] - ((X[m] - 479[m]) * 1[°C] / 183[m])$$

Y : Température annuelle moyenne du pixel considéré

X : Valeur altimétrique du pixel

On obtient ainsi une carte déterminant la température en degré Celsius. Or, on s'intéresse au score de chaque pixel du territoire par rapport à la variable considérée. Il s'agit donc d'appliquer un rééchantillonnage des valeurs initialement comprises entre 6° et 9° pour la zone considérée dans le projet. Un score nul est attribué au pixel affligé d'une température de 6° alors que la valeur 255 est donnée aux pixels ayant une température de 9°. L'évolution entre ces deux extrema est linéaire.

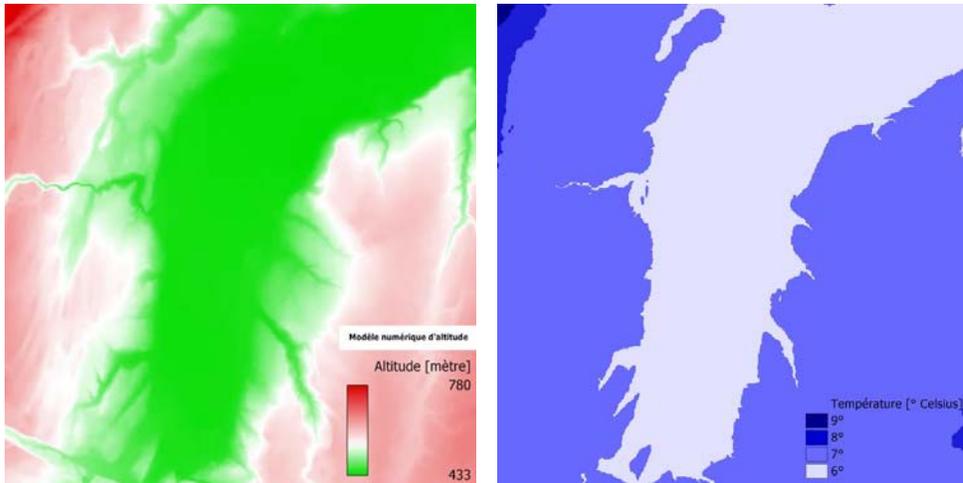


Figure 16: Modèle numérique d'altitude recouvrant la zone d'étude Figure 16: Carte de température, directement issue du MNA

Ensoleillement

Le logiciel IDRISI offre une fonction très efficace appelée « Solar Analyst » ; cette dernière permet de déterminer une durée moyenne d'ensoleillement quotidien sur une année. Pour définir cette variable, il faut introduire le modèle numérique de terrain de la région considérée, et définir la position de la région afin que la fonction puisse situer les divers axes de positionnement du soleil au cours de l'année. Les valeurs sont ensuite échelonnées comme pour les autres variables entre 0 et 255, avec une évolution linéaire entre les valeurs extrêmes.

Figure 17: Carte de l'ensoleillement mettant en évidence une vallée. Les zones les plus sombres sont les moins ensoleillées. On remarque immédiatement l'analogie avec la topographie du terrain.



Pente

La pente d'un terrain se détermine à partir du MNA. Mathématiquement, lorsque l'on dispose d'une grille raster de valeurs, en l'occurrence l'altitude, il existe plusieurs méthodes de détermination de la pente. La méthode appliquée dans ce projet par le logiciel Manifold est la suivante :

Soit la fenêtre englobant les pixels Z :

La fonction est la suivante :

$\text{atan}(\text{hypot}(dx, dy))$ Avec:

$$dx = ((z3 - z1) + (z6 - z4) + (z9 - z7)) / 3$$

$$dy = ((z1 - z7) + (z2 - z8) + (z3 - z9)) / 3$$

Z1	Z2	Z3
Z4	Z5	Z6
Z7	Z8	Z9

Une fois cette étape réalisée, il s'agit d'échelonner les résultats. En effet, on dispose pour l'instant d'une pente moyenne en degré, or on désire établir un score proportionnel à la pente. Ainsi, le rééchelonnage suivant est établi : une pente inférieure à 3° est considérée comme n'étant pas un obstacle à la construction, la valeur 255 est donc attribuée. Une pente supérieure à 10° est définie comme n'étant pas apte à accueillir de l'habitat. Les coûts liés à la construction ainsi que les désagréments causés par un terrain fortement en pente justifient la valeur nulle attribuée à ces pixels. Finalement, les pixels possédant une valeur de pente entre 3° et 10° se verront échelonner entre 255 et 0 de façon linéaire.

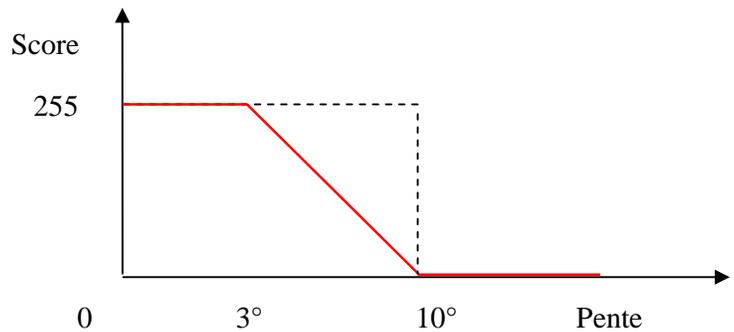


Figure 18: Echelle d'attribution des scores de la variable Pente

Vue

Afin de servir d'exemple, quatre points voués d'un intérêt de par leur situation ont été déterminés. Ainsi, trois sommets de montagnes proches de la zone d'étude sont choisis : le Mont de Baulmes, les aiguilles de Baulmes ainsi que le Suchet. Le troisième site ne se réduit pas à un seul point. Il s'agit en effet du lac de Neuchâtel ; ce dernier est modélisé par un semi de points réparti sur l'ensemble de la zone lacustre pour laquelle le MNA est à disposition. La démarche de détermination des scores est la suivante : création d'une carte binaire à partir de chaque point de vue (visibilité/non visibilité) donnant ainsi une valeur à chaque pixel de la zone d'étude. Agrégation des quatre cartes pour former une unique variable. Rééchantillonnage des valeurs afin de déterminer le score de la variable.

La pondération permettant l'agrégation des 4 cartes est déterminée de telle façon que le poids de la vue sur le lac soit équivalent à celui sur les montagnes, 50% pour chacun. Ensuite au sein des trois sommets visés, le poids est considéré comme équivalent. Finalement, le lac représente 50% de la valeur du pixel et chaque sommet 16.66%.

L'échelle de répartition des valeurs est finalement modifiée de telle façon qu'un pixel ne bénéficiant d'aucune vue se voit attribuer la valeur 0, alors que les emplacements bénéficiant d'une vue maximale reçoivent une valeur de 255. L'évolution entre ces extrema est linéaire.

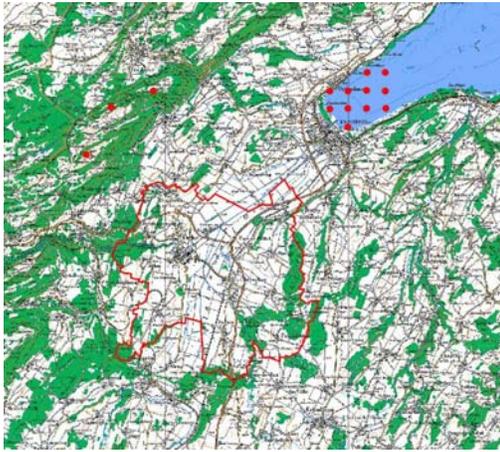


Figure 20: Positionnement des points de vue



Figure 20: Carte binaire représentant la vue depuis le lac de Neuchâtel

Orientation

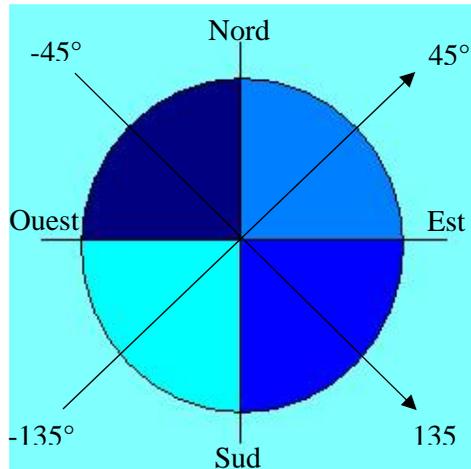
Il est possible de dériver l'information relative à l'orientation du terrain à partir du modèle numérique d'altitude. Cette dernière opération fournit pour chaque pixel de la zone d'étude une valeur comprise entre 180° et -180° , une valeur nulle indiquant la direction Nord alors que les extrema indiquent le Sud. Grâce aux fonctionnalités de Manifold, il est possible de regrouper ces valeurs en quatre catégories uniquement. Ainsi, la répartition suivante des valeurs est réalisée :

- 180	< valeur pixel < - 135	Sud
- 135	< valeur pixel < - 45	Ouest
- 45	< valeur pixel < 45	Nord
45	< valeur pixel < 135	Est
135	< valeur pixel < 180	Sud

Finalement, les quatre variables sont rééchelonnées de la façon suivante :

- 1 (Nord) – 0
- 2 (Sud) – 255
- 3 et 4 (Est et Ouest) – 127.5

N'ayant pas de valeur intermédiaire, l'échelonnage s'arrête là.



Stratification démographique

La répartition de la population est déterminée à l'hectare selon le recensement fédéral de 2000. Ainsi, pour chaque pixel de la zone d'étude, il est possible de déterminer la variance entre la répartition nationale de la population dans les différentes tranches d'âge et la répartition du pixel considéré. Ainsi, on obtient des résultats variant de 48.23 à 11'158.23. En effet la pyramide des âges est scindée en dix classes (0-9, 10-19, 20-29, etc...) et pour chaque classe, la répartition peut être plus ou moins éloignée de la moyenne suisse. Il faut toutefois relativiser ces valeurs car elles dépendent fortement de la population par hectare. En effet, un hectare très

peuplé aura plus de chances de se rapprocher de la valeur nationale alors qu'un hectare avec peu d'habitants s'éloignera presque assurément de la moyenne nationale. Les zones non habitées prendront donc une valeur nulle. En analysant les valeurs obtenues pour la variable dans le tableau regroupant les statistiques de cette dernière (cf. tableau), il semble que la majorité des valeurs soient plutôt proches de la moyenne suisse puisque la moyenne des écarts-type est plus proche du résultat le plus faible (proche de la moyenne suisse) que du résultat le plus élevé (éloigné de la moyenne suisse). On peut définir l'écart-type comme étant la limite des valeurs faisant varier notre variable. Ainsi toutes les valeurs inférieures à la moyenne varieront. Par contre, les valeurs supérieures à 4733.96 auront toutes la même valeur à savoir 0 pour montrer leur éloignement de la statistique. A l'opposé, la valeur 48.23 recevra la valeur 1 car c'est elle la plus proche de la distribution nationale. Ces dernières réflexions sont résumées à la figure 21.

stdev	2503.34
average	2230.62
Min	48.23
Max	11158.23
SUM	1304916

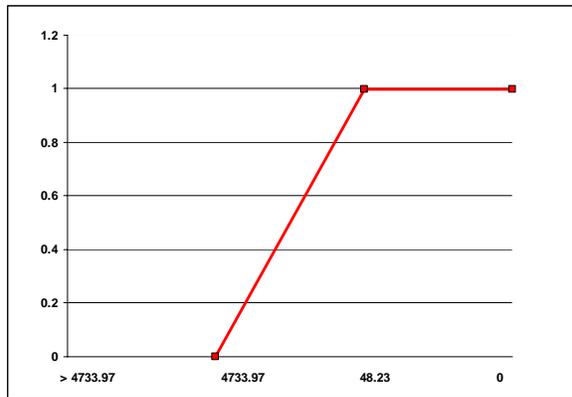


Figure 21: Détermination des scores pour la variable "stratification démographique" en fonction de la variance de répartition de la population au sein de la pyramide des âges.

Sécurité

Comme défini au chapitre 2.9.3, la variable sécurité dépend de plusieurs données. Il est nécessaire de déterminer une pondération entre ces données afin de permettre l'agrégation de l'information. La méthode utilisée pour atteindre cet objectif est Macbeth, cette méthode est décrite en détails au 4.4.1. En déterminant tour à tour, pour chaque élément de donnée, son importance relative par rapport aux autres, il est finalement possible d'obtenir un jeu de poids qui tient compte de la transitivité des informations introduites. Dans le cas de la variable sécurité, Macbeth fournit les résultats suivants (cf. Figure : 22).

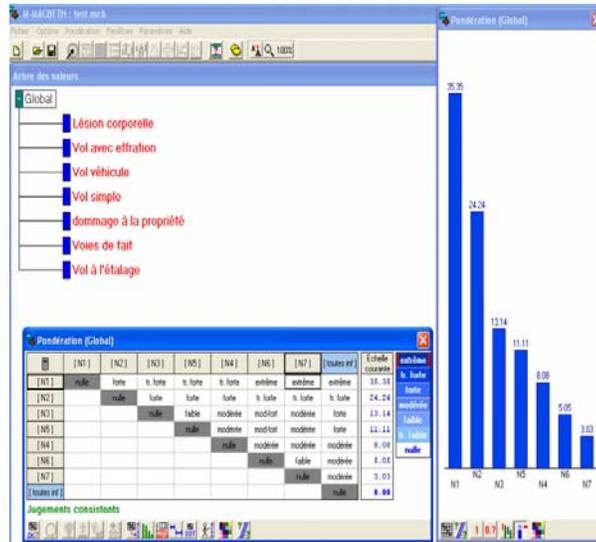


Figure 22: Pondération déterminée selon la méthode Macbeth, les Ni correspondent dans l'ordre aux variables introduites en haut à gauche

La pondération réalisée, il est possible de déterminer pour chaque commune une variable représentant le taux de délit. Afin de rendre cette valeur plus représentative, elle est ensuite corrélée avec le nombre d'habitants respectif de chaque commune. Finalement, un rééchelonnement est pratiqué afin de distribuer les valeurs entre 0 et 255. La valeur maximale étant attribuée à la commune la plus sûre.

