



LÉON FAYE

**APPORT DE LA GEOMATIQUE A L'ETUDE DE L'EROSION DU
BASSIN VERSANT DE KOUALE DANS L'ILE DE MAYOTTE ET
PERSPECTIVES POUR LE PROJET DES BASSINS DE
RETENSION AU SENEGAL : SUD-EST DU PAYS**

Mémoire présenté

À l'université internationale de langue française au service
du développement africain

Université Senghor

Pour l'obtention de Master en Développement

DÉPARTEMENT ENVIRONNEMENT
SPÉCIALITÉ : GESTION DE L'ENVIRONNEMENT

ALEXANDRIE
EGYPTE
2007

Résumé

L'érosion hydrique des sols est une problématique environnementale qui mérite une attention particulière, surtout dans les pays en voie de développement comme le Sénégal essentiellement agricole. Elle contribue entre autres à la dégradation des sols et à la pollution des points d'eau compromettant ainsi le développement agricole durable.

Dans un contexte sénégalais de relance de l'agriculture avec le projet d'envergure nationale des bassins de rétention des eaux de ruissellement, il importe de tenir compte de l'érosion pour assurer la pérennité ou la durabilité d'un tel projet. La prise compte de ce problème est d'autant plus urgent que le projet a mobilisé d'énormes moyens financiers et suscité beaucoup d'espoir pour les décideurs et les populations rurales. En effet, les eaux de ruissellement que ces bassins captent, dont on a longtemps cherché par ailleurs à contrôler par des techniques de lutttes antiérosives, engendrent des problèmes aux conséquences très graves notamment la dégradation des sols, l'envasement ou la sédimentation des bassins et la pollution des eaux retenues. Cette étude s'articule sur une réflexion conceptuelle des enjeux environnementaux qui découlent des bassins de rétention.

La géomatique constitue une discipline qui peut permettre de suivre ce problème afin de proposer des aménagements et des modes de gestion des bassins de rétention soucieux de l'environnement et capable d'assurer la pérennité de ce grand projet.

Cette étude s'appuie sur un stage effectué dans le domaine de la géomatique appliquée à l'érosion du bassin versant de l'île de Mayotte, qui a permis de visualiser, à travers des données satellitaires, des photos aériennes et des cartes, les risques d'érosion dans ce milieu. Elle essaie donc à partir de l'expérience, de conceptualiser les problèmes environnementaux qui peuvent émaner de l'érosion autour des bassins de rétention. L'étude permet ainsi, de diagnostiquer cette problématique et d'esquisser une modélisation géomatique de l'érosion autour d'un bassin de rétention avec l'élaboration d'une base de données pour un suivi et une durabilité du projet.

Mots clés : Géomatique, Erosion hydrique, Bassin versant ; Bassin de rétention, Eaux de ruissellement Koualé (Mayotte), Sénégal (Sud-est).

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	II
SIGLES ET ABRÉVIATIONS.....	V
LISTE DES TABLEAUX.....	VII
LISTE DES FIGURES.....	VII
LISTE DES CARTES.....	VII
LISTE DES ANNEXES.....	VII
AVANT PROPOS.....	VIII
REMERCIEMENTS.....	X
PREMIÈRE PARTIE : INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
1.1 PROBLÉMATIQUE.....	1
1.2. HYPOTHÈSES DE TRAVAIL.....	3
1.3. OBJECTIFS.....	3
1.4. APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE.....	4
1.5. DÉFINITION DES CONCEPTS.....	4
1.5.1. <i>Géomatique</i>	4
1.5.2. <i>Erosion hydrique des sols</i>	6
1.5.3. <i>Bassin versant</i>	11
1.5.4. <i>Bassin de rétention</i>	12
<i>Conclusion partielle</i>	12
DEUXIÈME PARTIE : DESCRIPTION DE LA MÉTHODOLOGIE ET DE L'UTILISATION DES OUTILS DE LA GÉOMATIQUE.....	12
2.1. DESCRIPTION DE LA MÉTHODOLOGIE DE TRAVAIL.....	13
2.1.1. <i>Revue documentaire</i>	13
2.1.2. <i>Collecte des données des services techniques</i>	13
2.1.3. <i>Collecte des données du terrain</i>	14
2.2. PRÉSENTATION DES DONNÉES UTILISÉES.....	14
2.2.1. <i>Image satellitaire et photo aérienne</i>	14
2.2.2. <i>Cartes topographique, pédologique et climatique</i>	15
2.3. UTILISATION DES OUTILS.....	16
2.3.1. <i>Présentation des logiciels de travail</i>	16
2.3.1.1. ArcView GIS 3.2.....	16
2.3.1.2. Idrisi et Papri.....	16
2.3.2 <i>Manipulations et traitement des données</i>	17
2.3.2.1. <i>Elaboration du projet</i>	17
2.3.2.2. <i>Analyse en composantes principales (ACP)</i>	18
2.3.2.3. <i>Délimitation de la zone d'étude</i>	18
2.3.2.5. <i>Carte d'occupation du sol</i>	20
<i>Conclusion partielle</i>	21
TROISIÈME PARTIE : ANALYSE DE L'ÉROSION DU BASSIN VERSANT DE KOUALÉ.....	22
3.1. IMPACTS DES FACTEURS DE L'ÉROSION.....	22
3.1.1. <i>Impact de la pente</i>	22
3.1.2. <i>Rôle de la nature des sols</i>	23
3.1.3. <i>Incidence des précipitations</i>	24
3.1.4. <i>Place de la rugosité du sol</i>	25
3.2. EFFETS DE L'ÉROSION HYDRIQUE ET RECOMMANDATIONS.....	28
3.2.1. <i>Conséquences en aval</i>	29
3.2.2 <i>Conséquences en amont</i>	29

3.2.3. <i>Recommandations</i>	29
<i>Conclusion partielle</i>	30
QUATRIÈME PARTIE : PERSPECTIVES POUR LE PROJET DES BASSINS DE RÉTENTION DU SÉNÉGAL (EXEMPLE DU SUD EST DU SÉNÉGAL)	31
4.1. PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU PAYS.....	31
4.2. ANALYSE DES PRINCIPAUX FACTEURS DE L'ÉROSION HYDRIQUE AU SÉNÉGAL.....	33
4.2.1. <i>Pluviométrie</i>	34
4.2.2. <i>Sols du Sénégal face à l'érosion hydrique</i>	35
4.2.3. <i>Couverture du sol</i>	37
4.2.4. <i>Topographie</i>	39
4.3. PERTINENCE DE L'ÉTUDE GÉOMATIQUE DE L'ÉROSION HYDRIQUE AU SÉNÉGAL.....	39
4.3.1. <i>Données et expertise Géomatique du Sénégal</i>	40
4.3.2. <i>Relation entre érosion hydrique et relance de l'agriculture par les bassins de rétention</i>	41
4.3.2.1. Contexte agricole du pays et la dynamique actuelle.....	41
4.3.2.2. Projet des bassins de rétention et des lacs artificiels.....	43
4.3.2.3. Risques environnementaux de l'érosion dans un bassin de rétention.....	47
4.3.2.4. Techniques antiérosives et captage des eaux de ruissellement.....	48
4.3.2.5. Formulation d'une démarche de construction d'un bassin de rétention.....	49
<i>Conclusion partielle</i>	53
CONCLUSION GÉNÉRALE	54
BIBLIOGRAPHIE	55
ANNEXES	59

Sigles et Abréviations

ACP :	Analyse à Composante Principale.
ARD :	Agence Régionale de Développement
CCD :	Convention de lutte Contre la Désertification.
CES :	Conservation de l'Eau et des Sols.
CIRAD :	Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement.
CONSERE :	Conseil Supérieur de l'Environnement et des Ressources Naturelles.
CRIF :	Centre Régional d'Idrisi Francophone.
CSE :	Centre de Suivi Ecologique.
DAT :	Direction de l'Aménagement du Territoire.
DMN :	Direction de la Météorologie Nationale.
DTGC :	Direction des Travaux Géographique et Cartographique.
FAO :	Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture.
GCES :	Gestion et Conservation des Eaux et des Sols.
GPS :	Global Positioning System.
IDH :	Indice de Développement Humain.
INP :	Institut National de Pédologie.
IRD :	Institut de Recherche pour le Développement.
LERG :	Laboratoire d'Enseignement et de Recherche en Géomatique.
MEPN	Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature.
MNT :	Modèle Numérique de Terrain.
MUSLE:	Modifield Universal Soil Loss Equation.
NPA:	Nouvelle Politique Agricole.
NOAA-AVHRR	National Oceanic and Atmospheric Administration/ Advanced Very Hight Resolution Radiometer
ONG :	Organisation Non Gouvernementale.
PIB :	Produit Intérieur Brut.
PNAE :	Plan National d'Action pour l'Environnement.
PNG :	Plan National de Géomatique.
PNUD :	Programme des Nations Unies pour le Développement.
REVA :	Retour Vers l'Agriculture.

RUSELE:	Revised Universal Soil Loss Equation.
SIG :	Système d'Information Géographique.
SLEMSA	Soil Loss Equation Modified for Southern Africa
SPOT :	Satellite Probatoire d'Observation de la Terre.
TERA	Territoires, Environnement et Acteurs
TIN:	Triangulated Irregular Network.
UCAD:	Université Cheikh Anta Diop de Dakar.
USAID :	Agence de Coopération Internationale des Etats-Unis.
USLE:	Universal Soil Loss Equation.
UTM :	Universal Translate Mercator.

Liste des tableaux

TABLEAU 1: NATURE ET IMPORTANCE DES PHÉNOMÈNES DE DÉGRADATION DES SOLS PAR RÉGIONS ÉCO GÉOGRAPHIQUES.....	37
TABLEAU 2: FLORE DES DOMAINES PHYTOGÉOGRAPHIQUES DU SÉNÉGAL.....	37

Liste des figures

FIGURE 1: SYSTÈME DE L'ÉROSION HYDRIQUE DES SOLS.....	9
FIGURE 2: ANALYSE DE LA PROBLÉMATIQUE DES BASSINS DE RÉTENTION.....	42
FIGURE 3: ANALYSE DU BASSIN DE RÉTENTION.....	44
FIGURE 4: DÉMARCHE PARTICIPATIVE DE CONSTRUCTION D'UN BASSIN DE RÉTENTION.....	49

Liste des cartes

CARTE 1: FOND TOPOGRAPHIQUE À LA CARTE DES PENTES.....	19
CARTE 2: SUSCEPTIBILITÉ DES SOLS.....	23
CARTE 3: MODÈLE DES PLUIES.....	24
CARTE 4: INDICE DE RUGOSITÉ À PARTIR DE LA PHOTO AÉRIENNE.....	26
CARTE 5: INDICE DE RUGOSITÉ À PARTIR DE L'IMAGE SATELLITAIRE.....	27
CARTE 6: MODÉLISATION DE L'ÉROSION.....	28
CARTE 7: LOCALISATION GÉOGRAPHIQUE DU SÉNÉGAL.....	31
CARTE 8: ZONES ÉCO GÉOGRAPHIQUES DU SÉNÉGAL.....	31
CARTE 9: SENSIBILITÉ DES SOLS DU SÉNÉGAL À L'ÉROSION HYDRIQUE.....	33
CARTE 10: PLUVIOMÉTRIE AU SÉNÉGAL.....	35
CARTE 11: SOLS AU SÉNÉGAL.....	36

Liste des annexes

ANNEXE 1: ARTICLE SUR LES BASSINS DE RÉTENTION.....	59
ANNEXE 2: ARTICLE SUR LES BASSINS DE RÉTENTION.....	60
ANNEXE 3: MANIPULATIONS.....	61

Avant propos

La formation en deux ans du master de l'Université Senghor d'Alexandrie (Egypte) s'accompagne par l'élaboration d'un mémoire de fin de formation. L'Université Senghor qui abrite quatre départements notamment Santé, Administration-Gestion, Patrimoine culturel et Environnement constitue un opérateur direct de la Francophonie dont l'objectif est de former des cadres pour le développement de l'Afrique. Etudiant de la dixième promotion de cette Université, au Département Environnement, la réflexion dans le cadre du mémoire s'oriente sur la géomatique appliquée à l'érosion. Elle représente une thématique environnementale fondamentale pour les pays en voie de développement essentiellement agricoles comme le Sénégal, où la question de la sécurité alimentaire se pose avec une grande acuité.