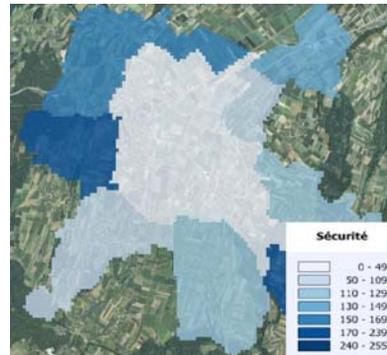


Figure 23: Carte de la variable sécurité

Mobilité, accessibilité

La variable liée à la mobilité et traitant de l'accessibilité est essentiellement basée sur la distance séparant le lieu de départ, à savoir l'ensemble des pixels de la grille hectométrique, et l'ensemble des lieux de destination précédemment déterminés. Une méthode de détermination a été élaborée se rapprochant le plus possible de la réalité. Toutefois cette méthode n'a pas pu être appliquée à la problématique traitée (cf. Encadré traitant de la mobilité p.47). Malgré l'impossibilité d'appliquer la méthode permettant de déterminer avec précision le temps de parcours entre les divers points de destination, le reste de la méthode est strictement identique. Il s'agit en effet de créer différentes grilles pixels, plus précisément une par lieu de destination. Ainsi, au sein de la carte représentant par exemple la distance à la gare la plus proche, chaque pixel contient une valeur correspondant à la distance séparant le pixel considéré de la gare la plus proche. En effet, une des tâches principales a été d'obtenir pour chaque pixel une seule valeur, et non l'ensemble des distances séparant le pixel de toutes les gares de la zone. Cette subtilité s'est réglée par l'introduction d'une requête sélectionnant uniquement la valeur minimale.

```

Select [Départ].[pixel], min(dist) as dist
from (
SELECT Distance([Départ].[Geom (I)], [Banque 2].[Geom (I)]) as dist,
[Départ].[pixel],
[Banque 2].[type], [Départ].[Geom (I)] as geometrie
from [Banque 2], [Départ])
Group by [Départ].[pixel]

```

Figure 24: Query déterminant une table regroupant le numéro du pixel et la distance minimale

On obtient alors une carte par lieu de destination, soit : banque, centre commercial, centre sportif, cinéma, église, gare, hôpital, hôtel, musée, parking, pharmacie, poste, restaurant, supermarché. La liste de ces lieux de destination n'est hélas pas aussi représentative que celle décrite dans la présentation de la variable. Toutefois, ces destinations servent d'exemple d'application. L'étape suivante consiste à définir l'appartenance de chaque lieu d'accessibilité à une échelle différente. En effet, ces lieux sont reliés à diverses échelles. Par exemple, on acceptera de parcourir un plus long chemin pour rejoindre un musée qui représente un lieu de destination non fréquent par rapport à la poste qui devrait être située à proximité du domicile du fait que l'on s'y rend fréquemment. Il s'agit donc de créer différentes catégories en fonction desquelles on acceptera de parcourir un chemin plus ou moins long avant d'atteindre l'objectif. Ces trois niveaux sont, proximité directe (grande échelle), local et global (petite échelle)

La répartition des diverses destinations se fait de la façon suivante :

<u>Proximité directe</u> :	<u>Local</u> :	<u>Régional</u> :
Centre commercial	Banque	Musée
Centre sportif	Gare	Parking
Eglise	Hotel	Pharmacie
Poste	Restaurant	Supermarché

On détermine donc des budgets temps de transport acceptables pour ces différentes échelles. Dans ce cas, il faut toutefois noter que ces cartes sont informatives et révèlent la façon de procéder mais n'apportent pas une information très relevante. En effet, il faudrait pratiquer ainsi avec les données issues de l'algorithme en utilisant le vecteur 25. Dans le cas présent on se contente de définir des distances de parcours acceptables, sans tenir compte du parcours réellement emprunté. Ainsi :

Proximité directe : 0 à 1000 mètres. On attribue une valeur de 255, puis décroissant jusqu'à 3000 mètres.

Local : 0 à 2500 mètres. On attribue une valeur de 255, puis décroissant jusqu'à 6000 mètres.

Global : 0 à 5000 mètres. On attribue une valeur de 255, puis décroissant jusqu'à 14000 mètres.

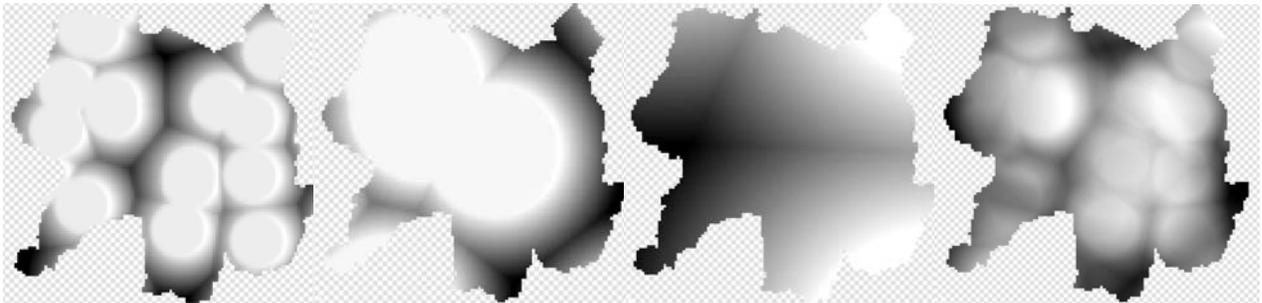


Figure 25: Carte d'accessibilité, de gauche à droite. Proximité directe, église. Locale, hôtel. Régionale, musée. Accessibilité finale

Mobilité

Les variables traitant de la mobilité requièrent beaucoup d'attention. En effet, qu'il s'agisse de déterminer le temps de transport entre deux communes pour la pendularité, la distance entre chaque pixel de la zone d'étude et les arrêts de bus les plus proches, ou encore le temps de transport entre chaque pixel et les différents équipements (école, banque, etc.) il s'agit à chaque fois de déterminer une distance entre deux points. La démarche adoptée dans la détermination des variables définitives n'est pas celle qui avait été initialement prévue. En effet, la principale limite dans la réalisation de ces variables fût la performance des ordinateurs à notre disposition. Ainsi sous ces contraintes, les distances ont simplement été déterminées comme une ligne droite entre le point de départ et d'arrivée. L'idée initiale était cependant bien plus proche de la réalité. Il s'agit de déterminer le chemin le plus court en fonction d'un réseau de voies de communication. Le logiciel Manifold met pour cela la fonction « optimal route » à disposition. Celle-ci détermine pour un point de départ et un point d'arrivée le chemin le plus court en tenant compte de la vitesse autorisée sur les différents tronçons du réseau.

Les deux principales difficultés dans l'application automatisée de cette fonction résident dans le fait que l'algorithme ne fonctionne que pour deux points à la fois, alors que dans le cadre de ce projet, les tables des points d'arrivée et de départ contiennent un nombre élevé de points. Il n'aurait pas été envisageable d'appliquer manuellement l'algorithme à l'ensemble des couples formant un trajet, en effet, pour information la grille de pixels correspondant aux points de départ regroupe pas moins de 14'000 points. Deuxièmement l'algorithme ne fonctionne que si les points sont directement sur un tronçon du réseau routier. Dans ce problème de topologie il est nécessaire de ramener les points de départ et d'arrivée sur le réseau routier. Ces deux difficultés ont nourri une longue réflexion qui a abouti à un script [ANNEXE 8] permettant non seulement de ramener chaque point sur le réseau routier, mais également, par l'imbrication de deux boucles « for », de relier l'intégralité des points de départ au points d'arrivée.

L'avantage de cette méthode réside dans le fait qu'elle est très précise et représente une modélisation beaucoup plus fine et plus proche de la réalité que la méthode finalement mise en pratique dans le projet, qui ne tient pas compte de la structure réelle du réseau routier.

Proximité arrêt bus

La démarche entreprise pour déterminer cette variable est similaire à la méthode définissant l'accessibilité. Il s'agit cette fois de définir comme point de départ les arrêts de bus et comme point d'arrivée l'ensemble des pixels de la grille hectométrique appartenant à la zone d'étude. On obtient également des zones tampons autour des arrêts de bus. Afin d'échelonner cette variable, les extrema sont choisis ainsi :

De 0 – 500 mètres, la distance à parcourir est considérée comme entièrement acceptable, de

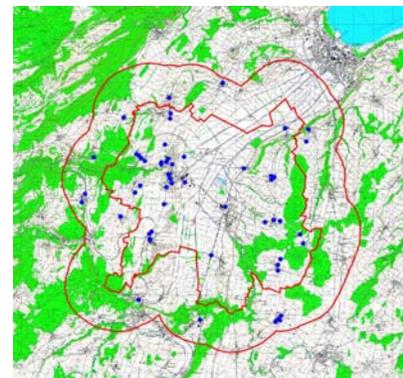


Figure 26: Définition de la zone d'étude et de la zone tampon (trait rouge), emplacement des arrêts de bus (points bleus)

ce fait les pixels se situant à cette distance d'un arrêt se voient attribuer la valeur 255.

De 500 – 1000 mètres, la distance à parcourir devient conséquente ; elle représente toutefois au maximum dix minutes de marche au rythme de 6 km/h. Le score des pixels diminuera ainsi de 255 pour une distance de 500 mètres à 0 pour une distance de 1000 mètres. L'évolution décroissante étant linéaire.

Tous les pixels étant situés à une distance supérieure à 1000 mètres d'un arrêt de bus possèdent un score nul.

Afin d'éviter les effets de bord lors de la détermination de l'éloignement des arrêts de bus aux pixels de la zone, la saisie des arrêts de bus a été entreprise de la manière suivante : une zone tampon a été introduite autour de la zone d'étude, tous les arrêts de bus situés dans cette espace ont été digitalisés et de ce fait insérés dans la base de donnée. Ceci rapproche sensiblement le modèle de la réalité.

Densité arrêt bus

La seconde variable dépendante des arrêts de bus est quant à elle agrégée à la commune. Il s'agit d'estimer la densité d'arrêts de bus au niveau communal. Cette estimation se fait en tenant compte non seulement du nombre d'arrêt de bus, mais également de la fréquence de desserte et du nombre de lignes passant par l'arrêt. Ainsi une fonction a été déterminée afin de représenter au mieux cette densité, cette dernière a été établie de façon empirique. Ainsi chaque arrêt s'est vu attribuer un poids de la façon suivante :

$$\left\{ \sum_{COMMUNE} [(Fréquence)^2 * (Nbre_de_ligne)]^{1/3} \right\} / Nbre_d'hab$$

Finalement le score communal est déterminé en sommant les poids des arrêts situés sur la commune considérée. L'échelonnement est tel, que la commune ayant le score le plus faible, reçoit une valeur nulle et la commune ayant la densité en arrêt de bus la plus élevée se voit attribuer la valeur 255. L'évolution entre les extrema étant linéaire.

Taux imposition

La variable déterminant le taux d'imposition est agrégée à la commune. Elle tient compte, d'une part, du taux d'imposition communal et, d'autre part, du coût au m² moyen de loyer par logement. Ainsi cela permet de relativiser les avantages fiscaux de la commune par rapport à l'attractivité en termes de loyers de la commune. La démarche suivante a été entreprise afin de classer les communes selon leur attractivité. Le loyer est donc exprimé en % par rapport au loyer le plus bas. De même, les taux d'imposition sont exprimés par rapport au taux le plus faible. Il s'agit pour ces deux variables de la commune de Montcherand (37.- de loyer annuel par m² et un taux d'imposition de 60%), qui a donc un score de 0%. A l'opposé on trouve Corcelles-sur-Chavornay avec le loyer le plus cher (69.- de loyer annuel par m²) et Penthéreaz avec le taux d'imposition le plus haut (82). Afin de combiner ces deux éléments, une simple addition suffit à mettre en évidence la variable. Finalement les résultats sont

rééchelonner de 0 pour la moins bonne performance à 255 pour le meilleur score.

Emplois

Variable agrégée à la commune, déterminée par le rapport entre le nombre d'emplois dans les secteurs secondaire et tertiaire par commune et le nombre de personnes actives, habitant la commune. Les scores communaux sont ensuite rééchelonnés de 0 à 255, 0 étant attribué à la commune la moins attirante économiquement, soit ayant le score le plus faible, et 255 à la commune possédant le score le plus élevé. L'évolution entre les valeurs extrêmes est linéaire.

Mobilité, pendularité

La variable pendularité est agrégée au niveau communal. La détermination de cette variable requiert plusieurs étapes. Dans un premier temps, il s'agit de mesurer la distance séparant les communes de la zone d'étude, de l'ensemble des communes cibles. La méthode développée (cf. Encadré traitant de la mobilité p.50) n'étant hélas pas applicable, la détermination de la distance s'est faite comme dans le cas de la variable accessibilité, soit par la mesure de la distance en ligne droite entre 2 points. Ces distances servent ensuite à la détermination du budget temps global des habitants de la commune en ce qui concerne la pendularité. Ainsi, en fonction des valeurs issues de la statistique fédérale sur la pendularité, le score pour chaque commune est déterminé en multipliant le temps de transport nécessaire pour relier la commune Ai à la commune Bj, par le nombre de personnes habitant la commune Ai et travaillant sur la commune Bj. Dans un second temps, la somme des valeurs au départ de Ai est calculée. Avec Ai commune de la zone d'étude, i variant de 1 à 12 (commune de départ) et Bj commune de destination, j variant de 1 à 99 (commune d'arrivée).

Distance [m]	commune de départ	commune d'arrivée	Temps transport [min]
25575.2082820088	ORBE	PULLY	26
20984.6887506172	ORBE	RENENS VD	21
21323.19078356	ORBE	CHAVANNES-PRES-R...	21
19604.0428848046	ORBE	CRISSIER	20
21711.2675721153	ORBE	ECUBLENS VD	22
22125.4720474649	ORBE	DENGES	22
21043.4438176298	ORBE	ECHANDENS	21
21837.1360490046	ORBE	LODAY	22
22788.2834190029	ORBE	PREVERENGES	23
17540.019098869	ORBE	VILLARS-STE-CROIX	18
19221.9240309121	ORBE	BUSSIGNY-PRES-LAU...	19
16184.9972219975	ORBE	MEX VD	16
18620.9512504217	ORBE	ROMANEL-SUR-LAUS...	19
16340.7858518414	ORBE	CHESEAU-SUR-LAU...	16
13856.2550017695	ORBE	BOUSSENS	14
11950.7609390161	ORBE	ECHALLENS	12
10965.1586549049	ORBE	ST-BARTHELEMY VD	11
9470.1577943934	ORBE	OULENS-SOUS-ECHA...	9
19767.6089607271	ORBE	LE MONT-SUR-LAUSA...	20

Commune de destination	Orbe	Chavornay
ORBE	0	171
AUTRES	100	127
YVERDON-LES-BAINS	283	157
LAUSANNE	351	298
FRANCE	0	0
VALLORBE	23	8
CHAVORNAY	69	0
BALLAIGUES	23	0
LE MONT-SUR-LAUSANNE	11	17
POMPAPLES	65	19
ECUBLENS VD	31	37
PRILLY	22	27
MONTAGNY-PRES-YVERDON	18	8
RANCES	14	0
EPENDES VD	1	1
COSSONAY-VILLE	25	4
PREVERENGES	0	9
ROMANEL-SUR-LAUSANNE	2	4
GENEVE	13	11

Figure 27 : "Distance table" est issue de la requête déterminant la distance séparant les communes de départ, de l'ensemble des communes d'arrivée. La table "Pendularité" détermine le nombre de personnes travaillant sur une des communes de destination et habitant une des communes de la zone d'étude.

4.3.4 Contraintes

Zone d'étude

Certaines variables sont définies pour une surface dépassant les limites de la zone d'étude, par exemple l'ensemble des variables dépendant du MNA. Toutefois les informations relatives aux pixels situés en dehors de la zone d'étude ne représentent pas un intérêt dans le projet. Au contraire, ils sont source de confusion car ils ne permettent pas une visualisation optimale de la zone destinée à l'étude. Dans cette perspective, un masque englobant uniquement les pixels appartenant à la zone d'étude a été élaborée. Il s'agit simplement d'une grille raster attribuant une valeur de 1 aux pixels intérieurs et 0 aux pixels situés en dehors de la zone étudiée.