Cette réflexion est dans une certaine mesure le prolongement du stage professionnel de mai à juillet 2006 qui s'est effectué au Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD) de Montpellier (France) dont l'objectif est d'impulser à partir de la recherche le développement durable des pays tropicaux du sud. Ce grand institut international français, intègre dans sa démarche la prise en compte des conséquences écologiques, économiques et sociales des processus de transformations des sociétés et des territoires c'est-à-dire le développement durable.

Le CIRAD en 2006 était structuré en sept départements divisés en 62 unités dont 36 unités propres de recherches (UPR), trois unités de services, vingt unités mixtes de recherche et trois unités de recherche en partenariat (URP). Le stage s'est déroulé précisément au département TERA (Territoires, Environnement et Acteurs), UPR GREEN (gestion des ressources renouvelables et environnement). Le département TERA a pour objectif de fournir des connaissances, des méthodes et des outils pour accompagner le processus collectif de gestion des ressources renouvelables et améliorer la capacité des acteurs à maîtriser le pilotage des systèmes complexes. Le CIRAD et plus particulièrement le département TERA répond à nos préoccupations car il s'intéresse à l'environnement qui signifie « l'ensemble des éléments naturels et artificiels ainsi que les facteurs économiques, sociaux et culturels qui favorisent l'existence, la

transformation et le développement du milieu, des organismes vivants et les activités humaines ».

Le stage a porté sur un projet déjà piloté par le département et intitulé : Evaluation et cartographie de l'érosion à Mayotte, une des îles de l'archipel des Comores. La durée du stage relativement courte ne permettait pas de faire le terrain. Il s'articulait essentiellement sur l'appropriation des questions méthodologiques et la manipulation des outils et techniques qui ont permis de bien mener le projet, afin de pouvoir ultérieurement les utiliser de façon générale dans l'étude des problématiques environnementales du Sénégal et particulièrement celle de l'érosion. La collecte des données sur le terrain et dans les services techniques a été réalisée par l'équipe chargée du projet dont certains sont basés à l'antenne CIRAD de Mayotte. Il s'agit d'une exploitation de ces données déjà disponibles pour une spatialisation des facteurs explicatifs de l'érosion. Le stage nous a donné l'occasion de manipuler des données de sources différentes notamment des cartes, des images satellites et des photographies aériennes puis d'élaborer des cartes thématiques. En effet, ces outils utilisables dans plusieurs domaines occupent une place de choix dans la gestion de l'environnement. La maîtrise de ces outils et de la démarche permet de mieux appréhender et de visualiser les problèmes environnementaux puis de choisir les remèdes efficaces pour prévenir et réparer les dommages affligés à la nature et notre cadre de vie. Cela facilite par conséquent une bonne prise de décision pour une gestion efficace du territoire.

Le laboratoire de modélisation du département d'accueil est équipé d'ordinateurs disposant de logiciels qui permettent d'effectuer cet apprentissage. Cette première expérience dans les SIG et en France permet d'avoir une plus grande ouverture d'esprit sur les potentialités de ces outils et les perspectives qu'ils offrent dans le cadre de la recherche et de la gestion professionnelle de l'environnement.

La poursuite de la réflexion nous a permis de voir dans quelle mesure il est possible d'extrapoler la méthode développée sur les données de Mayotte et de saisir les problèmes d'érosion hydrique du Sénégal dans un contexte où le pays a lancé un grand projet de construction de bassins de rétention chargés de capter et de stocker l'eau de ruissellement. Le captage de l'eau d'écoulement s'accompagne par des sédiments qui peuvent non seulement envaser les bassins mais également les polluer. Par conséquent une évaluation et un suivi de l'érosion hydrique est indispensable pour la durabilité de cet ambitieux projet. L'étude s'articule essentiellement sur quatre parties notamment une introduction générale, une description de la méthodologie et des outils de la géomatique, une analyse de l'érosion

du bassin versant de Koualé puis les perspectives pour le projet des bassins de rétention du Sénégal (sud-est du pays).

Remerciements

La production de ce travail n'est point le résultat d'une œuvre individuelle mais le fruit de concours et soutiens multiformes de plusieurs personnes que je tiens vivement à manifester ma profonde gratitude.

D'abord, je remercie profondément toute ma famille pour leur soutien affectif et moral, qui malgré la distance n'a cessé de s'exprimer.

Ensuite, je remercie l'Université Senghor, l'ensemble du personnel et tous les professeurs qui m'ont permis de suivre convenablement la formation. Ces remerciements s'adressent plus directement au recteur Fernand Texier puis à la directrice du département environnement, Dr Caroline Gallez et la secrétaire Yiman Fawzi qui ont été des collaboratrices très compréhensibles.

En outre, je remercie tous les étudiants de l'Université Senghor et particulièrement ceux du département environnement qui m'ont permis à travers leurs contacts de sillonner humainement une pluralité de pays d'Afrique. La diversité culturelle "Senghorienne" a permis à partir de l'Egypte, berceau des civilisations de se ressourcer non seulement dans l'unité africaine et la mondialisation mais également de renforcer le sentiment national. Effet, je souhaite que mes camarades compatriotes en l'occurrence Khamath Kama, Aboubacry Sadikh Niang, Ndeye Rokhaya Seck, Fatou Sabelle Diop, Bernard Bangoura, Ibrahima Pouye, Aly Sall, Christian Tendeng, Marième Soda Diallo et le Nigérien-Sénégalais Moussa Issalak retrouvent toute ma reconnaissance.

Enfin, je remercie mon professeur Mamadou Amadou Camara formateur à l'Ecole Normale Supérieure et directeur de l'Université Virtuelle Africaine pour m'avoir signé ma lettre de recommandation et Louise Nathalie Coly pour son soutien sentimental.

Je ne saurais terminer sans remercier spécialement monsieur Serge Guillobez pour m'avoir rigoureusement initié à la géomatique durant mon stage et le professeur Goze Bertin Benié qui, malgré un calendrier chargé, a bien voulu accepter de suivre et d'apporter des

suggestions pertinentes à ce travail. Je remercie en fin les membres du jury : Pr Goze Béné, Dr Caroline Gallez et Dr Joseph Wéthé pour avoir présidé la soutenance du mémoire.

Première partie : Introduction générale

Cette première partie du travail qui concerne l'introduction générale, s'articule sur la problématique, les hypothèses de recherche, les objectifs et la définition des concepts. Elle permet de comprendre au préalable l'esprit de l'étude dont la finalité est de cerner les outils techniques et méthodologiques utilisables dans l'appréhension de la thématique de l'érosion hydrique.

1.1 Problématique

Reconnue comme l'une des pierres angulaire du développement, la protection de l'environnement représente depuis le sommet de Stockholm de 1972 un enjeu mondial et une question de survie de la planète. Parmi les piliers du développement durable, l'environnement constitue la condition, l'économie le moyen et le social la finalité.

L'accès à un environnement propre et productif constitue désormais un droit fondamental de l'homme. En dépit de cette sonnette d'alarme, les actions anthropiques, conjuguées aux aléas climatiques accentuent la dégradation des ressources naturelles et plus particulièrement les sols, la végétation et l'eau se dégradant très rapidement. En effet, la baisse de la pluviosité qui a entraîné depuis les années 1970 une accélération du processus de « sahélation » au Sénégal à cause de la réduction du couvert végétal, épuise les sols non protégés de l'érosion pluviale. Aussi, la pression démographique, l'urbanisation galopante, les systèmes de cultures ont accentué la détérioration des ressources naturelles. La propreté et la productivité de l'environnement évoquées tantôt sont donc menacées voire compromises, alors que les besoins humains ne cessent de croître surtout en Afrique secouée l'explosion démographique et par la pauvreté.

Cette dégradation au rythme inquiétant surtout dans des pays sahéliens essentiellement agricoles comme le Sénégal qui ne dispose que 11,6% de terres arables en 2003 (rapport FAO, CSE), nécessite actuellement une bonne appréhension du problème. Une gestion rationnelle et durable de notre patrimoine commun est indispensable afin de réhabiliter les écosystèmes dégradés et sauver les populations dont la survie dépend de ces ressources naturelles.

Parmi ces ressources, les sols, support des activités humaines jouent un rôle fondamental dans le fonctionnement des écosystèmes. Ces sols, points sensibles de l'environnement terrestre sont menacés par l'érosion, un fléau aux conséquences multiples généralement peu prises en charge par les paysans d'une part et les décideurs d'autre part. En effet, l'érosion est l'une des formes de dégradation des sols les plus graves. Elle est un des facteurs principaux de dégradation des sols et perturbe fondamentalement leurs fonctions notamment les rôles de tampon et de filtre des polluants, sa place dans le cycle hydrologique et dans le cycle de l'azote puis sa capacité à fournir un habitat et de soutenir la diversité biologique.

Les phénomènes d'érosion, essentiellement pluviale, éolienne et aratoire engendrent non seulement une réduction de la production agricole mais également des perturbations écologiques. Chaque année, l'érosion « rend improductives 20 millions d'hectares de terres dans le monde¹ ». Elle peut entraîner la perte de la fertilité des sols, provoquer l'envasement et la pollution des points d'eau par le transport des particules de sables et des produits chimiques.

Une connaissance approfondie du fléau et sa gestion durable impliquent le suivi et l'évaluation permanents. L'érosion constitue un sérieux problème environnemental parfois diffus, dont la prise en charge passe par l'utilisation des outils et techniques modernes indispensables à la compréhension et à la maîtrise du problème. Aujourd'hui, la géomatique, de façon générale une science qui essaie d'appréhender la terre à partir des nouvelles technologies surtout informatiques, constitue un ensemble d'activités pouvant permettre de comprendre, de modéliser et de gérer l'érosion des sols.

Notre stage professionnel nous a permis à partir des données de l'île de Mayotte de nous familiariser avec certains outils de la géomatique notamment les Systèmes d'information géographique (SIG) comme Arc View 3.2 et Idrisi. Ce mémoire s'inscrit dans le cadre de l'approfondissement de nos connaissances sur la thématique de l'érosion et de voir dans quelle perspective il est possible de mener une telle étude au Sénégal, pays essentiellement agricole, où l'érosion hydrique des sols se pose avec acuité.

¹ Albergel J. et Valentin C. : Sciences du Sud, hors série, journal de l'IRD, 2003.

Cette étude cherche à comprendre comment l'érosion des sols peut compromettre dans le futur le grand projet de réalisation de bassin de rétention que le Sénégal est entrain de mettre en œuvre progressivement dans beaucoup de villages. En effet, les bassins de rétention doivent capter l'eau de ruissellement qui se perd chaque année durant l'hivernage alors que ces eaux constituent un fléau que l'on cherche à maîtriser par des techniques antiérosives. Le captage semble contradictoire avec le contrôle du ruissellement, appliqué pour atténuer les conséquences de l'érosion résultante. Cette question nécessite alors une grande attention et une préoccupation où la géomatique peut jouer un rôle fondamental.

1.2. Hypothèses de travail

Les facteurs de l'érosion hydrique, responsables de la dégradation des sols dans la zone soudanienne et soudano- guinéenne du Sénégal et pouvant compromettre le projet des bassins de rétention du pays pourraient être appréhendés aujourd'hui par la géomatique.

1.3. Objectifs

L'objectif général de cette étude est d'effectuer une analyse conceptuelle des processus et des phénomènes de l'érosion hydrique en relation avec des outils de la géomatique pour le suivi et l'évaluation du projet des bassins de rétention.

Les objectifs spécifiques :

- conceptualiser la thématique de l'érosion hydrique dans les bassins de rétention du sud-est du Sénégal;
- identifier les éventuels problèmes pouvant menacer la durabilité du projet;
- organiser les données utilisables dans la mise en place d'un système d'information géographique pour l'étude et le suivi-évaluation du projet des bassins de rétention;
- formuler une démarche préalable de construction d'un bassin de rétention pour une adhésion de l'ensemble des acteurs impliqués.

1.4. Approche méthodologique

Le travail de recherche s'inspire et s'appuie sur le stage professionnel effectué dans le cadre de la formation. La méthodologie s'articule d'abord sur la revue de la littérature sur la géomatique, l'érosion des sols et le projet des bassins de rétention.

Le stage a consisté à manipuler des logiciels de SIG pour traiter les données d'un bassin versant de l'île de Mayotte. Les données utilisées dans le cadre de l'apprentissage de quelques outils de la géomatique intéressent les images satellitaires, les photos aériennes, les cartes topographique, pédologique, les modèles numériques de terrain (MNT) et les données climatiques (isohyètes). Il s'agit en fait d'élaborer un projet dans un logiciel de système d'information géographique en introduisant toutes les données qui peuvent servir à analyser la thématique étudiée.

Cette expérience a permis de mieux orienter la recherche et la réflexion conceptuelles sur l'érosion hydrique autour des bassins de rétention du Sénégal. Ainsi, l'ensemble des besoins pour l'élaboration d'un projet d'étude de l'impact de l'érosion hydrique sur les bassins de rétention du sud-est du Sénégal a été identifié.

1.5. Définition des concepts

Le document s'articule essentiellement autour cinq mots clés qui s'appliquent sur deux lieux différents. Il s'agit de la géomatique, de l'érosion hydrique, des sols, du bassin versant et du bassin de rétention.

1.5.1. Géomatique

Avec le développement technologique, il existe progressivement des outils, des techniques et méthodes de plus en plus sophistiqués pour mieux appréhender ces phénomènes et qui se regroupent autour de la géomatique. Le concept de géomatique, qui provient de la contraction des deux mots géodésie (géo) et information (matique) a fait irruption au Québec dans les années 1970 avant de se répandre aujourd'hui partout dans le monde (cours de géomatique, Goze Béné).

La géomatique fait partie des disciplines qui impulsent la dynamique de compréhension et de maîtrise de l'espace. Elle intègre les sciences de la terre et les technologies de l'information, notamment l'informatique puis connaît des applications très variées. Elle

constitue un véritable outil de diagnostic de l'évolution du milieu et de planification du territoire.

La géomatique est une science qui a pour objet l'observation partielle et globale de la terre, la localisation et la mesure de ces caractéristiques physiques et humaines, le stockage des données et leur traitement en vue d'obtenir des informations de qualité d'aide à la décision.

La géomatique est « Un champ d'activités scientifiques et techniques qui intègrent, suivant une approche systémique, l'ensemble des moyens d'acquisition et de gestion des données à référence spatiale utilisées dans le processus de production et de gestion des territoires² ».

Cette science et technique qui collecte, analyse, interprète, distribue et utilise l'information géographique englobe des disciplines comme la géographie le cadastre, l'aménagement du territoire, la programmation informatique, les levés topographiques, la télédétection, les systèmes d'information géographique (SIG), la géodésie (étude des formes et des dimensions de la terre).

Selon le même auteur « Le SIG peut être défini comme un système de gestion de bases de données conçues pour saisir, stocker, manipuler, analyser et afficher des données à référence spatiale en vue de résoudre des problèmes complexes de gestion et de planification³ ».

Ce système informatisé comprend des bases de données sur une unité géographique, des logiciels permettant de gérer, le stockage, la mise à jour pour un accès efficace (rapide, facile, sûr) de l'information puis le traitement et la représentation visuelle. La base de données est un ensemble structuré de données pouvant servir dans différentes applications. La finalité des SIG reste leur utilisation dans la gestion spatiale et la facilité de la prise de décision à travers l'exploitation des données vectorielles ou matricielles. Les données vectorielles ou objets intéressent tout ce qui est traits (lignes, routes), points (villes), et polygones (pays) tandis que les données matricielles ou raster (maillé ou image) concernent les images satellitaires et les photos aériennes "scannées". Une information dite géographique est une information localisée. Cette définition du SIG par Laaribi se recoupe avec celle de Beguin Pumain qui parle d'un « système

² Laaribi Amor, SIG et analyse multicritère, édition Hermes, 2000.

³ idem

informatisé qui comprend une base de données sur un ensemble d'unités géographiques et un logiciel ou un ensemble de logiciels permettant de gérer le stockage, la mise à jour, un accès efficace aux informations, le traitement et la représentation visuelle des données ⁴».

Cette définition englobe parfois, aussi le matériel qui contient le tout, l'ordinateur avec son écran et ses périphériques, la table à numériser ou scanner pour saisir des cartes, un traceur ou imprimante. Dans la revue internationale de géomatique, elle se définit comme : « Une thématique de recherche qui regroupe l'ensemble des disciplines et les moyens informatiques permettant de représenter, d'analyser et d'intégrer des données géographiques. Elle consiste donc en au moins trois activités: la collecte, le traitement et la diffusion des données⁵ ».

A travers ces définitions, il importe de retenir que la géomatique est une science qui englobe plusieurs disciplines ou activités au service du développement à travers la facilité d'une prise de décision judicieuse. Elle suit le rythme de l'évolution rapide des technologies informatiques.

1.5.2. Erosion hydrique des sols

L'analyse du concept d'érosion hydrique des sols nécessite au préalable une définition du sol et de l'érosion, pour le cerner davantage.

- Le sol

Science de synthèse qui s'appuie sur la biologie, la géologie, la physique de la climatologie et la chimie la pédologie étudie les sols, ressources essentielles et très sensibles de l'environnement terrestre. Le sol représente la couche extérieure de l'écorce terrestre qui résulte de la fragmentation et de l'altération de la roche mère sous l'influence mutuelle de l'eau, des conditions climatiques de l'air et des organismes vivants et morts. Il s'est formé initialement par la décomposition et la désintégration des roches dans les processus physiques et chimiques puis influencé par l'activité et l'accumulation des résidus de nombreuses espèces biologiques.

Le sol est alors une mince pellicule à l'interface entre l'atmosphère et la lithosphère qui, en tant que partie de l'écosystème, occupe une position essentielle dans les cycles

⁴ Beguin Pumain, dictionnaire de géomatique, Internet

⁵ Revue internationale de géomatique, Internet

globaux des matières. Le sol est un système vivant qui contient des micro-organismes et des substances chimiques qui offrent de la nourriture aux plantes.

Le sol se caractérise par sa texture, sa structure et sa porosité (perméabilité). Constante, la texture concerne l'association des particules de tailles différentes (notion de tissu). On distingue les argiles, les limons et les sables à partir de la granulométrie. Par contre la structure qui est changeante, dynamique, difficilement mesurable et contrôlable se définit par l'arrangement réciproque, l'orientation des particules dans le sol.

Ressource renouvelable dans ses processus de minéralisation et d'humification, mais essentiellement non renouvelable à l'échelle de sa genèse et de son évolution, le sol est l'épiderme indispensable et fragile de la terre qui, perdu n'est pas reconstituable au niveau des générations humaines (Pillet G et al). Cela veut dire que sa vitesse de destruction est bien plus rapide que sa régénération. C'est dans ce contexte que le PNUE stipule que :

« Les ressources en sols sont limitées et ne constituent qu'une couche superficielle mince et fragile de la croûte terrestre, extrêmement vulnérable à une surexploitation et à une mauvaise gestion. Tous les écosystèmes terrestres sont fonction du sol, en leur absence, les plantes qui nous fournissent les aliments, les fibres, le combustible, le bois d'œuvre et l'oxygène ne pourraient pousser⁶ ».

Cette définition du sol fait ressortir d'une part l'importance capitale et le caractère indispensable de cette ressource pour la vie terrestre et d'autre part la nécessité impérieuse de sa protection eu égard à sa fragilité et à sa vulnérabilité.

La qualité des sols constitue ainsi un élément indispensable à l'atteinte de la sécurité alimentaire qui fait défaut dans les pays en voie de développement comme le Sénégal. Son importance et sa fragilité expliquent le caractère fondamental de sa protection contre les facteurs dégradants comme l'érosion. Déjà en 1944, Harroy JP, dans son livre intitulé « L'Afrique terre qui meurt » a démontré que les deux causes de la dégradation rapide des sols africains restent « la minéralisation rapide de l'humus sous climats chauds et humides et l'érosion des sols dénudés soumis aux pluies diluviennes⁷ ».

⁶ Pillet G, Louget R, Sols: Faciles à perdre, difficiles à regagner. Collection "dossier sur l'environnement" 1993

⁷ Harry JP, L'Afrique terre qui meurt: la dégradation des sols africains sur l'influence de la colonisation. Bruxelles, édition Hayez, 1944.

- L'érosion

Processus vieux comme le monde, l'érosion est un phénomène d'ablation et de pertes de substance à la surface de la croûte terrestre. Elle prélève des matériaux qui, en solution ou en suspension dans les eaux des rivières et des fleuves, peuvent gagner les océans. Les matériaux s'accumulent et forment des dépôts de sédiments. L'érosion est un processus naturel permanent d'usure des sols qui est accentué ou accéléré par les activités humaines. Ainsi, Tricart J en 1953, distingue l'érosion naturelle de l'érosion accélérée ou anthropique. L'érosion s'explique par plusieurs agents dont les plus essentiels sont le vent, l'eau et la topographie. On parle ainsi de l'érosion éolienne et de l'érosion hydrique. La dernière constitue l'objet de l'étude. En Afrique, même si l'érosion a été observée très tôt, les recherches ont véritablement commencé d'après Eric Roose durant les années 1950 et depuis lors, on assiste à un fleurissement des travaux dans ce domaine.

L'importance de l'érosion est liée essentiellement à deux grands facteurs que sont l'érosivité et l'érodibilité. L'érosivité concerne les agents de l'érosion notamment le vent et l'eau tandis que l'érodibilité intéresse la réponse ou la résistance du terrain c'est-à-dire la nature du sol, la couverture végétale et la pente. En effet les propriétés des sols notamment la texture, la structure et la porosité influencent sur l'érosion à travers la faible infiltration qui accentue le ruissellement.