Figure 28: Constitution de la contrainte liée à la zone d'étude.

Stabilité du sol

Il existe deux catégories de glissement de terrain, représentant chacune un degré de risque différent. Toutefois il n'est en aucun cas conseillé de construire dans une zone dont le danger naturel est connu. La ligne d'action A3 de l'avant projet définitif du plan directeur vaudois et dans ce sens très claire : « Protéger l'homme et l'environnement contre les risques et les dangers. » Avec comme définition de dangers naturels : « Les crues, les laves torrentielles, les glissements de terrain, les chutes de pierres, (...) constituent des dangers naturels. » De ce constat, la variable Stabilité du sol s'impose par elle-même comme contrainte. En effet, les zones exposées à de tels dangers naturels ne doivent en aucun cas être constructibles.

Marécage

Les zones marécageuses sont définies comme contraintes. Il n'est en effet pas ou peu réaliste d'implanter de l'habitat sur une telle zone. Les coûts engendrés pour l'assainissement du sol seraient disproportionnés. Ainsi, les pixels compris dans un polygone de la zone marécageuse se voient attribuer un score nul alors que l'ensemble des autres pixels ont une valeur unitaire.

Affectation (Zone à bâtir)

Cette contrainte est issue de la législation communale en ce qui concerne l'affectation des zones du territoire. Ainsi, certaines zones ne sont clairement

pas destinées à l'habitat, parmi lesquelles les zones à protéger : agricole, forestière, non bâti, etc. On définit donc une surface comprenant une valeur unitaire pour les pixels appartenant à une zone considérée comme constructible et une valeur nulle pour les autres. Cette contrainte sera à introduire lorsque l'on souhaite déterminer quels emplacements sont potentiellement constructibles. Toutefois, dans la perspective de développer des profils du territoire, il peut être utile de visualiser l'intégralité du territoire afin de pouvoir établir des comparaisons et des évaluations, sur des zones plus vastes que celles vouées à la construction. La contrainte d'affectation sera donc introduite sous la forme d'un masque, que l'utilisateur pourra enclencher à sa guise, en fonction du fait qu'il désire avoir une évaluation globale du territoire ou uniquement les zones constructibles.

Eaux souterraines

La variable eaux souterraines ayant déjà été définie ci-dessus, il s'agit maintenant d'introduire la contrainte correspondant au cas extrême d'un secteur protection des eaux S. Dans un tel cas, il n'est pas envisageable d'implanter de l'habitat, les mesures de protection étant trop élevées. L'ensemble des pixels concernés par le secteur S ont un score nul, alors que le reste du territoire possède une valeur unitaire.

Humidité

Comme décrit lors de la détermination de la variable humidité, la contrainte associée détermine la zone pour laquelle la donnée humidité est disponible, valeur 1. Le reste des pixels se voit attribuer la valeur 0.

4.4 Pondération (Multi-critères vs Multi-objectifs)

Cette étape consiste à déterminer les poids permettant de pratiquer l'agrégation entre les différentes variables. Comme défini au point 4.3.1, la démarche entreprise qui consiste à échelonner toutes les variables de la même façon, soit de 0 à 255 permet ensuite de pratiquer l'agrégation en déterminant simplement les poids et la méthode à appliquer. Tout l'intérêt de cette démarche réside dans le fait qu'elle permet ensuite aisément de modifier les poids sans pour autant modifier la structure des variables. Il sera intéressant de remarquer que l'on peut donc déterminer divers jeux de poids et ensuite sélectionner celui qui correspond le mieux à la tâche qui lui incombe.

L'agrégation des variables est constituée de deux étapes : la détermination du poids de chaque variable et deuxièmement la détermination de la méthode d'agrégation inter variables.

4.4.1 Méthode de pondération

La première étape consiste donc à déterminer le poids de chaque variable constituant un critère. La méthode MacBeth (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique) est une approche pratique d'aide multicritère à la décision permettant d'opérationnaliser les idées concernant l'importance des critères et l'agrégation des variables. Cette méthodologie

permet l'évaluation d'options (d'actions potentielles) compte tenu de critères multiples sur base de jugements qualitatifs concernant les différences d'attractivité entre éléments à évaluer [12].

L'application de cette méthode se fait en définissant des ordres de préférences entre variables. Soit pour un critère donné, il s'agit de déterminer l'influence que la modification d'une variable aura sur le critère. On détermine ainsi une hiérarchie entre les variables constituant le critère. Dans un second temps on compare deux à deux l'ensemble des variables et on quantifie l'importance de l'une par rapport à l'autre. Une fois l'ensemble de ces préférences introduites, le logiciel MacBeth détermine un set de poids respectant la transitivité par rapport aux instructions qui lui ont été transmises. Le logiciel est très sensible à la consistance des préférences introduites. Le concept de transitivité se définit ainsi : si l'utilisateur juge la variable A plus importante que la B et que la B à son tour est jugée plus importante que la C alors la C ne peut pas être jugée plus importante que la A. Sinon le jugement est considéré comme inconsistant et le jeu de poids n'est pas déterminé.

Pour un exemple théorique d'application prière de se référer à l'ANNEXE 6.

Ainsi cette méthode a été appliquée successivement à chaque critère afin d'en extraire la pondération inter variable.

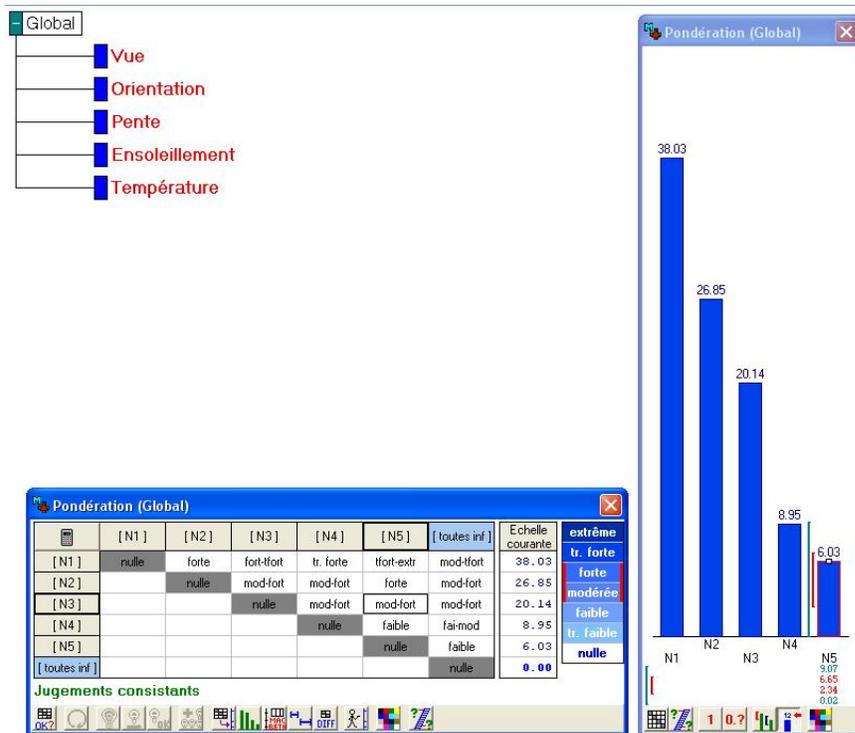


Figure 29: Détermination du jeu de poids pour le critère paysager. Les lignes et les colonnes de la matrice (Ni) correspondent dans l'ordre au variables introduites (Vue – Orientation – Pente – Ensoleillement – Température).

La figure 29 met en évidence la création du set de poids permettant l'établissement du critère paysager. Après avoir introduit les différentes variables intervenant dans la détermination du critère, il s'agit de remplir la matrice de préférence en respectant la consistance jugée par Macbeth.

Finalement le jeu de poids est calculé par le logiciel. La démarche est ainsi identique pour l'ensemble des critères, l'intégralité des résultats issus du logiciel Macbeth est disponible à l'ANNEXE 7

Finalement les valeurs utilisées pour la pondération sont les suivantes :

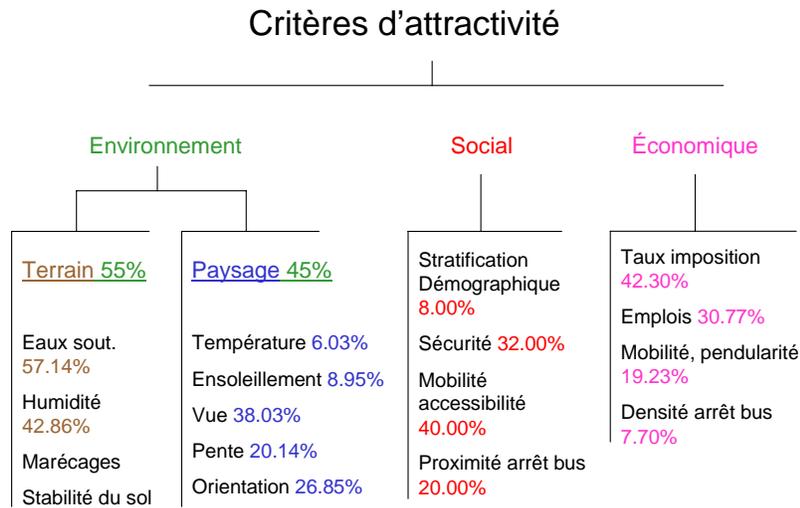


Figure 30: Détermination des poids inter variable pour les différents critères

Finalement il est encore nécessaire d'établir la pondération inter critère afin de définir un indicateur unique d'attractivité. Ce dernier est établi sur la base des critères précédemment définis à savoir le social et l'économique, toutefois afin d'éviter la perte d'information, le critère environnement est pris en considération au travers des deux sous critères terrain et paysage. Ceci évite d'agréger des valeurs déjà agrégées à deux reprises.

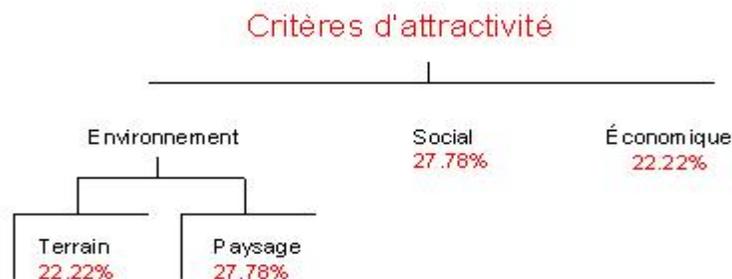


Figure 31: Détermination de la pondération pour l'indicateur global d'attractivité

La définition des poids inter variable représente une première étape dans la détermination des cartes agrégeant les différentes variables. Toutefois, le fait de connaître l'importance de chaque élément dans le critère considéré ne permet pas d'en déduire le score du pixel résultant. En effet, il faut encore définir la méthode adoptée pour le calcul du score. Différentes méthodes existent pour cela. La plus simple et la plus usuelle est la moyenne pondérée.

$$V = (\sum_i w_i x_i) / i$$

Ainsi V est la valeur pour un pixel donné, i est le nombre de variables intervenant dans le critère, w le poids de chaque variable et x la valeur de la variable.

Cette détermination comporte toutefois certains inconvénients. Elle introduit d'une part une compensation maximale entre les variables et d'autre part ne permet pas de gérer la notion de risque. La notion de risque est décisive dans le contexte de prise de décision. Elle peut être introduite comme « le voisinage autour duquel la décision peut être fautive. Le risque augmente comme résultat de l'incertitude et l'évaluation de cette dernière requiert la combinaison des incertitudes des différentes variables constituant le critère. Le risque dépend également des procédures appliquées aux données » [13]. On comprend ainsi que cette notion de risque est primordiale et qu'il est nécessaire d'en tenir compte dans la détermination des critères. De ces constatations, il est possible de déduire que la moyenne pondérée n'est pas optimale pour résoudre ce problème.

4.4.2 Méthode OWA

Cette méthode permet d'introduire la notion de risque et de compensation dans la détermination des critères par agrégation des variables. La procédure est la suivante :

Pour chaque pixel de la zone d'étude, une hiérarchie est établie entre les valeurs des différentes variables. Pour ce pixel considéré, les variables sont donc ordonnées de la meilleure à la moins bonne en fonction de leur score.

La hiérarchie entre les variables étant réalisée, il s'agit de définir le degré de risque que l'on souhaite introduire. Pour cela, il est nécessaire de se référer à la figure 32, qui introduit judicieusement les diverses possibilités de prise en compte du risque. On choisit donc un set de poids à appliquer aux variables. Ces poids s'appliquent aux variables en fonction de la hiérarchie prédéfinie.

On applique ainsi le poids de la méthode OWA et le poids issu de la détermination selon MacBeth afin de définir la valeur finale du pixel, ce dernier tenant compte non seulement de l'importance de chaque variable les unes par rapport aux autres à travers la méthode Macbeth, mais également du degré de risque que l'on souhaite imposer au calcul de la valeur résultante.

Il est nécessaire de trouver un équilibre entre la prise de risque et le degré de compensation souhaité. Le schéma suivant permet de mieux définir la problématique.

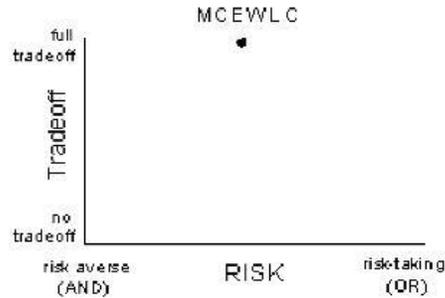


Figure 32: Tableau représentant le potentiel de prise de risque et de compensation lors de l'application de la méthode OWA

Plus la composante X est grande plus le risque est élevé, plus la composante Y est grande plus la possibilité de compensation est élevée. Ainsi la méthode MCEWLC (moyenne pondérée) permet une compensation maximale entre les différentes variables. Alors que la méthode OR est la plus risquée et ne permet aucune compensation. A l'inverse la méthode AND ne comporte aucun risque et ne permet pas de compensation.

Exemple :

Détermination du critère paysager. Pour rappel, ce dernier dépend des variables vue, orientation, pente, ensoleillement et température. La démarche qui suit s'applique de façon indépendante pour chaque pixel.

Le score de chaque variable est analysé et les variables sont classées de la moins bonne à la meilleure. On choisit le niveau de risque que l'on souhaite prendre. Allant de très risqué OR, ce qui signifie que l'on retient la valeur de variable « la plus élevée ». On est extrêmement laxiste et on permet ainsi à des zones qui n'ont qu'une seule variable avec un résultat acceptable de figurer sur le résultat final avec une valeur relativement élevée. A l'opposé, on a la solution la moins risquée AND, cette dernière est très restrictive et ne permet aucune compensation. Elle retient pour chaque pixel uniquement « le moins bon » score, ainsi, seul les pixels ayant des valeurs bonnes dans chaque variable, figureront avec une bonne note dans le résultat. Entre ces deux extrêmes on retrouve la WLC moyenne compensée qui permet un maximum de compensation mais atténue les divergences entre variables. Avec cette solution toutes les variables ont le même poids. On peut ensuite construire des solutions intermédiaires qui permettent non seulement de donner des préférences (plus ou moins risqué) sans pour autant être aussi restrictives que les méthodes AND et OR. Ainsi avec les méthodes MIDAND et MIDOR on fait intervenir l'ensemble des variables, ce qui est tout de même judicieux afin d'éviter la perte d'information.