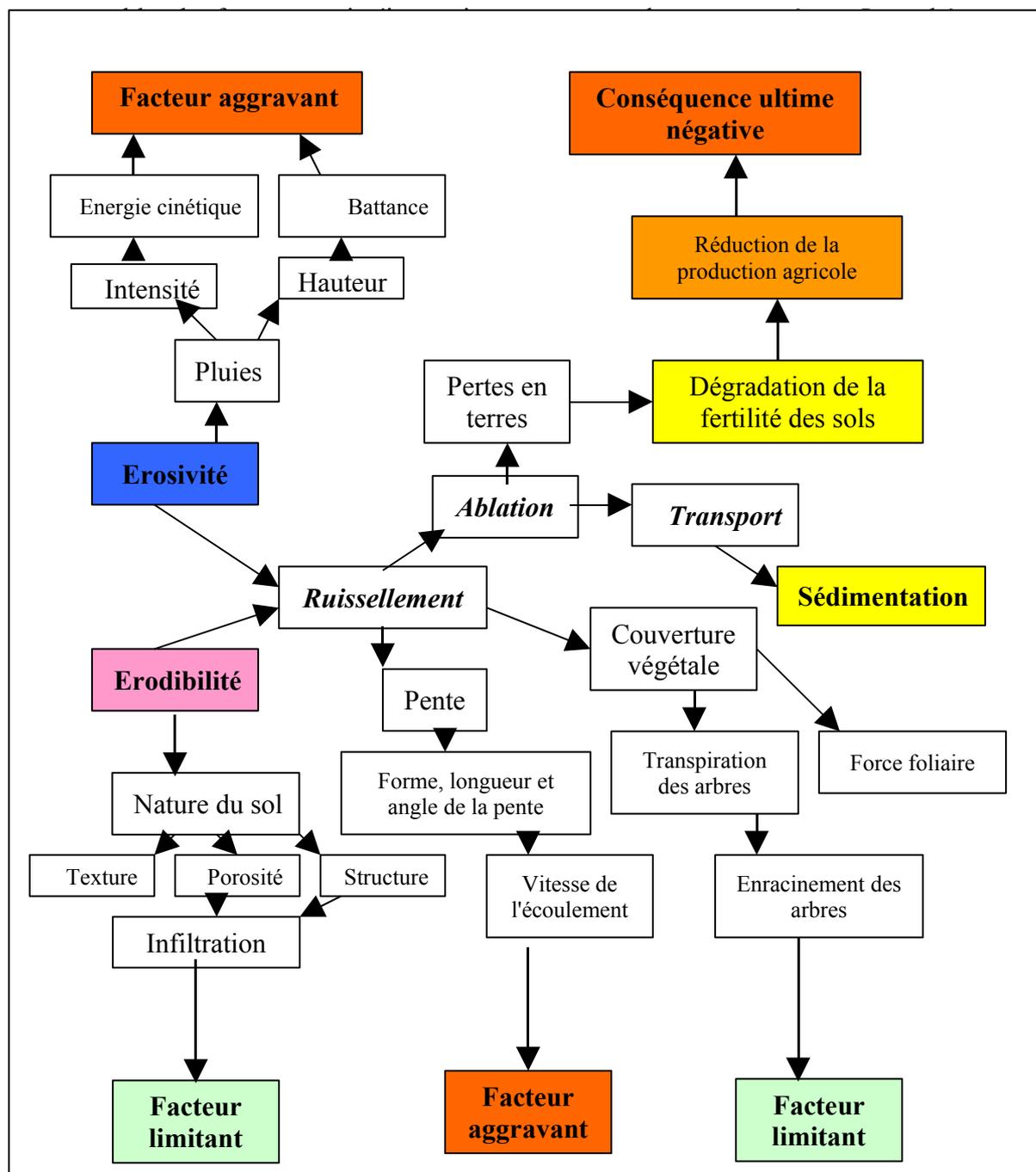
L'érosion dont le processus suit les étapes d'ablation, de transport et de dépôt n'est pas un risque facilement identifiable. Parfois diffuse, en nappe ou linéaire, l'érosion a alors des conséquences en amont et en aval. Elle a d'une part des causes naturelles comme la pluie, la pente et d'autre part des causes anthropiques c'est à dire le déboisement anarchique (déforestation), les cultures imprudentes, le surpâturage, les activités de construction et le faible système racinaire. Les effets de l'érosion peuvent être visibles tardivement surtout dans les zones où les sols sont plus profonds et les plus fertiles ou dans les zones dans lesquelles il existe une forte utilisation de fertilisants. Et une fois manifestes, ces effets sont difficilement remédiables.

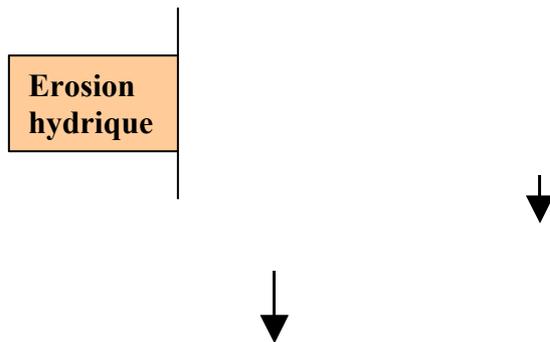
Le mécanisme de l'érosion pluviale est important en sol nu ou cultivé. Il débute par la dégradation de la structure des horizons de surfaces, provoquant la formation de la croûte de battance, de la sédimentation. La rugosité de la surface du sol disparaît, elle devient lisse et perd sa perméabilité.

Cette situation favorise le ruissellement des pluies au détriment de l'infiltration et prépare l'érosion hydrique. Dans un premier temps, l'eau s'écoule en nappes et n'entraîne que les particules fines détachées des agrégats. Ensuite elle peut passer inaperçue, mais sa concentration donne des rigoles puis des ravines voire l'éboulement des berges et les glissements de terrains.

L'érosion s'explique d'une part par des facteurs physiques et d'autre part par des facteurs technico-humaines. Les facteurs physiques intéressent la nature du substrat, les données climatiques, la valeur des pentes, la superficie du bassin et les degrés de protection de la végétation tandis que les facteurs technico-humaines intéressent l'assolement, la nature des cultures, les pratiques culturales et les aménagements antiérosifs.

La figure 1 suivante montre que l'érosion hydrique est un processus qui s'explique par





Source: Auteur

C'est en utilisant certains de ces paramètres qu'est construite 1978, la célèbre équation mondialement utilisée de Wischmeir et Smith intitulée le modèle USLE (Universal Soil Loss Equation).

Cette équation s'exprime à travers la formule suivante :

$$A = r * k * (I * s) * c * p$$

- A = perte en sol (par unité de surface) ;
- r = érosivité (énergie d'agressivité de la pluie) ou intensité de la pluie ;
- k = érodibilité du sol (sensibilité à l'action de la pluie) ;
- $L*s$ = facteur pente, fonction de la longueur de la parcelle et de la pente ;
- c = effet (favorable ou défavorable) des pratiques culturales ;
- p = effet des pratiques antiérosives, en particulier contouring et strip-cropping.

Cette formule d'origine américaine, largement débattue n'est pas universellement applicable car elle s'intéresse plus à l'érosion en nappe dans les zones de cultures et ne tient pas tellement compte de certains aspects, notamment la durée de la pluie, l'infiltration de l'eau et la vitesse de l'écoulement. Aussi la formule a été expérimentée uniquement au niveau de la parcelle pour des raisons méthodologiques.

A cause de ces limites, d'autres formules influencées par les observations de l'érosion dans les pays tropicaux ont été mises en place. C'est ainsi que Serge Guillobez⁸, en se basant sur une réflexion théorique, a mis en place une formule qui met plus en exergue la dimension hydraulique de l'érosion avec la prise en compte de l'infiltration, de la hauteur de la nappe, de sa vitesse (débit) et du temps sans pour autant réfuter les aspects présents dans la formule de base de Wischmeir.

En outre, des modèles empiriques ont été proposés, qu'il s'agisse de RUSELE (Revised Universal Soil Loss Equation), de MUSLE (Modified Universal Soil Loss Equation) et de SLEMSA (Soil Loss Equation Modified for Southern Africa) où les paramètres ont été affinés ou remplacés puis combinés à des coefficients de transportabilité. Pour mettre en application cette théorie de Wischmeier, des "simulateurs de pluies" ont été utilisés par beaucoup de chercheurs sur des superficies assez représentatives. L'évocation de cette formule de base qui fait l'objet d'améliorations peut servir de levier de réflexion et une source d'inspiration dans l'étude de l'érosion.

1.5.3. Bassin versant

Appelé aussi bassin hydrologique ou bassin fluvial, le bassin versant connaît une variété de définitions qui, malgré les quelques nuances ont en commun le fait que ce soit une surface qui alimente un cours d'eau ou un lac. Le bassin versant est donc un territoire

⁸ Guillobez S. Réflexion théorique du ruissellement et de l'érosion base d'un contrôle, application à détermination des écartements entre dispositifs antiérosifs, revue bois et forêt, numéro 226.

sur lequel toutes les gouttes de pluies qui tombent s'écoulent et se regroupent en un endroit pour former une rivière qui débouche sur un fleuve ou dans la mer.

En 1974, Loup J (wikipédia internet) définissait le bassin versant comme la surface réceptrice des eaux qui alimentent une nappe souterraine, un lac, une rivière ou un réseau complexe. On parle aussi d'une région délimitée, drainée par un cours d'eau et ses tributaires dont elle constitue l'aire d'alimentation ou bien un ensemble de pentes inclinées vers un cours d'eau et y déversent les eaux de ruissellement. Le bassin versant se caractérise par sa morphologie, son climat, sa géologie, sa végétation et ses sols. Territoire pour les rivières, le bassin versant a des frontières naturelles qui suivent les « crêtes des montagnes » ou lignes de partage des eaux.

1.5.4. Bassin de rétention

Dans l'article du quotidien le Soleil du 06 novembre 2006, le bassin de rétention est défini comme un aménagement hydraulique artificiel ou d'anciens points d'eaux (dépressions asséchées) dont l'objectif est de retenir l'eau des pluies pendant la longue saison sèche. La finalité est la restauration de biodiversité, la recharge de la nappe phréatique, la promotion du développement agricole et l'amélioration des conditions de vie des populations rurales par la maîtrise de l'eau et la lutte contre la désertification.

Il s'agit de faire des bassins de rétention des espaces multifonctionnels avec l'association de l'agriculture, de l'élevage, de la pisciculture, de la foresterie à l'image de l'agroforesterie accompagnée par des magasins de stockage et pistes de dessertes.

Conclusion partielle

L'analyse du cadre méthodologique et théorique dans cette première partie a permis d'élucider les concepts et les relations qui existent entre eux. Cela facilite la compréhension des questions qui sont discutées dans la suite du travail. Il apparaît ainsi que la thématique de l'érosion hydrique est entrain d'être appréhendée par la géomatique.

Deuxième partie : Description de la méthodologie et de l'utilisation des outils de la géomatique

Cette deuxième partie concerne essentiellement le travail qui a été effectué durant le stage professionnel. Elle s'articule sur la description de la méthodologie de travail et les outils utilisés dans le cadre du stage. Cette démarche et les outils techniques utilisés constituent des éléments indispensables pour conduire efficacement une analyse environnementale comme celle de l'érosion hydrique des sols. Cet apprentissage s'est effectué sur des données de l'île de Mayotte, un territoire volcanique français d'outre mer d'une superficie de 374 km².

2.1. Description de la méthodologie de travail

Cette partie s'articule sur l'observation, la collecte des données puis la présentation des informations qui vont constituer la base de données. Précédée d'une revue documentaire, la collecte des données intéresse d'une part leur commande dans des services techniques et d'autre part leur acquisition sur le terrain.

2.1.1. Revue documentaire

De façon générale la méthodologie de tout travail d'analyse territoriale et celle de l'érosion hydrique de façon particulière exige un certain nombre d'étapes et de principes. D'abord pour s'imprégner de ce qui a été déjà fait sur ce thème, une recherche documentaire est une condition *sine qua none* pour la production de ce travail.

En plus d'une documentation déjà collectée au préalable, une autre bibliographie a été mise à notre disposition par notre directeur de stage et renforcée par des recherches sur internet. Celle-ci intéresse aussi bien le thème de l'érosion, la géomatique que les logiciels ou outils à apprendre. Par conséquent une partie du stage est consacrée à l'exploitation de cette documentation.

2.1.2. Collecte des données des services techniques

A coté de cette documentation, il importe d'effectuer une collecte de données auprès des services techniques. Il s'agit des cartes topographique, pédologique puis des images satellitaires et des photos aériennes.

L'équipe du projet de "cartographie de l'érosion de l'île Mayotte" avait obtenu ces données de la zone d'étude auprès des services compétents. Au Sénégal, le Centre de Suivi Ecologique (CSE) dispose d'une antenne permettant de capter des images satellitaires. Les cartes topographiques peuvent être trouvées à la Direction des Travaux Géographiques et de Cartographie (DTGC) et les cartes pédologiques à l'Institut National de Pédologie (INP) ou à la Direction de l'Aménagement du Territoire (DAT).

2.1.3. Collecte des données du terrain

Sur le terrain, on procède à des enquêtes, des observations, des localisations ou relevés d'éléments physiques par le GPS. À défaut d'y participer réellement, une démonstration sur l'utilisation, la collecte de ces données à partir de cet instrument et leur introduction dans l'ordinateur a été cependant effectuée pour avoir une idée sur le travail de terrain.

Par conséquent dans le cadre du stage, ces deux étapes n'ont pas été effectuées par nous-mêmes car le projet à terme intéressait l'équipe de la structure d'accueil, notamment le département TERA du CIRAD, qui dispose d'une antenne dans la zone d'étude. Aussi, la perspective de travail dans les bassins de rétention au Sénégal Oriental n'offre pas l'opportunité d'effectuer un travail de terrain. Il consiste à effectuer un travail de conceptualisation sur les impacts environnementaux du projet liés à l'érosion, en posant des questions et des interrogations qui pourront être ultérieurement vérifiées puis à dégager les possibilités d'appréhension et de suivi offertes par la géomatique.

Une analyse préliminaire des photos aériennes, des cartes et des images satellitaires permet déjà d'avoir une mine d'informations sur le milieu. Cela favorise une préparation minutieuse de la descente du terrain, car cette première approche oriente et clarifie davantage ce type de travail. En effet, ce contact virtuel mais essentiel avec le milieu permet de dégager et de poser beaucoup d'hypothèses à vérifier.

2.2. Présentation des données utilisées

La base de données est constituée essentiellement d'une image satellite SPOT, deux missions de photos aériennes, des cartes topographique, pédologique et climatique.

2.2.1. Image satellitaire et photo aérienne

Comme son nom l'indique, les images satellitaires sont obtenues à partir des satellites d'observation de la terre qui peuvent être géostationnaires ou des satellites de défilement passifs ou actifs (radars). L'image satellitaire utilisée provient du satellite français SPOT 4 (satellite probatoire d'observation de la terre avec quatre canaux) qui a été lancé pour la première fois en 1985 (SPOT 1). Tournant sur une orbite quasi polaire, SPOT, d'une altitude de 830 km fait 369 fois le tour de la terre en 26 jours et permet de cueillir des informations difficilement saisissables par l'homme. Il existe d'autres images satellites utilisables comme par exemple landsat.

Il s'agit de la télédétection, discipline scientifique et technique qui permet à partir de capteurs, de détecter ou d'acquérir des informations avec les signaux que la terre affiche sur les images satellitaires à analyser. Il existe des capteurs passifs (landsat et spot) qui utilisent l'énergie solaire et d'autres actifs c'est-à-dire autonomes, car ils utilisent leur propre énergie permettant de prendre des images le jour et la nuit, c'est le cas des radars. Les capteurs utilisent le spectre magnétique et émettent dans le visible, l'infrarouge et les hyperfréquences.

L'intérêt des satellites réside dans la possibilité d'obtention d'images récentes car leur orbite est répétitif; c'est-à-dire qu'ils repassent au dessous d'un même endroit à une fréquence régulière. La résolution de l'image est déterminée par la plus petite surface que le satellite peut détecter. Cette surface est exprimée sur l'image en pixels. Le pixel est un acronyme formé par les mots « picture element » et signifie la surface élémentaire d'une image numérique définie selon sa structure matricielle. Dans l'image étudiée, le pixel est de 10 mètres.

Les photos aériennes au 1/25 000 en noir et blanc ou en couleurs sont des prises de vues à partir d'avions qui ont véritablement révolutionné la cartographie. Même si beaucoup de détails n'apparaissent pas sur les photos aériennes, celles-ci offrent d'énormes informations sur l'occupation du sol. On parle ainsi de la photogrammétrie qui représente une technique permettant à partir d'un couple stéréoscopique, d'étudier et de définir avec précision les formes, les dimensions et les positions d'un phénomène quelconque puis l'établissement de cartes en courbes de niveau.

2.2.2. Cartes topographique, pédologique et climatique

La carte topographique, au 1/25000 a été produite par IGN (Institut Géographique National) de France. Avec les courbes de niveaux obtenues à partir des levés topographiques, la carte topographique offre des informations sur le relief et également sur la toponymie. Elle va jouer un rôle fondamental dans l'analyse des pentes du bassin versant.

La carte des isohyètes de l'île de Mayotte a été élaborée par M. Raunet à partir des données météorologiques tandis que la carte pédologique d'une échelle de 1/50 000 est

effectuée après l'étude des différentes couches du sous sol et sa partie superficielle par E. Latrille

La collecte de la totalité des données se traduit par l'élaboration d'un projet de travail dans le logiciel ArcView 3.2. Les données seront utilisées pour le traitement des informations et la production des cartes thématiques.

2.3. Utilisation des outils

Pour aborder l'étude de l'érosion à partir des SIG, ArcView, Idrisi et Papri constituent les outils et les logiciels qui ont été expérimentés. Le traitement des données par ces logiciels a permis de visualiser les facteurs de l'érosion. Il importe de noter qu'il existe une multitude de logiciels utilisés en géomatique.

2.3.1. Présentation des logiciels de travail

Grâce à l'avancée technologique, les logiciels de traitement des données, très nombreux connaissent en permanence des actualisations.

2.3.1.1. ArcView GIS 3.2

Produit par ESRI (environment systems research institute), Arc View connaît aujourd'hui plusieurs versions. La version utilisée dans le cadre du présent travail est ArcView 3.2 qui, malgré son ancienneté, présente une certaine simplicité par rapport aux versions actuelles. Arc View est un SIG devenu le logiciel de cartographie de référence très puissant et permettant de visualiser, d'explorer, d'interroger et d'analyser des données géographiques.

2.3.1.2. Idrisi et Papri

Logiciel très complet de traitement d'images, Idrisi, du nom du géographe arabe Al Idrisi est un SIG en mode image lancé en 1987 par le laboratoire du département de géographie de Clark University aux USA et amélioré en permanence. Il constitue un mode d'accès peu coûteux aux technologies d'analyse géographique assistées par ordinateur. Il ne s'agit pas d'un programme unique, mais d'un ensemble d'environ 100 fonctions reliées sous une structure commune. Ces fonctions se répartissent en trois grands ensembles que sont le module central, les modules d'analyse et le module périphérique. Le module central fournit les utilitaires de base notamment l'entrée, le stockage, la gestion, l'affichage et l'analyse des images raster. Les modèles d'analyse

contiennent des outils d'analyse en mode image et en statistique pour le traitement et l'analyse spatiale.

A Lausanne en Suisse, il existe un centre régional d'Idrisi Francophone (CRIF) qui assure la traduction des manuels d'Idrisi en français. Papri est un logiciel de traitement d'image qui a été mis en place par un « Ciradien ». Ce logiciel travaille dans l'espace géographique.

2.3.2 Manipulations et traitement des données

Dans cette phase fondamentale de l'étude, le géoréférencement, le modèle numérique de terrain (MNT) et l'élaboration de cartes d'occupation du sol jouent un rôle essentiel.

2.3.2.1. Elaboration du projet

Certaines données fournies ont été par la suite scannées puis géoréférencées sur ordinateur. A travers un exercice pratique, on a essayé de comprendre comment le scannage des données a été effectué. Ce scannage nécessite au préalable une lecture minutieuse de la carte pour mieux localiser la partie à scanner c'est-à-dire la zone d'étude. Cela permet de situer les points correspondant aux coordonnées pour le cadrage entier de la zone. Ensuite, il faut positionner cette partie sur le scanneur, choisir un logiciel photo et effectuer le scannage en choisissant une résolution compatible avec l'échelle de travail (par exemple de 300 ppp à 150 points par pouces).

Après avoir été scanné, la carte doit être géoréférencée. Il s'agit de cadrer la zone en recueillant les coordonnées X et Y et leur correspondance en projection locale (système Combani) ou projection UTM (universal translate mercator). Ces coordonnées enregistrées et sauvegardés à partir d' ArcView reflètent la réalité géographique. Il s'agit de ces données que nous cherchons à analyser, traiter et interpréter à partir des logiciels tels qu' ArcView 3.2, IDRISI KILIMANJARO et PAPRI.

L'objectif recherché dans cette étude, est d'appréhender et de cartographier les facteurs, les phénomènes et l'impact de l'érosion dans cette zone. En effet, ces logiciels permettent de mieux observer visualiser les cartes, les images et photos avec la possibilité de faire des zooms permettant de visualiser plus clairement les objets. A titre d'illustration, les manipulations sous Idrisi permettant d'effectuer ce géoréférencement peuvent être retrouvées en annexe.

Pour mener cette étude, un projet a été élaboré dans ArcView c'est-à-dire le regroupement de toutes ces données sur un projet ou la mise en place d'une base de données afin de pouvoir effectuer toutes les manipulations nécessaires.

2.3.2.2. Analyse en composantes principales (ACP)

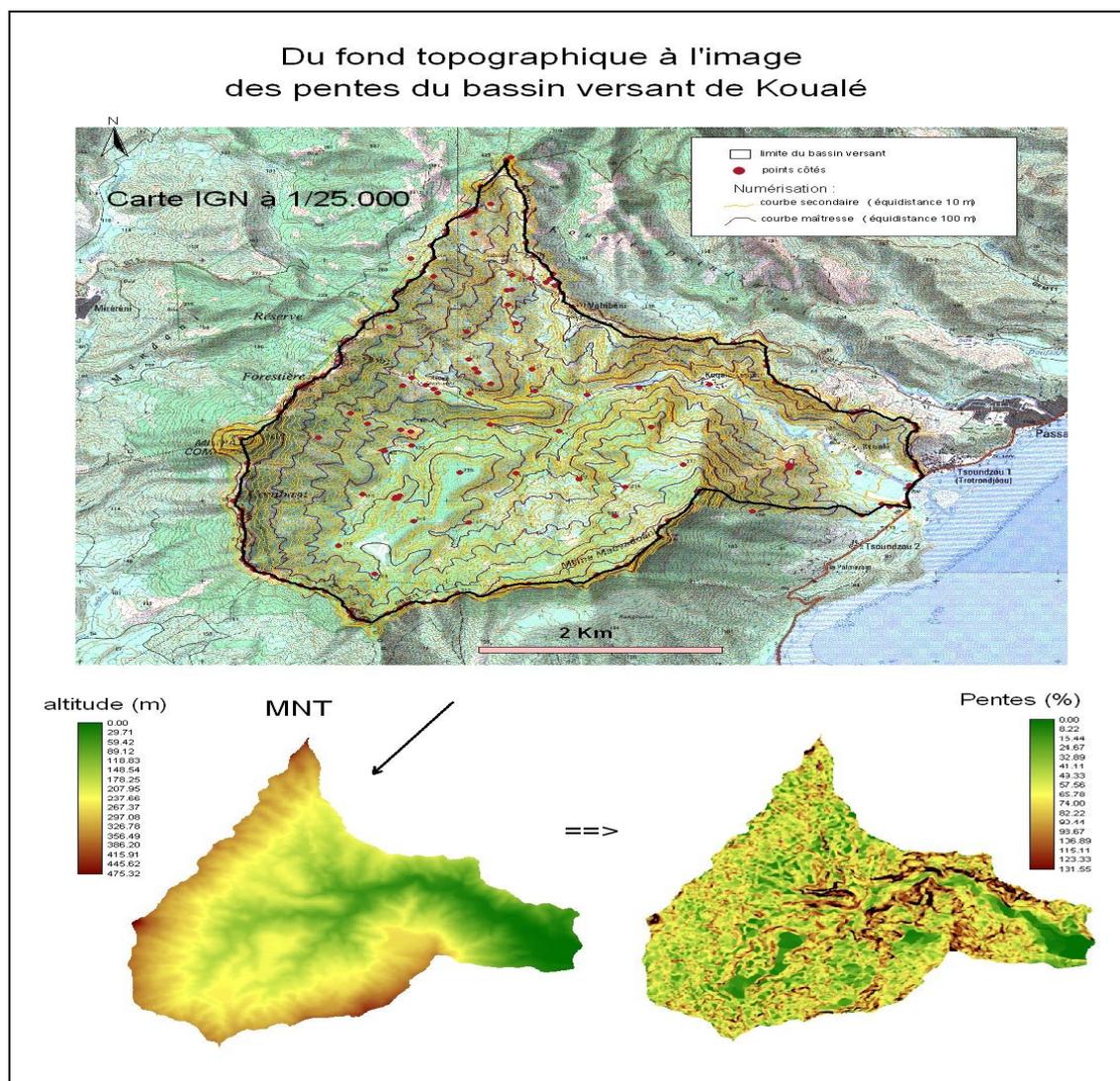
Cette manipulation appliquée aux canaux bruts de Spot permet d'effectuer un changement de variable c'est-à-dire la transformation en nouveaux canaux dits composantes principales, avec des données qui favorisent la mise en évidence de l'indice de végétation et qui sont décolorés entre eux. Pour ce travail, trois nouveaux canaux ont été obtenus pour visualiser l'ensemble de l'information. En général, la première composante correspond à une image « panchromatique » et la seconde s'apparente à un indice de végétation.