Mais on favorise tout de même une certaine partie de la hiérarchie. Avec MIDAND on donnera un poids plus grand aux variables les moins bonnes (risque moyennement élevé) avec MIDOR on attribuera un poids plus élevé aux variables les meilleures.

1 worst	2	3	4	5 best	
1	0	0	0	0	AND
0	0	0	0	1	OR
0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	WLC
0.5	0.3	0.125	0.05	0.025	MIDAND
0.025	0.05	0.125	0.3	0.5	MIDOR

Les cartes suivantes sont issues des différentes méthodes :

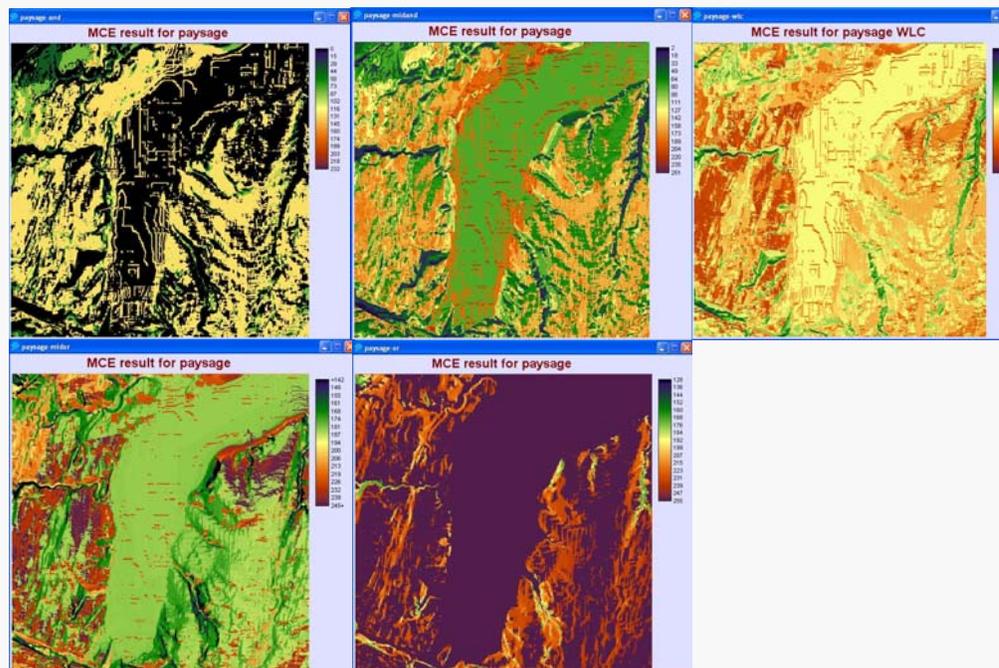


Figure 33: Carte du critère paysage pour les pondérations AND, MIDAND, WLC, MIDOR et OR

En analysant ces cartes, on s'aperçoit rapidement que les méthodes AND sont nettement plus « sévères » et plus restrictives que les méthodes OR qui retiennent des résultats plus élevés pour chaque pixel. Cette remarque est directement expliquée par la prise de risque engendrée par les différentes méthodes. Dans le cas particulier du paysage, la solution retenue est la pondération MIDAND, ainsi la prise de risque est faible et la compensation est tout de même possible dans une mesure proportionnée.

Les pondérations suivantes ont été choisies pour la détermination des critères et de l'indicateur.

Social : MIDAND

1 worst	2	3	4 best
0.35	0.30	0.20	0.15

Paysage : MIDAND

1 worst	2	3	4	5 best
0.300	0.275	0.200	0.150	0.075

Terrain : MIDAND

1 worst	2 best
0.7	0.3

Economique : MIDAND

1 worst	2	3	4 best
0.35	0.30	0.20	0.15

Attractivité : MIDAND

1 worst	2	3	4 best
0.35	0.30	0.20	0.15

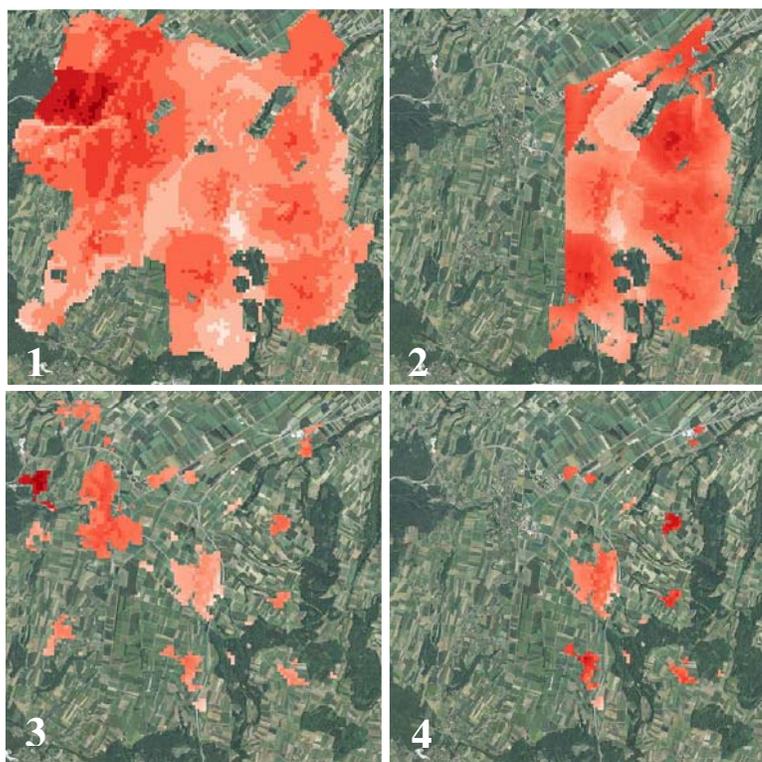
Finalement toutes les pondérations OWA sont définies comme MIDAND. Cela signifie que la prise de risque est très faible. Toutefois, il n'y a pas de valeurs dont on ne tient pas compte, ceci permet de garder un maximum d'informations. De plus, la méthode MIDAND permet, dans une certaine mesure, la compensation entre les différentes variables.

4.4.3 Résultats

C'est finalement grâce à la fonction « Decision Wizard » du logiciel IDRISI que l'ensemble des cartes ont été déterminées. Il est possible d'introduire l'ensemble des éléments nécessaires à la création des critères et indicateurs développés tout au long de se projet. A savoir : les contraintes, les variables, la pondération issue de MacBeth et pour conclure, le jeu de poids nécessaire à l'application de la méthode OWA.

La détermination des cartes résultantes dépend des besoins de l'utilisateur. Il est en effet possible de combiner chaque variable différemment, de tenir compte des contraintes ou non, etc. Les cartes développées ci-dessous sont celles nécessaires à l'établissement de l'interface. Elles représentent donc les éléments nécessaires à la représentation la plus complète du territoire dans la perspective de création de profils du territoire.

Ainsi, dans un premier temps, l'ensemble des critères et sous-critères ont été déterminés, puis les critères et sous-critères dépendant de l'humidité, à savoir le terrain et l'environnement, ont été redéterminés en tenant compte de la contrainte humidité. Finalement le même processus a été suivi pour l'indicateur d'attractivité qui a été déterminé une première fois sans tenir compte de



l'humidité, donc pour l'ensemble de la zone, et une second fois en introduisant la contrainte.

L'ensemble du processus a été renouvelé une seconde fois afin d'introduire la contrainte liée à la zone constructible.

Afin d'éviter de charger inutilement le rapport, seul les quatre cartes représentant l'ensemble des possibilités de combinaison des contraintes ont été déterminées pour l'indicateur d'attractivité global. Les cartes des critères résultantes de cette étape sont disponibles dans l'annexe 9.

Figure 34: Carte quantifiant l'attractivité du lieu. 1) sans tenir compte de la variable humidité et de la contrainte zone à bâtir. 2) Avec variable humidité. 3) Sans humidité mais avec contrainte zone à bâtir. 4) Avec variable humidité et zone à bâtir.

4.5 Perspectives

Durant les nombreuses étapes qui ont jalonné ce projet, de multiples décisions on dû être prises. Un certain nombre de choix a dû être fait en regard du laps de temps limité qui est imposé. Ainsi, il serait possible d'approfondir un grand nombre de points qui permettraient de rendre ce projet de profils du territoire encore plus représentatif est complet. Parmi les différentes directions qu'il serait possible d'étudier plus largement, seules quelques-unes vont être citées à titre d'exemple :

L'étape de rasterisation des données vectorielles se fait en transformant simplement les cartes vectorielles de Manifold en « surfaces ». Il serait intéressant de pouvoir choisir la manière dont la valeur attribuée au pixel est définie, à partir des données vectorielles.

Lors de la création des variables relatives aux arrêts de bus (densité et proximité), il serait possible d'introduire directement les notions de fréquence et de desserte des arrêts de bus dans la variable proximité. Ainsi il ne serait plus nécessaire de créer une variable agrégée à la commune, traitant de la densité et une autre à la dimension du pixel, cette seule variable suffirait.

Il serait aisé de perfectionner les variables traitant de la mobilité. Comme expliqué dans l'encadré traitant de la mobilité à la page 50, les distances à parcourir et les temps de transport ne dépendent que de la distance en ligne droite. Or, cette approximation est très grossière et ne représente que très peu la réalité. Il serait donc profitable d'appliquer le script développé au cours de ce projet [ANNEXE 8], permettant de relier deux points du réseau en empruntant les tronçons de route issus de vecteur 25. Afin de rendre ce script efficace et applicable, il est nécessaire de trouver un moyen d'optimisation. Dans l'état actuel, chaque

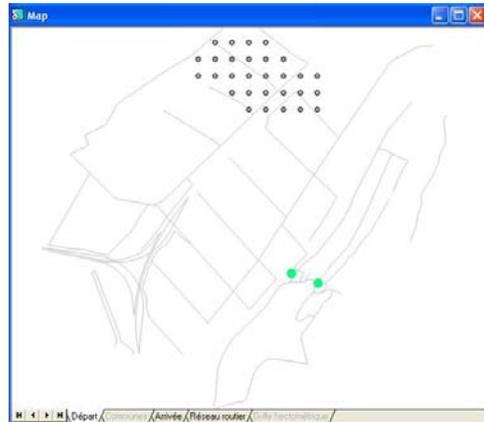


Figure 35: Réseau routier issu de vecteur 25, les points de départ sont matérialisé en gris et les points d'arrivée en vert, il s'agit d'une poste et d'une église

point de départ et d'arrivée doit être projeté sur le réseau routier ; or, dans cette étape la distance entre le point considéré et l'ensemble des tronçons de la zone d'étude doit être calculée afin d'en extraire la plus courte. Cette

démarche est aisée lorsque l'on dispose d'un réseau de quelques tronçons, mais dans le cas présent, le réseau comprend plus de 100'000 tronçons. On comprend donc la lourdeur du calcul et l'impossibilité de l'appliquer qui en découle.

 A screenshot of a table window titled 'Temps transport 4'. The table has five columns: 'Column', 'temps parcours', 'distance', 'Point de départ', and 'Point d'arrivée'. The data rows show various numerical values for distance and time, and categorical values for the start and end points (e.g., 'poste', 'église').

Column	temps parcours	distance	Point de départ	Point d'arrivée
0	2	2263.63149271919	8368	poste
0	2	2263.63149271919	8368	poste
0	2	2489.53173728471	8368	eglise
0	2	2965.69213004567	8369	poste
0	2	2965.69213004567	8369	poste
0	3	3191.59237461119	8369	eglise
0	2	2263.63149271919	8488	poste
0	2	2263.63149271919	8488	poste
0	2	2489.53173728471	8488	eglise
0	2	2833.90074185967	8489	poste
0	2	2833.90074185967	8489	poste
0	3	3059.80098642519	8489	eglise
0	2	2833.90074185967	8490	poste
0	2	2833.90074185967	8490	poste
0	3	3059.80098642519	8490	eglise
0	2	2263.63149271919	8607	poste
0	2	2263.63149271919	8607	poste
0	2	2489.53173728471	8607	eglise
0	2	2465.33220205697	8608	poste

Figure 36.: Table résultant de la requête "optimal Route". Cette dernière fournit la distance et le temps de transport entre deux points donnés

Concernant la pondération des variables pour la création des critères et sous-critères, il eut été intéressant de pouvoir introduire directement l'outil d'agrégation des variables directement dans Manifold. Il est en effet possible de programmer la méthode OWA dans le langage VBS utilisé par Manifold. En pratiquant ainsi, il aurait été possible de recalculer les cartes en fonction des choix de l'utilisateur. Ainsi l'utilisateur aurait pu choisir lui-même les poids

qu'il souhaite attribuer aux variables, ce qui aurait grandement augmenté le degré d'exhaustivité des profils, dans ce sens qu'ils ne seraient plus dépendants de choix faits par un tiers. Toutefois, il faut préciser que le logiciel Manifold n'est pas particulièrement adapté aux manipulations de données raster. Dans cette perspective le logiciel IDRISI permet un traitement beaucoup plus aisé de la donnée. Cette dernière remarque met en évidence la complexité de la tâche proposée.

5 Interface d'utilisation

5.1 Introduction

« Pour l'utilisateur, l'interface est le système d'aide à la décision. Il s'agit de la clé du succès d'un système d'aide à la décision. L'interface inclut tous les mécanismes au travers desquels les commandes, requêtes et introductions de données sont effectuées par l'utilisateur, mais aussi les méthodes utilisées pour la dispersion des résultats. L'interface est une session dynamique et interactive en temps réel permettant l'échange entre l'utilisateur et le système. En d'autres termes, l'interface doit laisser les utilisateurs libres de faire ce qu'ils veulent, et doit être relativement afin qu'ils puissent transmettre leurs besoins aisément au système. Différents éléments sont à la base d'une interface efficace :

- Accessibilité : que les utilisateurs non-initiés puissent s'y retrouver facilement
- Flexibilité : permettre à l'utilisateur de corriger ses fautes d'inattention.
- Interactivité : efficacité du flux d'information circulant entre l'utilisateur et le système et vice-versa.
- Présentation ergonomique : différentes méthodes doivent être mises à disposition des utilisateurs dans l'utilisation des outils contenus dans le système. C'est-à-dire, dans l'accomplissement d'une tâche il est important que plusieurs stratégies mènent au même résultat.
- Conduite dans le processus : permettre à l'utilisateur de savoir où il en est dans la réalisation du processus en cours.

Dans la réalisation d'une interface il y a un grand nombre de modes possibles tels que, ligne de commandes, menus déroulants, icônes, menus instantanés (pop-up menu). » [4]

5.2 Réalisation, structuration

5.2.1 Structure graphique

Une des clés de réussite d'une interface réside dans la simplicité d'utilisation qui en découle. Ainsi la structure, plus précisément l'apparence de l'interface, doivent être aussi simples que possible. Dans cet optique, le choix des couleurs est fait pour être le plus discret possible, pas de couleurs extravagantes, ni de

formes tape à l'œil. Toutefois, le contraste blanc/noir met bien en évidence les différents éléments. Les dimensions d'une interface sont par définition limitées. Il faut donc utiliser au maximum l'espace à disposition. Cela ne signifie pas qu'il faille mettre un maximum d'informations, ce qui rendrait l'utilisation de l'interface extrêmement lourde, mais il faut répartir et structurer les informations sur l'ensemble de l'espace. Dans le cas présent, de nombreuses données doivent être mises à disposition de l'utilisateur, à savoir l'ensemble des variables, critères et l'indicateur. Cela représente vingt-trois cartes pour lesquelles l'utilisateur peut enclencher le masque lié à la zone à bâtir ou encore celui déterminant la zone pour laquelle l'humidité est connue. Il s'agit donc de rester aussi clair que possible dans le déroulement des opérations nécessaires à la dispersion de l'information. Finalement, afin de rendre la lisibilité de l'interface aussi grande que possible, une répartition géométrique des diverses informations est adoptée.

5.2.2 Signalétique utilisée

Les interfaces sont complètement orientées utilisateurs, il s'agit de rendre leur utilisation aussi limpide que possible. Dans ce sens, la signalétique adoptée est celle largement utilisée à ce jour, que l'on pourrait qualifier d'instinctive tant elle devenue usuelle à force de l'utiliser.

Exemple : un bouton de sélection servant à enclencher un objet de façon unique, tel le fond de carte, (il n'est pas possible de faire figurer à la fois l'orthophoto et la carte nationale) est représenté par un bouton de sélection circulaire. Alors que si l'on souhaite faire apparaître un élément qui est complémentaire et vient se greffer sur ce qui est déjà existant sur la carte, on utilisera un bouton de sélection carré. Dans l'exemple ci-contre, il est possible de visualiser n'importe quelle variable, en introduisant ou non le masque déterminant la zone constructible.



Figure 37: Exemple de boutons de sélection circulaire et carré

5.2.3 Hiérarchie

Toujours dans une optique de simplicité et de clarté d'utilisation, la présentation de l'interface est faite de façon très hiérarchisée entre les divers éléments présentés. Leur répartition respecte leur degré d'agrégation. Les variables représentant le degré d'agrégation le plus faible sont situées sur la partie inférieure de l'interface, puis, plus l'on se rapproche de la fenêtre de visualisation plus le degré d'agrégation de l'élément à visualiser augmente.

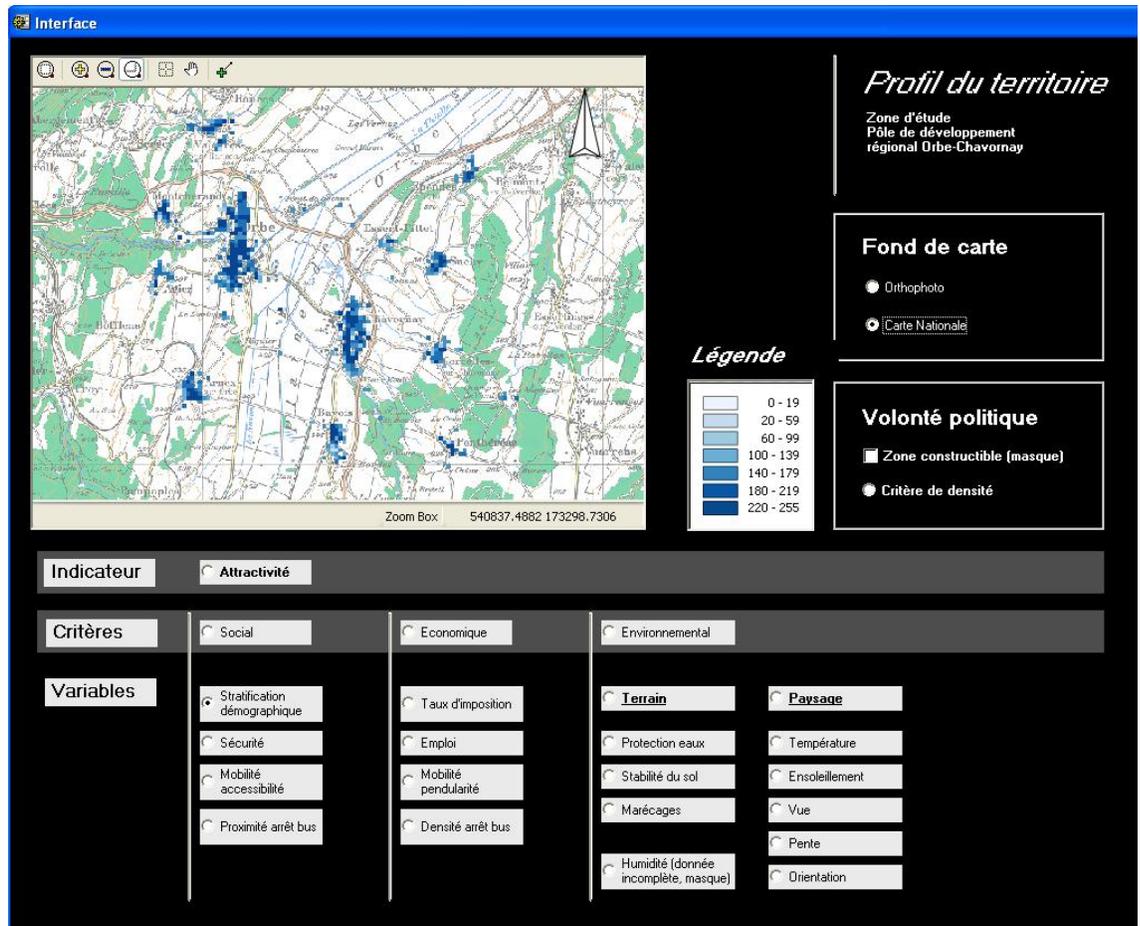


Figure 38: Interface présentant la variable stratification démographique avec la carte nationale en fond de plan

5.3 Contenu et utilisation

Les éléments qui doivent être transmis à travers l'interface sont les suivants :

- L'ensemble des variables déterminées
- L'ensemble des critères déterminés
- L'indicateur global d'attractivité
- Le fond de plan (orthophoto vs carte nationale)
- L'intégralité des variables, critères et indicateur en tenant compte de la contrainte zone constructible
- L'intégralité des variables, critères et indicateur en tenant compte de la contrainte liée à la zone constructible

La combinaison de l'ensemble de ces informations représente une source très riche d'informations sur le territoire, allant de l'élément de détail, la variable, à l'information agrégée au maximum, l'indicateur global d'attractivité. Les informations sont ainsi livrées à l'utilisateur sous la forme d'un réel profil du territoire qu'il peut modeler à sa guise. En effet, l'utilisateur est libre de choisir

les éléments qu'il souhaite visualiser, de comparer une zone précise du territoire pour différentes variables, de comparer différentes zones du territoire pour une variable donnée et ainsi de suite. Les possibilités d'analyse sont très étendues et extrêmement riches.

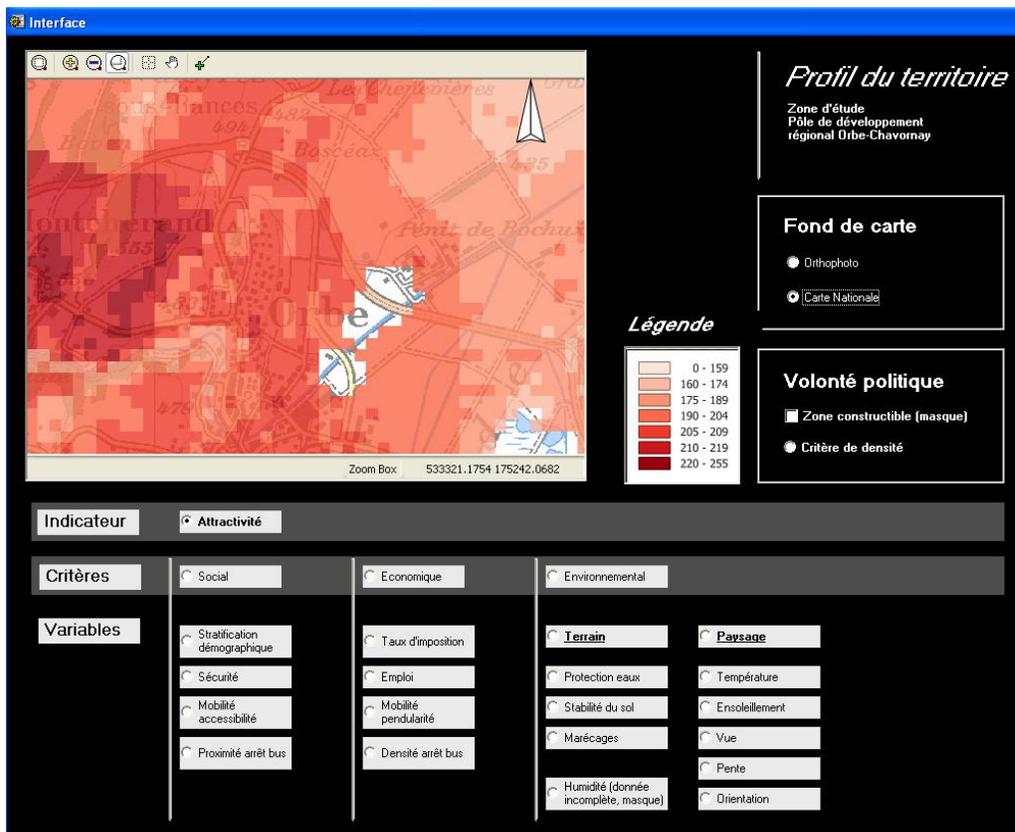


Figure 39: Interface mettant en évidence l'indicateur d'attractivité pour la zone d'Orbe

6 Conclusion

Il peut sembler étrange d'introduire une conclusion sans qu'aucune décision ne soit entreprise. Pourtant, dans le domaine de l'aide à la décision, la mission confiée à l'ingénieur n'est que rarement de prendre une décision en soit. Il s'agit généralement de présenter la problématique de façon claire et précise afin de rendre le processus de décision plus limpide. Cette démarche est réalisée grâce à la modélisation du monde dans lequel nous vivons. Il s'agit de retenir les bonnes variables, soit les éléments qui sont nécessaires à la compréhension du processus en question.

Le processus de réflexion a débuté par une double approche du territoire. D'une part, l'aspect légal et politique, introduit par les éléments de l'avant projet définitif du nouveau plan directeur cantonal vaudois, et d'autre part la notion d'attractivité du territoire aux yeux de la population. Il va s'en dire que ces deux approches ne sont pas opposées mais complémentaires. L'objectif de cette étude étant de mettre en évidence l'attractivité de site pour l'habitat, il était nécessaire de tenir compte à la fois des volontés politiques et des affinités de la population.

Le développement de variables représentatives de phénomènes liés au territoire fût donc la tâche principale à réaliser. Il s'agissait dans ce contexte d'être le plus représentatif possible, soit de prendre en compte un maximum d'informations relatives au territoire, sans toutefois perdre de vue le souci d'exhaustivité lié à la complexité d'une telle démarche.

Les domaines concernés par l'évolution de l'occupation du sol sont très fortement corrélés aux grands axes du développement durable, économie, société et environnement. Ainsi, les variables ont été agrégées en critères rendant compte de la situation du territoire dans chacune de ces directions de développement. Finalement l'ensemble des variables ont également été agrégées dans le but de former un indicateur unique d'attractivité du territoire. Toutefois, il convient de relativiser l'influence de cet indicateur par rapport à l'ensemble de la démarche. En effet, le but poursuivi n'était pas de définir un unique indicateur représentatif à lui seul de l'ensemble de la problématique, mais bien d'établir des profils du territoire, capables de fournir des informations pertinentes à l'utilisateur sur la situation d'un endroit donné. Ces informations sont aussi bien situées au niveau de la variable simple que de l'indicateur final. Les perspectives d'utilisation d'un tel profil, sorte de miroir du territoire, sont très vastes. Qu'il s'agisse de comparer les valeurs que prennent différentes

variables pour une zone donnée ou, au contraire, que l'attention se porte sur une variable particulière mais pour différentes zones, les possibilités d'analyses sont très grandes.

La démarche de réalisation des variables fût donc entamée par un processus itératif au cours duquel il a fallu déterminer quelles données étaient nécessaires à la création des variables, et réciproquement quelles variables étaient potentiellement développables en regard des données disponibles. Cette étape fût longue et fastidieuse de par la quantité de données nécessaires à une modélisation aussi exhaustive que possible d'un élément complexe comme le territoire. Après avoir déterminé précisément les données à disposition et les variables qui en découlent, la base de données a été établie en fonction du modèle conceptuel de données précédemment définies. La construction des différentes variables s'est faite dans la perspective d'une agrégation ultérieure des différentes variables. Dans cet état d'esprit, toutes les variables ont été déterminées sur une échelle de mesure comparable. Il a donc fallu homogénéiser l'ensemble de l'information et respecter le système choisi qui consiste en une échelle cardinale allant de 0 à 255. Cette étape a ensuite permis de manipuler l'ensemble des données de façon très simple afin de déterminer le système de pondération optimal. La méthode utilisée lors de l'agrégation des variables représente une étape décisive dans l'établissement de tels profils. Il s'agit en effet de combiner différentes sources d'informations pour en faire ressortir des éléments d'aide à la décision. Toutefois, le danger lors d'une telle démarche réside dans le flou qui peut être introduit lors de la pondération, le risque ultime étant que l'indicateur agrégé ne soit plus interprétable et non représentatif de quelque élément que ce soit.

Le processus de pondération a donc été scindé en deux étapes : détermination des poids inter variables, détermination de la méthode de pondération. La première étape a été résolue en appliquant une méthode de détermination des poids respectant la transitivité des préférences introduites entre les variables composant un critère. L'adoption de la méthode OWA a ensuite permis d'agréger l'ensemble des variables constituantes d'un critère et ceci en respectant la notion de risque et le degré de compensation que le programmeur introduit.

Afin de rendre l'information issue de la pondération plus accessible, des cartes thématiques avec légendes ont été créées. Chaque variable, chaque critère et finalement l'indicateur sont disponibles sous forme de carte raster. Ces cartes ont ensuite été utilisées comme base lors de la création d'une interface rendant l'utilisation de l'information effective. Cette interface permet de visualiser l'intégralité des éléments relatifs au territoire déterminé tout au long du projet. Il s'agit réellement de profils du territoire que l'utilisateur peut façonner à sa manière, dans la perspective de répondre aux questionnements qui lui sont propres.