2.3.2.3. Délimitation de la zone d'étude

Pour mieux illustrer ce thème, un choix d'une zone d'étude s'impose car il est difficile de mener cette étude dans la totalité de l'île. Ainsi le travail a débuté avec la délimitation de la zone d'étude d'une superficie de 15,28 km² à partir de la carte topographique (my_0102.tif et my_0202.tif). Le choix de la zone d'étude porte sur un bassin versant qui constitue une unité géographique capable de faire ressortir tous les facteurs explicatifs de l'érosion.

A partir d'une lecture attentive de la carte et des courbes de niveau, il a été possible de déterminer les contours de ce bassin versant et de circonscrire ainsi la zone de travail. Des sous bassins versants ont été également déterminés en fonction des sites de mesures des débits d'eau dans le cours d'eau principal. La superficie qui est de 15,28 km² et le périmètre des bassins versants peuvent être calculés directement par ArcView.

Carte 1: Fond topographique à la carte des pentes.



2.3.2.4. Modèle numérique de terrain (MNT)

La carte topographique va permettre également de bâtir le Modèle Numérique de Terrain (MNT). Ce travail nécessite au préalable une numérisation (digitalisation) c'est à dire le dessin ou le passage avec le curseur à partir d'ArcView sur toutes les courbes de niveau du bassin versant en dépassant volontairement ces limites. Cette tâche s'effectue en renseignant au fur et mesure la base attributaire. Aussi, tous les points cotés du bassin versant sont identifiés et localisés. Les résultats de ce travail sont ensuite importés dans IDRISI KILIMANJARO pour un retraitement. Ce transfert de données

s'explique par le fait que les différents logiciels n'ont pas les mêmes fonctions ou ne sont pas toujours pratiques et se complètent. En effet les fichiers lignes seront transformés en points. Ceci exige de nombreuses manipulations avec IDRISI. On transforme les courbes de niveaux en points puis on récupère et effectue des liens entre les bases attributaires. Le transfert donne naissance à un fichier intermédiaire nommé « attribute value file » dont l'identifiant de chaque point doit être en altitude. Ceci nécessite quelques opérations pour récupérer ce fichier qui est dans la base attributaire sous Access.

A partir de ces points, IDRISI KILIMANJARO va effectuer l'interpolation des données c'est-à-dire le changement des fichiers vecteurs (points) en raster (image). Il existe plusieurs méthodes d'interpolation mais dans ce travail, celle qui a été utilisée est la TIN (triangulated irregular network). Il s'agit de relier trois points dont le triangle construit un plan, l'altitude de chaque point est celle de la position du pixel dans le plan.

Cependant, le MNT ainsi réalisé n'épouse pas les contours du bassin versant étudié. Cela s'explique par le dépassement volontaire des limites du bassin versant lors de la numérisation pour éviter les effets de bordure. La correction passe également par un ensemble de manipulations assez complexes, en utilisant le masque du bassin versant. Une fois élaboré, le MNT offre plusieurs possibilités dont la plus importante reste la détermination des pentes qui représentent un facteur déterminant d'érosion hydrique. On dispose ainsi d'une carte des pentes (voir carte 1) utilisable dans le modèle de l'érosion (superposition des différentes couches ou cartes). Il existe d'autres manipulations permettant d'effectuer par exemple des histogrammes dont l'objectif est d'analyser et de comparer les risques d'érosion de l'ensemble du bassin versant.

2.3.2.5. Carte d'occupation du sol

La cartographie de l'occupation du sol peut s'effectuer par la photo aérienne ou par l'image satellitaire. La photo aérienne ne concerne que le spectre du visible mais offre une meilleure définition c'est-à-dire la particularité de rendre plus lisible les éléments détectés. Par contre l'image satellitaire au spectre plus large, allant de l'infrarouge aux hyper fréquences, a une faible définition par rapport à la photo aérienne mais elle donne plus de détails sur les objets du milieu mais les informations détectées sont nombreuses, complexes et très difficiles à lire.

A partir de la photo aérienne et de l'image satellite, des polygones ont été identifiés en fonction de l'homogénéité des objets. Le dessin des polygones s'effectue en même temps que la nomination ou le renseignement de la base attributaire (caractéristiques des objets) qui a été conçue à ce sujet. ArcView offre la possibilité de calculer la superficie du bassin versant et des polygones. L'utilisation des différentes données (image satellite et photo) pour élaborer des cartes a pour objectif d'effectuer des comparaisons et des complémentarités. Pour la présente étude, la cartographie de l'occupation du sol a été réalisée à partir des photos aériennes. La deuxième composante de l'ACP analogue à un indice de végétation sera utilisée comme donnée sur l'occupation du sol.

Conclusion partielle

La manipulation des données spatiales du bassin versant de Koualé dans l'île de Moyotte a permis de visualiser les risques d'érosion à partir de la synthèses des cartes de rugosité, des pentes, de la susceptibilité des sols à l'érosion et du modèles des pluies. Cette carte permet de faciliter la prise de décision pour des aménagements antiérosifs et agricoles.

Troisième partie : Analyse de l'érosion du bassin versant de Koualé

Cette dernière partie permettra à partir des résultats du travail de traitement des données et des connaissances théoriques sur la thématique, d'analyser les facteurs et les conséquences de l'érosion puis de proposer des recommandations et dégager des perspectives. La discussion sur les résultats de traitements des données permet de mesurer l'ampleur du problème de l'érosion hydrique et de trouver les solutions idoines.

3.1. Impacts des facteurs de l'érosion

Dans le bulletin numéro 22 du réseau érosion de la francophonie de 2004, il est montré qu'en 1990 sur les 16% de terres exploitables dégradées du monde, 55% étaient liées à l'érosion hydrique contre 28% pour l'érosion éolienne. Ces statistiques évoquent déjà l'ampleur que peut avoir l'érosion hydrique dans ce bassin versant de Mayotte. L'érosion hydrique peut s'expliquer par une combinaison de facteurs dont l'intensité n'est pas identique. Il s'agit entre autres de la pente, de la pédologie, des précipitations, de la rugosité ou de l'occupation du sol de façon générale. Ainsi, l'érosion dépend de la violence des pluies et de la susceptibilité des sols à la battance puis à la vitesse d'écoulement de l'eau ruisselante liée aussi à la pente.

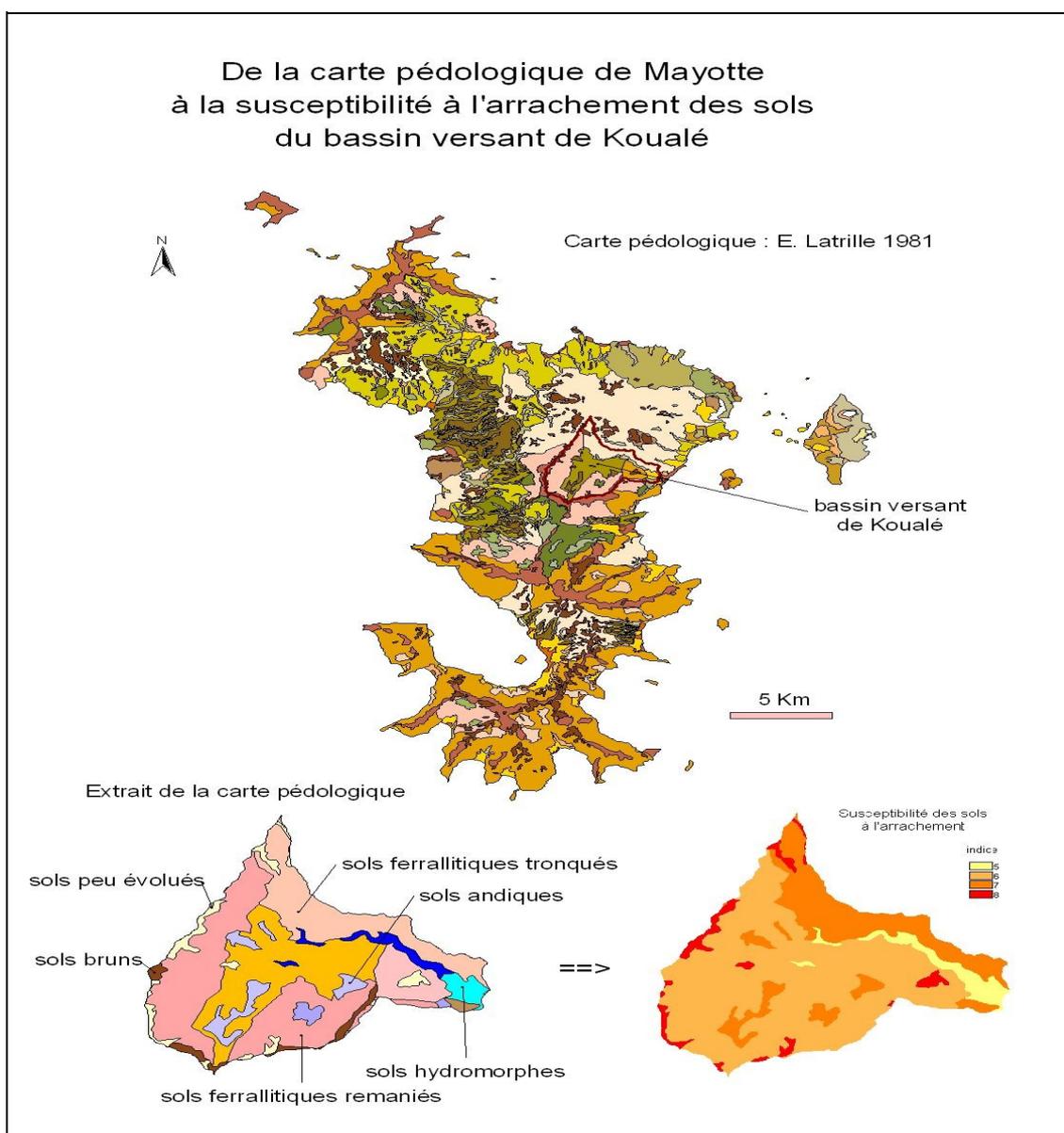
3.1.1. Impact de la pente

Le résultat du modèle numérique de terrain (MNT) montre que le bassin versant se caractérise par de fortes pentes allant de 0° c'est-à-dire le fond de la vallée de Koualé jusqu' à 131° représentant les pics des versants. Ces fortes pentes entraînent forcément une intensité du ruissellement de l'eau surtout dans une île équatoriale marquée par des pluies abondantes. Les pentes d'une orientation sud-ouest, nord-est entraînent des pertes en terres, surtout si les conditions pédologiques et d'occupation du sol sont favorables à une mobilisation facile de la terre.