Ainsi un processus extrêmement complexe tel que la détermination de l'attractivité du territoire peut être analysée à différents niveaux, de la simple variable à l'indicateur global. L'intérêt de ce profil réside dans la possibilité de focaliser son attention sur une variable en particulier ou plus généralement sur

un critère afin de cibler l'analyse en fonction de la prise de décision en question.

La création de profils du territoire est donc appelée à se développer dans le futur, ceci afin de permettre des prises de décisions éclairées qui soient en accord avec l'évolution globale de la société, du monde économique, et respectueux de l'environnement dans lequel nous vivons.

7 Remerciements

A travers ces quelques lignes, je tiens à remercier Joël Chétellaz qui a initié ce projet ainsi que Monsieur Régis Caloz pour l'encadrement qu'il a fourni et sa disponibilité tout au long de la réalisation de ce projet.

Un grand merci également à Jens Ingensand, Abram Pointet, Michael Kalbermatten, Eduardo Camacho et Gilles Desthieux pour leurs conseils avisés et leur grande patience.

Finalement, un grand merci à Aurélie, Christel, Christine et Karine pour leur relecture attentive.

8 Lexique

ASIT	Association pour le Système d'Information du Territoire
COS	Coefficient d'Occupation du Sol
DD	Développement Durable
LASIG	Laboratoire de Systèmes d'Information Géographique
MCD	Multi Criteria Decision
MCE	Multi Criteria Evaluation
MNT	Modèle numérique de terrain
OWA	Ordered Weighted Average
PDC	Plan Directeur Cantonal
SIG	Système d'Information Géographique
TP	Transport Public
VBS	Visual Basic Script
WLC	Weighted Linear Combination

9 Bibliographie

- [1] PRELAZ-DROUX, Roland / Aménagement et gestion du territoire, Notes de cours / Lausanne / Etat de Vaud, DINF-SAF / 2003 / 28 p.
- [2] SERVICE DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE DU CANTON DE VAUD / Orientations stratégiques avant-projet définitif – APD / Lausanne / Service de l'aménagement du territoire du canton de Vaud / 2005
- [3] RIEDO, Marc / Les acteurs et le marché des SIG, Technologie des SIG / Lausanne / EPFL / 2004 / 62p.
- [4] MALCZEWSKI, Jacek / GIS and MULTICRITERIA DECISION ANALYSIS / New-York / John Wiley & Sons, Inc / 1999 / 392 p.
- [5] SCHULER, Martin, KAUFMANN, Vincent / Les transports publics à l'épreuve de la mutation de la pendularité / Lausanne / DISP 161 / 2005 / pp. 40-50.
- [6] SCHULER, Martin, PASCHE, Natacha, STEINER, Philippe / Mise en place du nouveau découpage territorial (DECTER) du Canton de Vaud / Lausanne / - / 2004 / 57 p.
- [7] BRUNDTLAND, Gro / Report of the World commission on environment and development, Our common future / United Nation / 1987 / 318p.
- [8] CHERQUI, Frédéric / Méthodologie d'évaluation d'un projet d'aménagement durable d'un quartier / La Rochelle / Université de La Rochelle / 2005 / 202p.
- [9] PRIMAULT, Bernard / Etude méso-climatique du canton de Vaud, Cahier de l'aménagement régional N° 14 / Lausanne / Office cantonal vaudois de l'urbanisme / 1972
- [10] JOERIN, Florent / Décider sur le territoire / Lausanne / EPFL / 1998 / 220 p.
- [11] GOLAY, François / Système d'information à référence spatiale, Méthode de conception de SIRS, Modélisation de données / Lausanne / EPFL / 35p.
- [12] BANA E COSTA, Carlos, DE CORTE, Jean Marie, VANSNICK, Jean-Claude / MACBETH / London, Lisbon, Mons / LES OR Working Paper 03.56 / 2003 / 40 p.
- [13] EASTMAN, Ronald / Guide to GIS and Image Processing / Worcester / Clark University / 2003 / 328 p.

SERVICE DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE DU CANTON DE VAUD / Plan directeur cantonal / Lausanne / Service de l'aménagement du territoire du canton de Vaud / 1986

SERVICE DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE DU CANTON DE VAUD / Plan directeur cantonal tiré à par / Lausanne, Service de l'aménagement du territoire du canton de Vaud / 1987 / 60p.

SERVICE DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE DU CANTON DE VAUD / Le dossier de coordination de l'information à la concertation [Canton de Vaud / Lausanne / Service de l'aménagement du territoire du canton de Vaud / 1995

OFFICE FEDERAL DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE / Le plan directeur cantonal guide de la planification directrice / Berne / Office fédéral de l'aménagement du territoire (OFAT) / 1996

OFFICE FEDERAL DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE / Mesures d'aménagement du territoire pour la protection de l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie / Berne et Zurich / Office fédéral de l'aménagement du territoire (OFAT) / 1995

SCHÄRLI, Alain / Pratiquer Electre et Prométhée / Lausanne / Presses polytechniques et universitaires romandes / 1996 / 173 p.

ALLEMAND, Sylvain, ASCHER, François, LEVY, Jacques / Les sens du mouvement / Paris / Editions Belin / 2004 / 336 p.

RUZICKA-ROSSIER, Monique, KOTCHI, Marie-Josée / Densité et mixité, l'ouest lausannois / Lausanne / EPFL / 2002 / 105 p.

RUZICKA-ROSSIER, Monique / Densité et mixité – à l'échelle des agglomérations suisses / Lausanne / EPFL / 2005 / 130 p.

SCHULER, Martin, PERLIK, Manfred, PASCHE, Natacha / «Non-urbain, agricole ou périphérique - la situation de l'espace rural d'aujourd'hui» / Berne / ARE / 2004 / 132 p.

SCHULER, Martin, DESSEMONTET, Pierre, JOYE, Dominique / Les niveaux géographiques de la Suisse / Neuchâtel / Office fédéral de la statistique / 2005 / 232 p.

10 ANNEXES

10.1 ANNEXE 1 : Résultat du brainstorming

Relatif au sol :

- Humidité air/sol
- Stabilité sol
- Qualité terre
- Sol
-

Relatif à la situation :

- Proximité
- Ecole
- Campagne
- Famille
- Ville
- Enfant
- Village
- Age
- Taux d'imposition

- Temps de transport
- Voisinage
- Prestige
-

Relatif à la parcelle :

- Liberté de construire
- Affectation
- Rivière
- Ensoleillement
- Prix
- Exposition
- Pente
- Vue
- Orientation
- Taille
- Desserte

10.2 ANNEXE 2 : Tableau des métadonnées

Thème	Variable	donnée	source	échelle carto	échelle	type	remarques
Critères SAT	Affectation	Plan d'affectation agrégé	asit	5000	nominale	vectorel	Plan de zone avec découpage en terrain disponible/intermédiaire/non disponible. Cette couche est vectorielle.
	Affectation évolution	Plan d'affectation agrégé	asit	5000	nominale	vectorel	
		Ancien plan de zone	commune		nominale	raster	
Densification	Plan d'affectation agrégé	Lasig	5000	ordinaire	vectorel/raster	Analyser les environs et en fonction de la densité du lieu lui donner une valeur : si densité est déjà élevée, la note sera bonne car il faudra densifier cette zone d'autant plus. Si la zone est peu dense on imposera une note faible afin de ne pas pousser l'étalement de la périurbanisation, ceci indiquera que le terrain n'est pas	
	Couche bâtiment du plan cadastral	asit	1000 - 500	-	vectorel		
Critères environnementaux	Stabilité du sol	carte des instabilités de terrain : glissements	asit	10 000	ordinaire	vectorel	Ces cartes représentent le relevé des glissements déclarés. Certaines zones soumises à un risque d'extension ou d'apparition potentielle de mouvement notamment lors de travaux de terrassements, pourraient correspondre à des zones laissées en blanc sur la carte. Ces cartes permettent d'orienter la demande d'études de détail en vue de la construction en zone instable, lesquelles auront pour buts d'établir la nature et les propriétés géotechniques des matériaux glissés ainsi que les conditions hydrogéologiques afin de prescrire les mesures permettant de limiter les risques de préjudices aux constructions.
	Eaux souterraines	Secteurs de protection des eaux souterraines	asit	25 000	ordinaire/nominale	vectorel	Les secteurs de protection des eaux visent à une protection générale de nos ressources en eau sur l'ensemble du territoire. Ils seront désignés comme secteurs S, A, B et C.
	Pierrosité de surface	Type de sol	asit	10 000	ordinaire	-	propriétés physico-chimiques des sols: pente et relief,régime hydrique,excès d'eau,profondeur,type génétique,roche-mère,composition texturale,réaction de terre fine(ph
	Humidité	Régime hydrique			ordinaire	-	
	Décharges	Anciennes décharges communales	asit	10 000	nominale	vectorel	ATTENTION! NON DIFFUSABLE par l'asit...Ensemble des sites d'anciennes décharges communales connus du SESA. Ces sites ont fait l'objet d'études préalables afin de déterminer leur danger potentiel.
	sites pollués	cadastre des sites pollués	asit	-	nominale	vectorel	ATTENTION! NON DIFFUSABLE par l'asit... Cadastre des sites pollués recensés par le SESA.Ces sites peuvent être - des lieux de stockage définitif de déchets (à l'exclusion des sites dans lesquels sont déposés exclusivement des matériaux d'excavation et des déblais non pollués) - des aires d'exploitation (en activité ou non), dans lesquelles ont été utilisées des substances dangereuses pour l'environnement - des lieux d'accidents, pollués à la suite d'événements extraordinaires
	Marécages	Inventaire fédéral des hauts-M arais Inventaire fédéral des bas-M arais	asit		nominale	vectorel	

Thème	Variable	donnée	source	échelle carto	échelle	type	remarques
Attractivité paysagère	Climat	Pluviométrie	Atlas CH	Indéfinie	cardinale	Raster	La température se détermine à partir d'une valeur de référence issue des statistiques annuelle, puis on applique un gradient permettant à partir du MNT d'attribuer des valeurs à chaque pixels. Appliquer fonction du logiciel SIG permettant de déterminer l'ensoleillement pour une date précise. L' idée est de choisir quelques points du territoire représentant une vue intéressante (sommet de montagne, bord de lac, ..) et de déterminer grâce au MNT depuis où ces points sont visibles. Le nombre de valeurs possibles que prendrait la carte serait égal au nombre de points visés. Cette carte étant issue du MNT serait également de type raster. Appliquer fonction du logiciel SIG permettant de déterminer la pente en chaque point du territoire. On pourrait par la suite catégoriser les pixels en 3 catégories, par exemple: Plat, Pente acceptable pour construction, Impropre au bâti. Appliquer fonction du logiciel SIG permettant de déterminer l'orientation en chaque point du territoire. La carte pourrait ainsi prendre les 4 valeurs suivantes: Nord, Sud, Est, Ouest
		Température / MNT	Lasig	1m	cardinale	Raster	
	Ensoleillement	MNT/MNS_1m	Lasig	1m	cardinale	Raster	
	Vue				cardinale		
	Pente				nominale		
Orientation	nominale						
Critères sociaux	Stratification démographique	Statistique de la population (recensement)	LA SIG	-	cardinale	-	L'information sur la population est agrégée à l'hectare. Diviser la population en différentes strates, par exemple: 0-25, 25-50, 50-75, 75 et plus..
		Limites administratives	asit	25 000	nominale	vectriel	comprend la frontière nationale, les limites cantonales, de district et de communes sous forme vectorielle.
	Sécurité	Nombre d'infractions/délits	Gendarmerie cantonal	-	cardinale	-	Issu de la base de données de la gendarmerie cantonale
		Limites administratives	asit	25 000	nominale	vectriel	comprend la frontière nationale, les limites cantonales, de district et de communes sous forme vectorielle.
Attractivité économique	Taux d'imposition	Valeur du taux d'imposition communal	Canton	-	cardinale	-	Comparaison entre le prix d'acquisition est le taux d'imposition communal. Donne un bon aperçu de l'attractivité en relativisant l'avantage fiscal par rapport à l'investissement de base. comprend la frontière nationale, les limites cantonales, de district et de communes sous forme vectorielle.
		Prix moyen du m2 d'habitation	CHOROS	-	cardinale	-	
		Limites administratives	asit	25 000	nominale	vectriel	
	Emplois	Nbre d'emploi par secteur d'activité et par commune	CHOROS	-	-	-	Valeur issues du recensement de la population. Ces valeurs sont agrégée à la commune
		Limites administratives	asit	25 000	nominale	vectriel	comprend la frontière nationale, les limites cantonales, de district et de communes sous forme vectorielle.
Taux d'équipement de parcelles	Aperçu du taux d'équipement des parcelles	asit	5 000	nominale	vectriel	a= terrains équipés, b= terrains partiellement équipés, c= terrains non-équipés. Basé sur les zones du plan d'affectation. Couverture partielle.	

Thème	Variable	donnée	source	échelle carto	échelle	type	remarques
Fond de carte	Orthophoto	orthophoto	LASIG	-	-	raster	
	Carte nationale	carte nationale	LASIG	25 000	-	raster	

Thème	Variable	donnée	source	échelle carto	échelle	type	remarques
Mobilité		Vecteur 25	asit	25 000	-	vectériel	Modèle numérique du paysage de la Suisse en format vectoriel se basant sur le contenu et la géométrie de la Carte nationale 1:25'000.
		Arrêt de bus	asit	25 000	-	vectériel	Attention saisie partielle du réseau! Se renseigner sur le recouvrement de la zone d'étude
		Fréquence bus	Horaire car postaux+CFF	-	-	-	
		Park and rail	asit	25 000	-	vectériel	Inventaire des parkings P+R du canton de Vaud. Les attributs associés comprennent entre autre le nom du parking, le type de parking (P+R ou P+Rail), la capacité (nombre de places) ou encore la fréquence (en minutes) du/des transports desservant le parking.
		Bâtiments scolaires	asit	500	-	vectériel	Echelle dépend du type de mensuration
		Centre village/ville	Lasig	-	-	vectériel	Info générale des communes suisses. Centroïde des communes avec information générales.
	Temps d'accès	Cinéma	asit	adresse geopost (1/5000)	-	vectériel	
		Salle de spectacle	asit	adresse geopost (1/5000)	-	vectériel	Situation des salles de spectacles du canton (y compris Théâtres). Les données comprennent les attributs suivants: Nom de la salle - Nom de la rue - N° de la rue - Lieu - NPA - Localité - N° commune fédéral - nombre de place (pour certaines salles, le nombre de place n'est pas connu !) ATTENTION, pour certaine salle l'adresse se limite à la commune...
		Bibliothèque	asit	adresse geopost (1/5000)	-	vectériel	Situation des bibliothèques du canton. Les données comprennent les attributs suivants: Nom de la bibliothèque - Nom de la rue - N° de la rue - Lieu - NPA - Localité - N° commune fédéral
		Musée	asit	adresse geopost (1/5000)	-	vectériel	Situation des musées du canton. Les données comprennent les attributs suivants: N° d'établissement - Nom du musée - Adresse - NPA - N° commune fédéral - Nom de la commune - Statut
	Hôpital	asit	variable	-	vectériel	Description et localisation des établissements médico-sociaux (EMS), hôpitaux, centre de traitement et de réadaptation (CTR), établissements psychiatriques, cliniques privées et unités d'accueil temporaire (UAT) du canton de Vaud. La donnée correspond à la localisation d'un site qui contient un ou plusieurs bâtiments	
	Statistique de pendularité	OFS	-	-	-	Pour chaque commune, lieu de destination des habitants pour leur emploi. Données agrégées à la commune. Format excel	