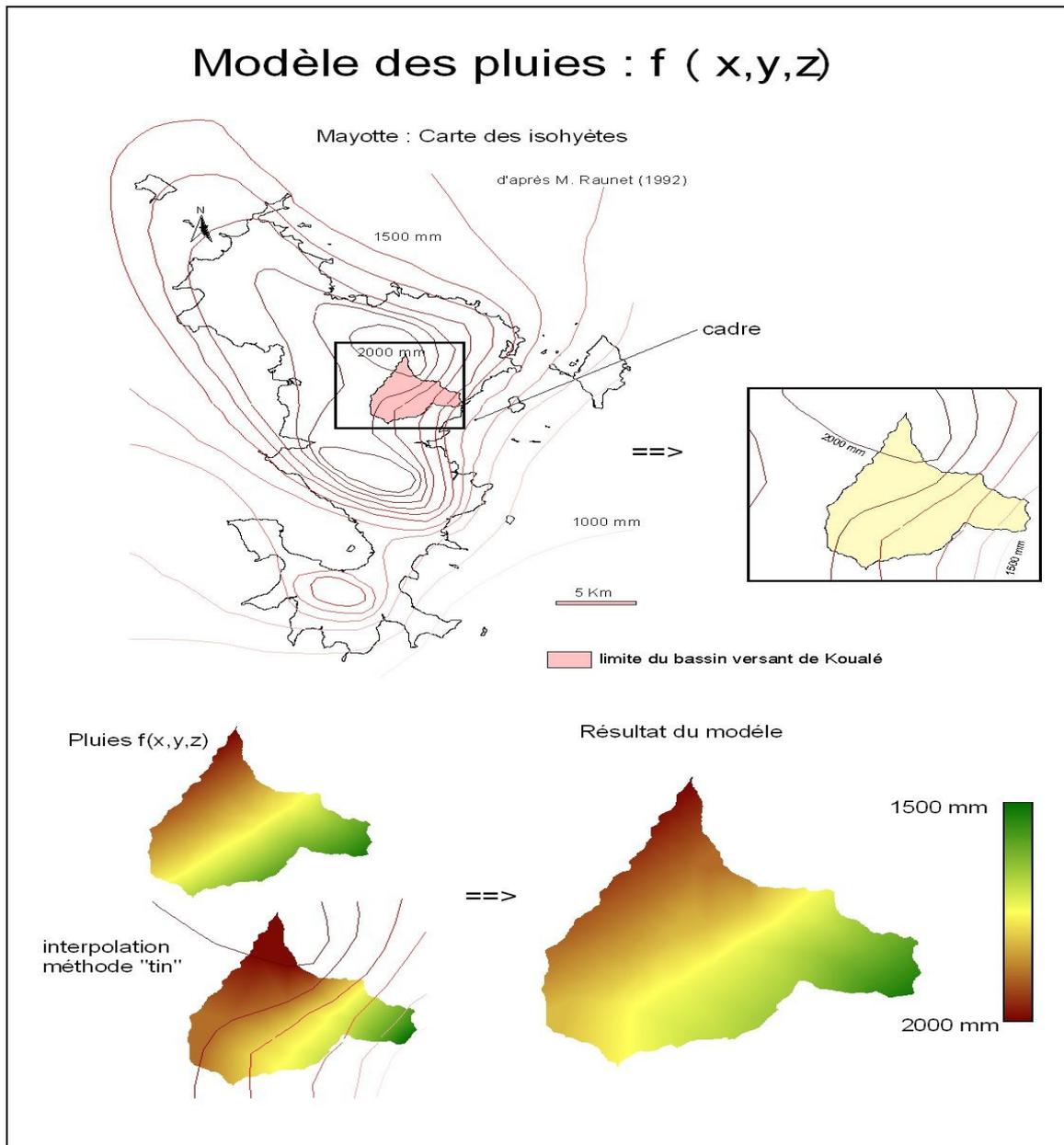
Ce résultat du MNT montre que le bassin versant est un peu accidenté avec des altitudes supérieures à 300 m à l'ouest et au sud puis descendant jusqu'à 0 mètre au fond de la vallée. Les pentes également sont assez fortes, les plus élevées éparpillées un peu partout dépassent 100°/°. L'importance de ces pentes représente un facteur favorable à l'érosion.

3.1.2. Rôle de la nature des sols

A partir de la carte des sols (voir carte 2) de Mayotte, a été extraite celle du bassin versant de Koualé. Ainsi, on est parvenu avec Idrisi à coder, après des observations de terrain, les sols ou plutôt leur sensibilité à être arrachés, en fonction du modèle d'érosion proposé pour Mayotte. Plus les valeurs sont élevées, plus le matériau est susceptible d'être érodé. L'île de Mayotte, et le bassin versant de Koualé de façon particulière sont constitués essentiellement de sols ferrallitiques très susceptibles à l'arrachement, donc sensibles à l'érosion. Ensuite, il y a les sols peu évolués localisés sur les padzas nus et plus susceptibles à l'arrachement.



Carte 2: Susceptibilité des sols.

Carte 3: Modèle des pluies.

3.1.3. Incidence des précipitations

La pluie est un élément influant beaucoup sur l'érosion des sols. Elle mobilise les particules élémentaires quand ces dernières ont atteint leur capacité de saturation par rapport à l'infiltration de l'eau et quand l'intensité est très forte. La zone d'étude localisée en climat équatorial, reste sensible à l'érosion hydrique, surtout si les autres conditions de l'érosion notamment la faible couverture végétale et la nature des sols sont réunies.

Pour mieux appréhender le rôle des pluies dans l'érosion du bassin versant, nous avons effectué un modèle qui met en relation les précipitations, les coordonnées géographiques x et y (longitude et latitude) et l'altitude (z). Ce modèle a été rendu possible grâce à la disponibilité dans notre projet de la carte des isohyètes de l'île de Mayotte de M. Raunet. Dans cette carte 3, la partie qui intéresse le bassin versant de Koualé a été extraite. Ce fichier vecteur a été importé par Idrisi puis transformé en points. C'est sur Idrisi que ce sont effectuées l'essentiel des manipulations afin de modifier le fichier en mode matriciel. Ensuite, il a été superposé avec un autre fichier altitude dérivé du MNT afin d'extraire les altitudes des points « pluies ». On obtient un fichier x et y , pluies et altitude puis on calcule la régression multiple pluies $f(x, y, \text{altitude})$. La formule obtenue est ensuite utilisée sous winstat afin de déterminer la pluie de chaque pixel. L'usage du logiciel Excel a été indispensable pour la réalisation du modèle. Finalement, le résultat obtenu sous la forme x, y, p est importé dans Idrisi et transformé en matriciel. Après l'interpolation des données pluies à l'aide de la méthode d'Idrisi, on obtient un modèle sous forme de carte qui met en relation la pluie, l'altitude (z) et les coordonnées géographiques notamment la longitude (x) et la latitude (y). L'ensemble de ces manipulations figurent en annexe.

Les résultats de ce modèle montrent l'existence d'une étroite relation entre l'altitude, la latitude et la pluviométrie. Les pluies les plus fortes qui atteignent 2000 mm sont enregistrées dans les zones de hautes altitudes. La susceptibilité des sols à l'érosion hydrique est importante aux sommets des crêtes où la pluviométrie est plus importante.

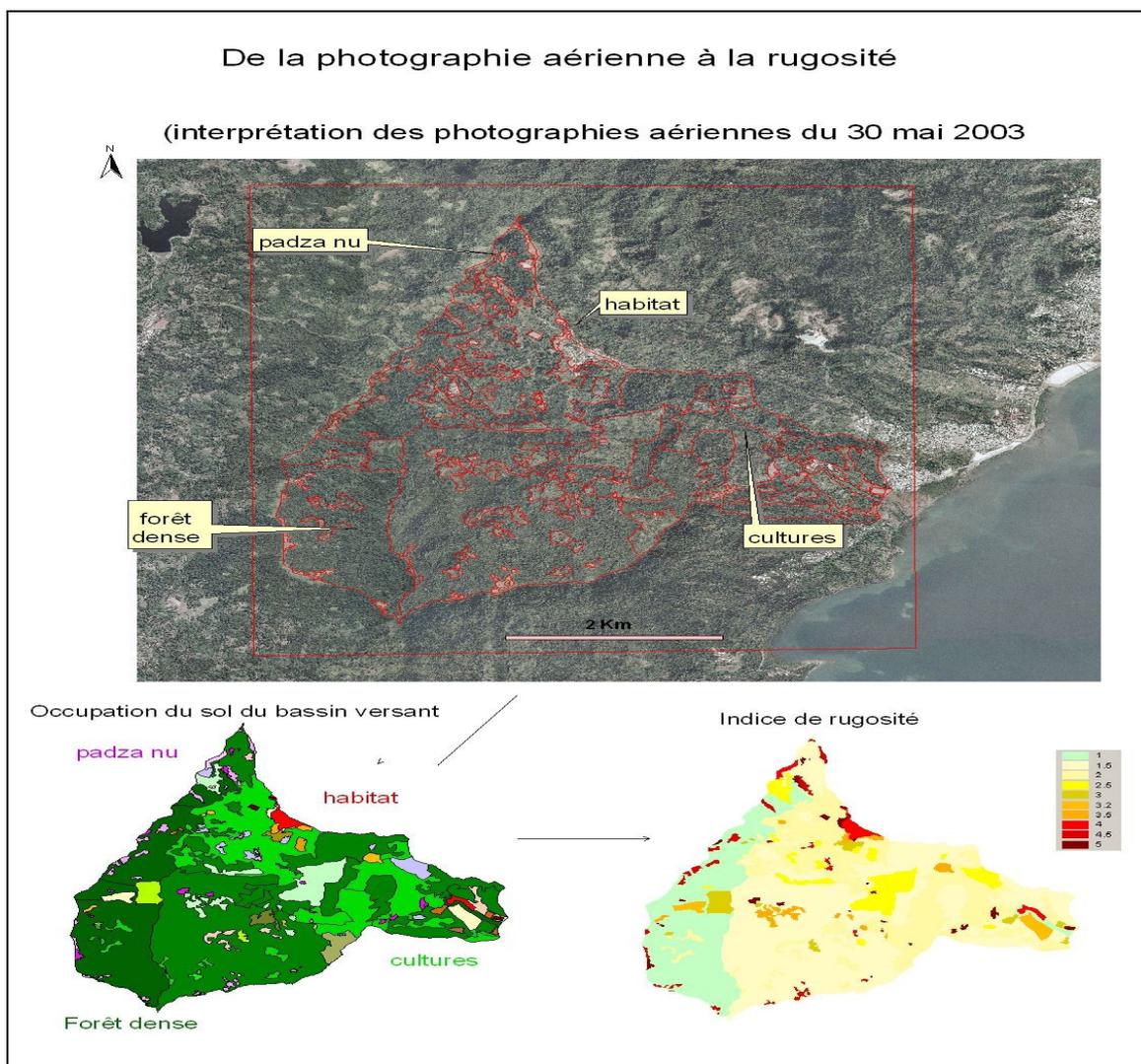
3.1.4. Place de la rugosité du sol

L'occupation du sol est aussi déterminante dans l'expression de l'érosion. Il s'agit de la couverture du sol qui peut selon les cas minimiser ou accentuer l'érosion. L'étude de la rugosité, c'est-à-dire globalement le sol et la végétation est faite à partir de la photo aérienne en mode couleur qui a permis avec ArcView d'étudier ce thème en traçant des polygones renseignés au fur et à mesure par une base attributaire en fonction des types d'occupation. A partir de cette base attributaire, on a effectué un codage de un à cinq. Le fichier vecteur obtenu a été importé par Idrisi pour être transformé en fichier image. Pour cela, il faut au préalable et à partir de la base de données faire un lien afin qu'Idrisi parvienne à le lire.