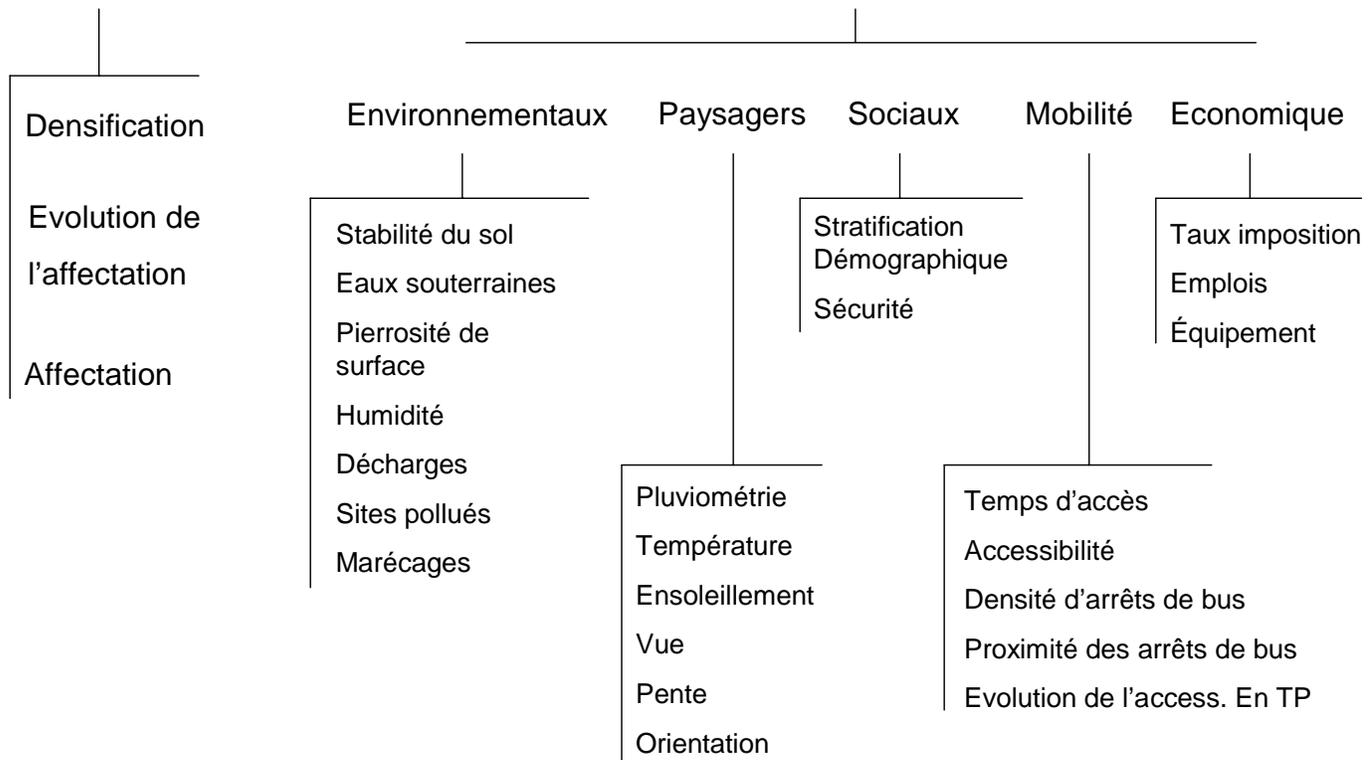
Thème	Variable	donnée	source	échelle carto	échelle	type	remarques
Mobilité	Accessibilité	Vecteur 25	asit	25 000	-	vectériel	Modèle numérique du paysage de la Suisse en format vectériel se basant sur le contenu et la géométrie de la Carte nationale 1:25'000. Pour de plus amples renseignements sur ce produit, voir aussi le site web de l'Office fédéral de topographie (swisstopo).
		Arrêt de bus	asit	25 000	-	vectériel	Attention saisie partielle du réseau! Se renseigner sur le recouvrement de la zon d'étude
		Fréquence bus	Horaire car postaux et CFF	-	-	-	-
		Park and rail	asit	25 000	-	vectériel	Inventaire des parkings P+R du canton de Vaud. Les attributs associés comprennent entre autre le nom du parking, le type de parking (P+R ou P+Rail), la capacité (nombre de places) ou encore la fréquence (en minutes) du/des transports desservant le parking.
		Bâtiments scolaires	asit	500	-	vectériel	Echelle dépend du type de mensuration
		Centre village/ville	Lasig	-	-	vectériel	Info générale des communes suisses. Centroïde des communes avec information générales.
		Cinéma	asit	adresse geopost (1/5000)	-	vectériel	
		Salle de spectacle	asit	adresse geopost (1/5000)	-	vectériel	Situation des salles de spectacles du canton (y compris Théâtres). Les données comprennent les attributs suivants: Nom de la salle - Nom de la rue - N° de la rue - Lieu - NPA - Localité - N° commune fédéral - nombre de place (pour certaines salles, le nombre de place n'est pas connu !) ATTENTION, pour certaine salle l'adresse se limite à la commune...
		Bibliothèque	asit	adresse geopost (1/5000)	-	vectériel	Situation des bibliothèques du canton. Les données comprennent les attributs suivants: Nom de la bibliothèque - Nom de la rue - N° de la rue - Lieu - NPA - Localité - N° commune fédéral
		Musée	asit	adresse geopost (1/5000)	-	vectériel	Situation des musées du canton. Les données comprennent les attributs suivants: N° d'établissement - Nom du musée - Adresse - NPA - N° commune fédéral - Nom de la commune - Statut
	Hôpital	asit	variable	-	vectériel	Description et localisation des établissements médico-sociaux (EMS), hôpitaux, centre de traitement et de réadaptation (CTR), établissements psychiatriques, cliniques privées et unités d'accueil temporaire (UAT) du canton de Vaud. La donnée correspond à la localisation d'un site qui contient un ou plusieurs bâtiments	
	Densité arrêt bus	Arrêt de bus	asit	25 000	-	vectériel	Attention saisie partielle du réseau! Se renseigner sur le recouvrement de la zone d'étude
		Plan d'affectation agrégé	asit	5000	nominale	vectériel	Plan de zone avec découpage en terrain disponible/intermédiaire/non disponible. Cette couche est vectérielle. Une idée serait d'analyser la densité d'arrêt de bus en relation avec la densité de construction prévue pour une zone donnée. Si cette approche n'est pas satisfaisante, il sera toujours possible d'agrégé à la commune en tenant compte des limites administratives et de la population communale.
Evolution de l'accessibilité en TP	Horaire de desserte pour différentes années	CFF	-	-	-	L'idée serait d'évaluer la modification de la desserte des communes essentiellement par le chemin de fer (éventuellement également les cars postaux)	

10.3 ANNEXE 3 : Liste complète des variables

Indicateur d'attractivité

Critères SAT

Critères d'attractivité



10.4 ANNEXE 4 : Détermination des communes appartenant à la zone d'étude.

Nom	District	Nombre d'habitant	Densité population 2000	Evolution population entre 1850 et 2000 [%]	Zone à bâtir	Accessibilité en TP	Acc en transp. Indiv.	Limitrophe
Orbe	Orbe	5757	200-500	200-400	OUI	BIEN	BIEN	Chavornay
Chavornay	Orbe	2785	200-500	200-400	OUI	BIEN	BIEN	Orbe
Bavois	Orbe	727	50-150	100-150	OUI	BIEN	BIEN	Chavornay
Penthéréaz	Echallens	342	50-150	50-100	NON	MAUVAIS	MOYEN	Chavornais
Corcelles/Chavornay	Orbe	305	50-150	50-100	OUI	MAUVAIS	BIEN	Chavornay
Suchy	Yverdon	345	50-150	50-100	NON	MAUVAIS	MOYEN	Chavornay
Essert-Pittet	Yverdon	125	20-50	100-150	OUI	BIEN	BIEN	Chavornay & Orbe
Ependes	Yverdon	320	50-150	100-150	OUI	BIEN	MOYEN	Orbe
Method	Yverdon	459	50-150	100-150	OUI	MOYEN	MOYEN	Orbe
Suscévaz	Yverdon	187	20-50	50-100	OUI	MOYEN	MOYEN	
Valeyres/Rances	Orbe	497	50-150	100-150	OUI	MOYEN	BIEN	Orbe
Montcherand	Orbe	404	50-150	100-150	OUI	MAUVAIS	BIEN	Orbe
Agiez	Orbe	224	20-50	50-100	NON	MAUVAIS	MOYEN	Orbe
Bofflens	Orbe	157	20-50	0-50	NON	MAUVAIS	MAUVAIS	
Arnex-sur-Orbe	Orbe	530	50-150	50-100	OUI	BIEN	MAUVAIS	Orbe & Chavornay

Points faibles 

Points très faibles 

Sources : sites Internet de l'OFS et Géoplanet

10.5 ANNEXE 5 : Requête VBS.

Détermination du COS :

```
PARAMETERS IDGRD INT;
```

```
SELECT(SUM(Area(ClipIntersect([Grid].[ID],[Bât].[ID]),"sq m"))/10000)
```

```
FROM [Grid] , [Bât]
```

```
Where [Grid].[ID]=IDGRD
```

10.6 ANNEXE 6

Démarche d'utilisation de la méthode Macbeth. Mise en évidence des questions permettant l'évaluation et l'ordonnement des variables créant un critère.

« 1. La question posée pour évaluer l'importance d'un indicateur est la suivante :

Dans quelle mesure l'évolution d'une situation neutre à une situation bonne sur un indicateur améliore-t-elle la situation globale de notre système ?

Cette amélioration est-elle très faible, faible, modérée, forte, très forte ou extrême ?

A partir de la réponse à cette question, posée pour chaque indicateur, il est possible de procéder à une première hiérarchie des indicateurs.

2. La prochaine étape consiste à expliciter davantage les préférences d'un acteur en comparant cette fois les indicateurs deux à deux, à travers la question suivante :

L'évolution d'une situation neutre à une situation bonne sur un indicateur I_1 , est-elle préférable à une telle évolution sur un indicateur I_2 ?

Si c'est le cas, I_1 a plus de poids qu' I_2 , pour autant que cela soit consistant avec la première hiérarchie.

Ces deux étapes sont résumées et illustrées dans le tableau suivant, avec des indicateurs thématiques liés au secteur Société (Santé, Cohésion sociale, Mobilité, Environnement bâti) :

	[Santé]	[Cohésion]	[Mobilité]	[Environ]	[toutes inf]	Echelle courante	
[Santé]	nulle	tr. faible	modérée	modérée	forte	35	extrême
[Cohésion]		nulle	faible	modérée	modérée	31	tr. forte
[Mobilité]			nulle	faible	modérée	20	forte
[Environ]				nulle	faible	14	modérée
[toutes inf]					nulle	0	faible
							tr. faible
							nulle

Jugements consistants

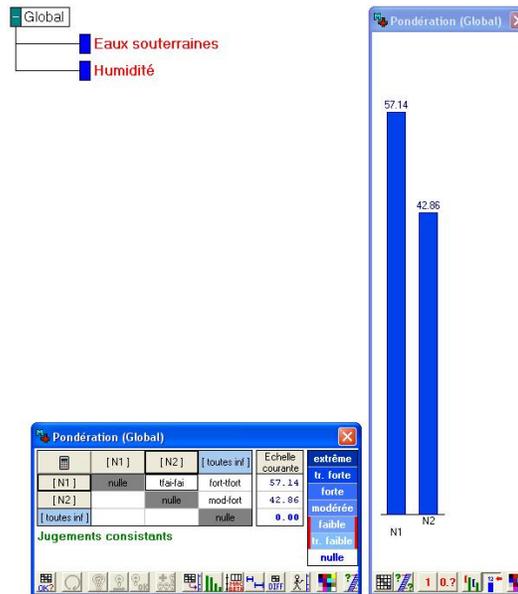
Le programme Macbeth permet de transformer ces préférences, évaluées sur une échelle ordinale, en **poids** (échelle cardinale) dans un intervalle donné respectant l'ordre de ces préférences (colonne Echelle courante). (remarque : « toutes inf » correspond à la situation neutre.) »

Selon « Note d'utilisation de Macbeth pour pondérer les indicateurs de la boussole du DD – Vaud » établi par Gilles Desthieux du Laboratoire LASIG

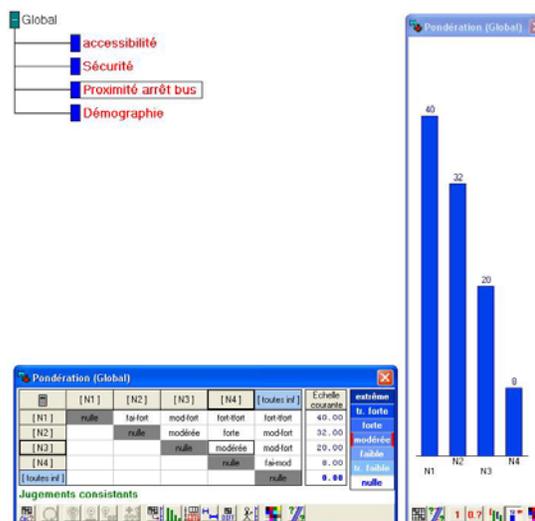
10.7 ANNEXE 7

Etablissement de la pondération inter variable grâce à la méthode MacBeth pour les différents critères.

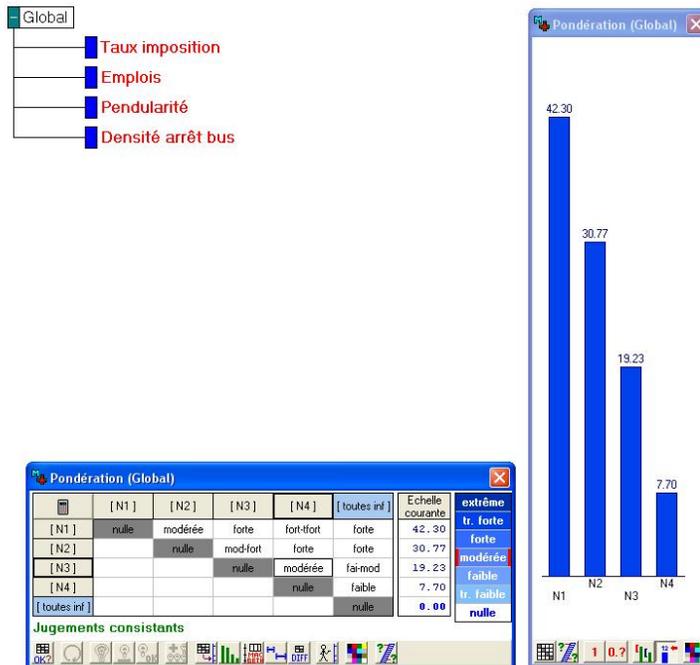
TERRAIN : Les Ni illustrés dans les colonnes et les lignes de la matrice de préférence correspondent respectivement aux variables « eaux souterraines » et « humidité ».



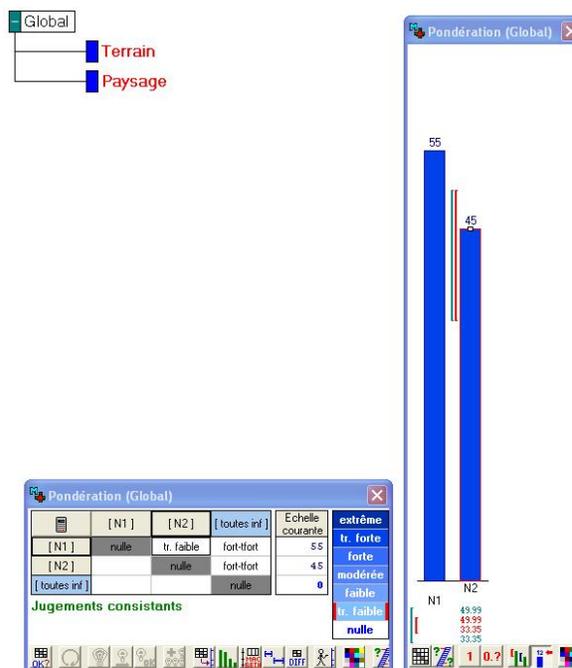
SOCIAL : Les Ni illustrés dans les colonnes et les lignes de la matrice de préférence correspondent respectivement aux variables « accessibilité », « sécurité », « proximité arrêt bus » et « démographie ».



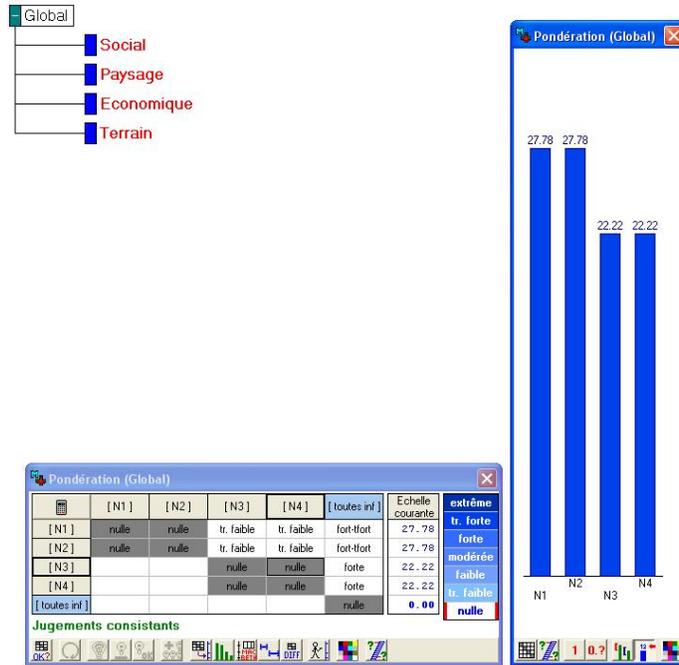
ECONOMIQUE : Les Ni illustrés dans les colonnes et les lignes de la matrice de préférence correspondent respectivement aux variables « taux d'imposition », « emplois », « pendularité » et « densité arrêt bus ».



ENVIRONNEMENT : Les Ni illustrés dans les colonnes et les lignes de la matrice de préférence correspondent respectivement aux variables « terrain » et « paysage ».



ATTRACTIVITE : Les Ni illustrés dans les colonnes et les lignes de la matrice de préférence correspondent respectivement aux variables « social », « paysage », « économique » et « terrain ».



10.8 ANNEXE 8 : Scripte Optimal Route

Sub Main

```

'Initialisation du scripte:
    set componentset = application.activeDocument.componentset
set route = componentset.item("Réseau routier")
set routeobjectset = route.objectset
set source = componentset.item("Départ")
set sourceobjectset = source.objectset
set target = componentset.item("Arrivée")
set targetobjectset = target.objectset

'Création de la table des résultats:
set document=application.activeDocument
set temps=document.newtable("temps transport")

'set
query=ComponentSet(ComponentSet.ItemByName("add column"))
'query.Run()
set columnset=temps.columnset
set column=columnset.newcolumn()
column.name="temps parcours"
columnset.add(column)
set columnset=temps.columnset
set column=columnset.newcolumn()
column.name="distance"
columnset.add(column)
set columnset=temps.columnset
set column=columnset.newcolumn()
column.name="Point de départ"
column.Type=ColumnTypeAText
columnset.add(column)
set columnset=temps.columnset
set column=columnset.newcolumn()
column.name="Point d'arrivée"
column.Type= ColumnTypeAText
columnset.add(column)

set analyzer = application.activeDocument.newanalyzer

'Première boucle décrivant l'ensemble des points de départ:
for m=0 to sourceobjectset.count-1

application.MessageBox lastsourceID
set sourceobject = sourceobjectset.item(m)

'Remplacement du point de départ par le noeud le plus proche:
set queryA=ComponentSet(ComponentSet.ItemByName("QueryA"))
objectID = sourceobject.ID
application.MessageBox objectID

    QueryA.text ="select startpoint([Réseau routier].[Geom
(l)]) as debut from [Départ], [Réseau routier], (select
min(distance(assigncoordsys([Départ].[Geom (l)],coordsys("New Swiss
Grid")),[Réseau routier].[Geom (l)]) as mindist from [Départ], [Réseau
routier] where [Départ].[ID] = "+cstr(objectID)+")where distance([Départ].[Geom (l)],[Réseau
routier].[Geom (l)] = mindist"

    QueryA.RunEx(True)
set result = QueryA.table
set sourcerecordset = result.recordset

set sourcerecord = sourcerecordset.item(0)
geom1=sourcerecord.data("debut")
set geomsources=application.NewGeomFromBinary(geom1)
set source2 = componentset.item("Départ")
set sourcerecordset2=source2.ownedtable.recordset
set sourcerecord2=sourcerecordset2.item(m)
sourcename = sourcerecord2.data("Column")
routeobjectset.add(geomsources)
set lastsource = routeobjectset.lastadded
lastsourceID=lastsource.ID

'Seconde boucle décrivant l'ensemble des points
d'arrivée (destination):
for n=0 to targetobjectset.count-1
et targetobject = targetobjectset.item(n)
targetID = targetobject.ID
if targetID <> sourceID then
set queryX=ComponentSet(ComponentSet.ItemByName("QueryX"))
targetID = targetobject.ID

    QueryX.text ="select startpoint([Réseau routier].[Geom
(l)]) as arrivee from [Arrivée], [Réseau routier], (select
min(distance(assigncoordsys([Arrivée].[Geom
(l)],coordsys("New Swiss Grid")),[Réseau
routier].[Geom (l)]) as mindist from [Arrivée], [Réseau
routier] where [Arrivée].[ID] = "+cstr(targetID)+")where
distance([Arrivée].[Geom (l)],[Réseau routier].[Geom (l)]
= mindist"

    QueryX.RunEx(True)
set result1 = QueryX.table
set targetrecordset=result1.recordset
set targetrecord=targetrecordset.item(0)
geom2=targetrecord.data("arrivee")
set geomarrivee=application.NewGeomFromBinary(geom2)

set target2 = componentset.item("Arrivée")
set targetrecordset2=target2.ownedtable.recordset
set targetrecord2=targetrecordset2.item(n)
targetname = targetrecord2.data("type")
routeobjectset.add(geomarrivee)
set lasttarget = routeobjectset.lastadded

'Application de l'algorithme:
set optroute1 = analyzer.optimalroute(routeobjectset,routeobjectset,"Length
(l)","Vitesse",1)
distance = optroute1.geom.lengthnative
routeobjectset.remove(lasttarget)

Impression des résultats dans la table:
set recordset=temps.recordset
set record=recordset.newrecord()
recordset.add(record)
set lastrecord = recordset.lastadded

lastrecord.data("temps parcours") =
(split(split(optroute1.report,"Total time: ")(1),"minutes.")(0))

lastrecord.data("distance") = distance
lastrecord.data("Point de départ") = sourcename

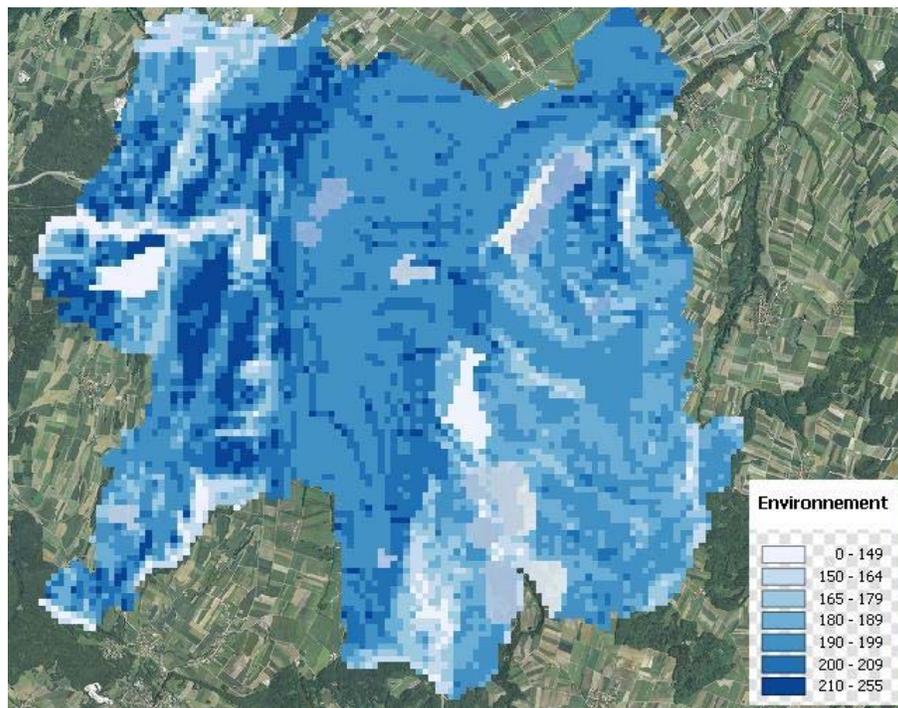
```

```
lastrecord.data("Point d'arrivée") = targetname
routeobjectset.remove(lasttarget)
end if
next
routeobjectset.remove(lastsource)
```

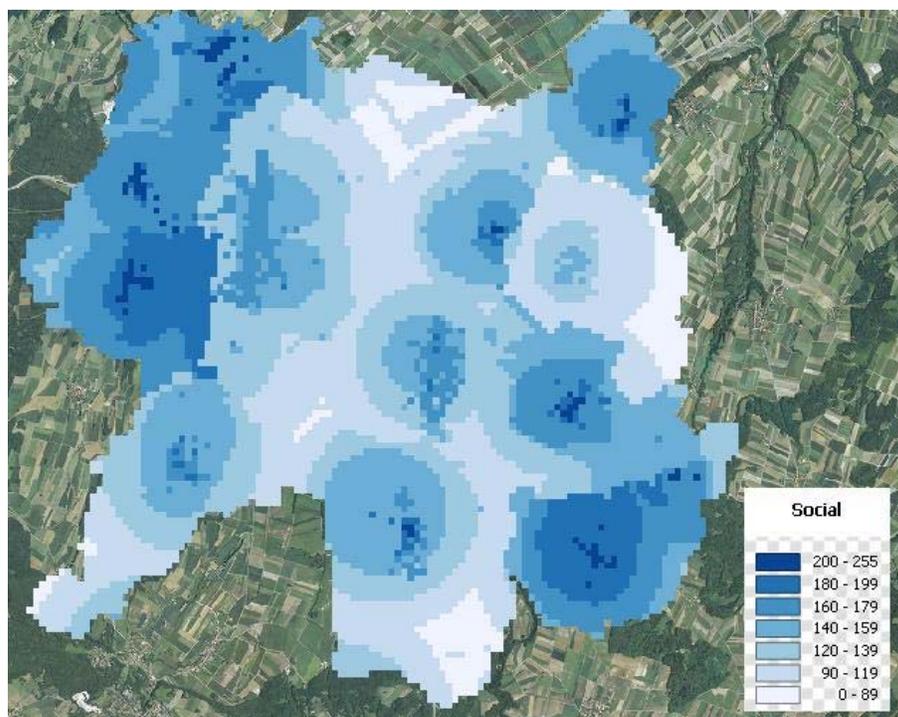
```
next
    'Message box indiquant la fin du calcul:
    Application.MessageBox "done!", "Script"
End Sub
```

10.9 ANNEXE 9 : Cartes d'évaluation des critères

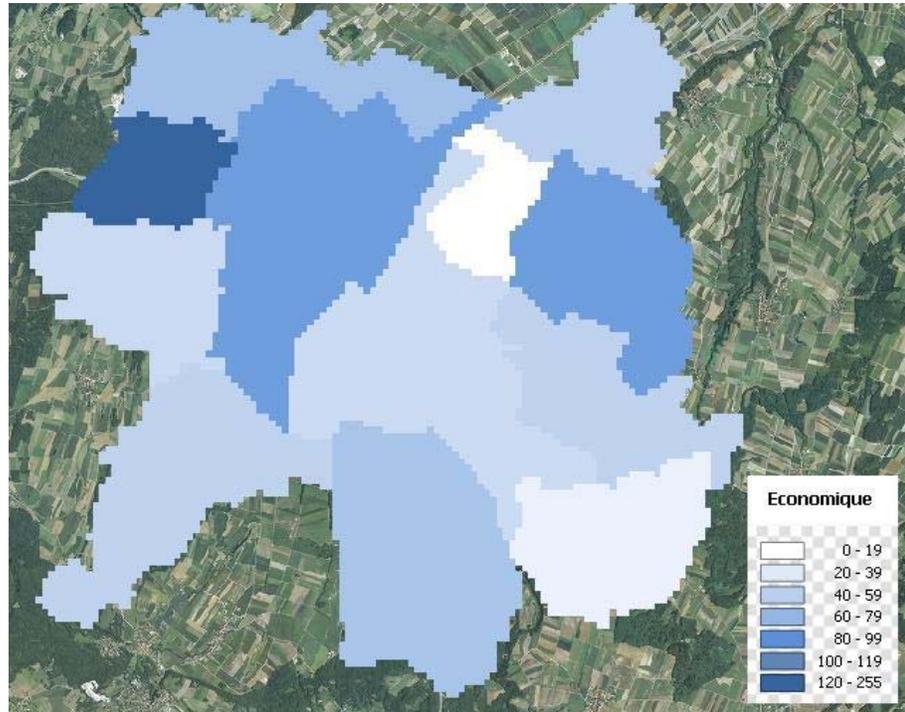
Carte du critère environnement



Carte du critère social



Carte du critère économique



Carte d'attractivité globale