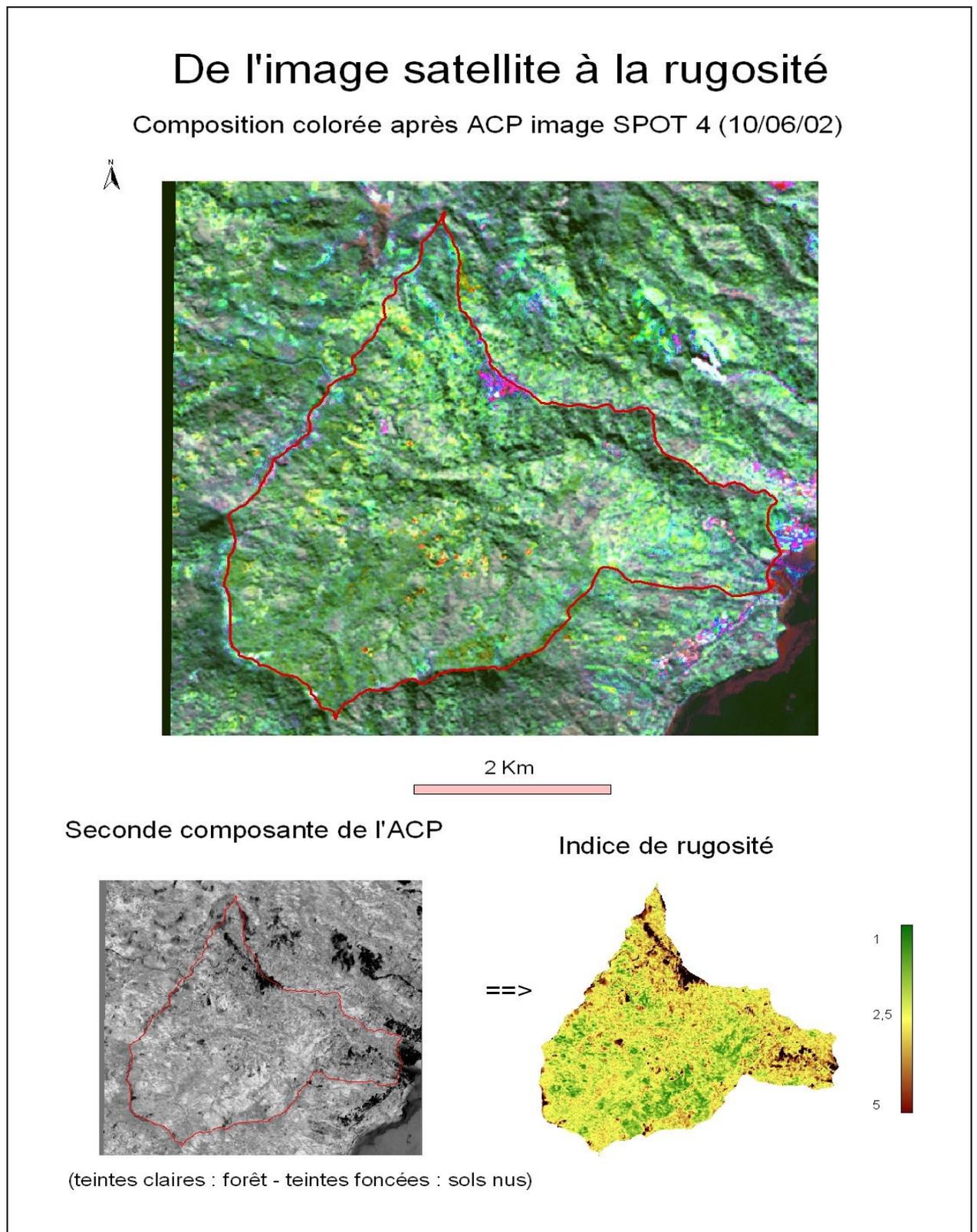
Le résultat (voir carte 4) de cette analyse montre qu'il existe des zones où l'indice de rugosité est élevé. Plus la couverture végétale est faible plus l'indice est élevé. Il s'agit des espaces habités, des padzas nus où l'érosion sera plus manifeste.

Une démarche identique a été utilisée avec l'image satellite (voir carte 5). Cependant, on constate que les résultats ne sont pas entièrement identiques. Cela s'explique par les spécificités entre les deux données évoquées tantôt. Néanmoins, elles font apparaître des ressemblances notamment le fort indice de rugosité des espaces habités et des zones nues. Le résultat de ce travail d'analyse et de cartographie montre que le bassin versant de Koualé présente d'énormes risques d'érosion. A travers les deux démarches, il ressort que ces risques apparaissent le plus dans la carte issue de l'image satellite même si celle-ci a été prise une année plus tard. Les deux démarches et résultats présentent en tout cas des signes d'alerte pour une prise en charge du problème de l'érosion.

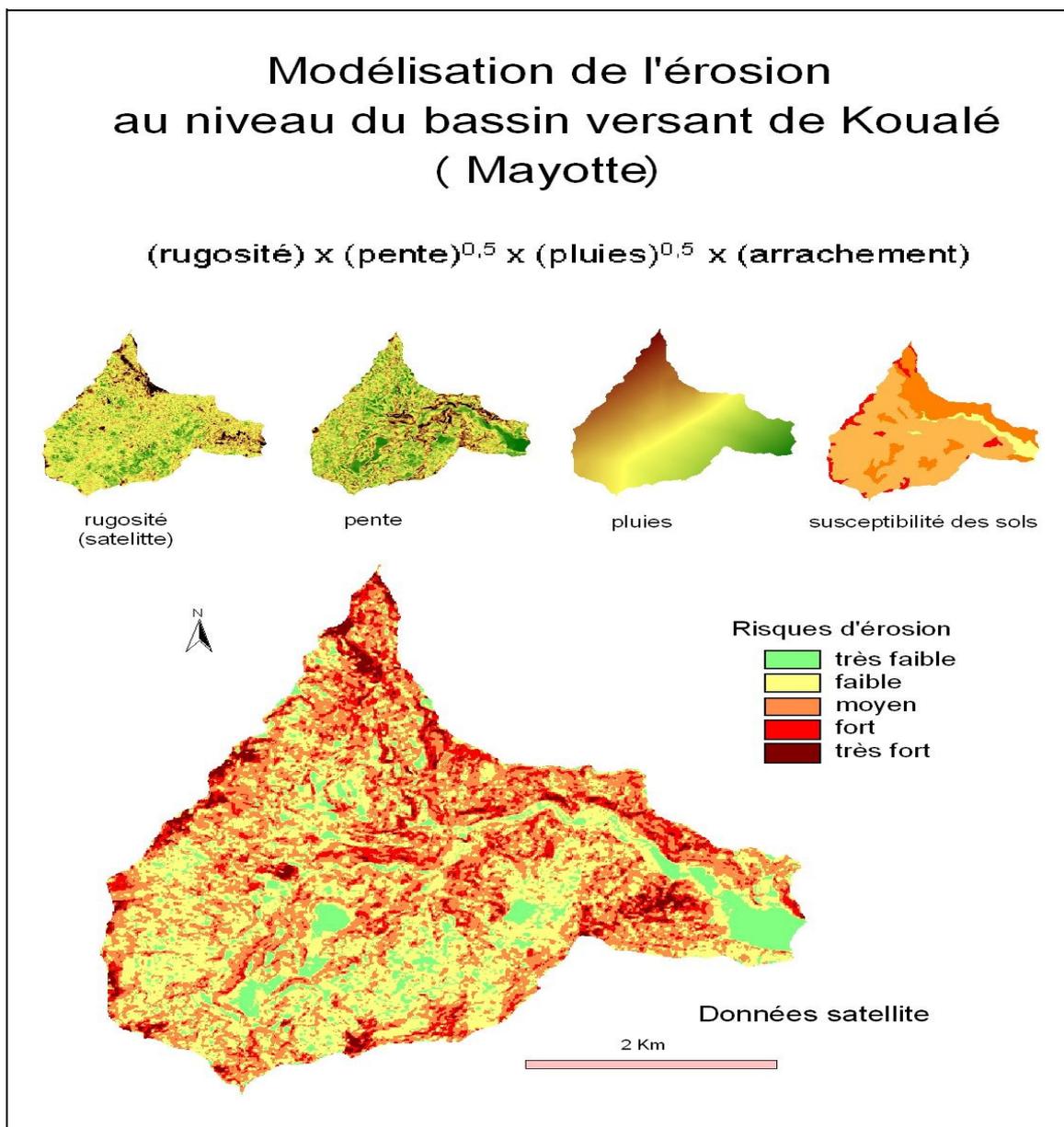
Carte 4: Indice de rugosité à partir de la photo aérienne.



Carte 5: Indice de rugosité à partir de l'image satellitaire.



Carte 6: Modélisation de l'érosion.



3.2. Effets de l'érosion hydrique et recommandations

Dans cette partie il est question de cerner les conséquences que l'érosion peut engendrer dans l'île de Mayotte, de formuler des recommandations qui peuvent atténuer ces problèmes. Pour mieux apprécier les conséquences de l'érosion dans cette île, il serait plus intéressant de faire des analyses et des observations de terrain et aussi une étude diachronique entre deux époques pour mieux appréhender l'évolution du milieu. Mais les trois mois de stage ne permettent pas d'aller en profondeur dans l'étude. Cependant, les facteurs de l'érosion déjà analysés au préalable peuvent présager une érosion manifeste aux conséquences désastreuses pour l'environnement.

3.2.1. Conséquences en aval

Parmi les conséquences de l'érosion on note l'envasement du lagon dont certaines études sur l'érosion dans l'île ont fait allusion. Et cet envasement peut engendrer une perturbation écologique du lagon. Aussi l'érosion hydrique entraîne d'énormes pertes en terres surtout dans les sols nus. L'eau emporte durant le ruissellement les particules les plus fines notamment les argiles et les limons associés à ces particules de même que toutes les matières organiques.

3.2.2 Conséquences en amont

L'érosion hydrique entraîne aussi le ravinement et la disparition de la végétation liée à l'ouverture des racines des plantes. L'analyse de la photo aérienne en mode couleur et de l'image satellite montre que le bassin versant se caractérise par la fréquence des padzas qui sont généralement des zones nues aux sols incultes à l'agriculture. L'origine ou l'extension des padzas peut s'expliquer par l'importance de l'érosion. Aussi, le développement des défrichements et l'extension urbaine perceptible sur la photo dans la ville de Koualé vont toujours accentuer le développement des zones nues et cela va porter atteinte non seulement à l'environnement mais aussi aux activités agricoles qui provoqueront une réduction de leurs rendements. Les risques d'érosion sont par conséquent très élevés et méritent une attention particulière pour ne pas compromettre le développement durable de l'île de Mayotte. Il importe de signaler que les résultats de cette analyse doivent être complétés par des observations rigoureuses sur le terrain.

3.2.3. Recommandations

L'étude de l'érosion du bassin versant de Koualé dans l'île de Mayotte avec des outils de la géomatique montre qu'il est impérieux de mettre en place une politique cohérente d'aménagement du territoire qui doit impliquer l'ensemble des acteurs de l'île. Cette politique doit viser d'abord une sensibilisation des acteurs sur la dégradation de l'environnement liée entre autres à l'érosion et sur la nécessité de se regrouper ensemble afin de définir un schéma d'actions. Ce schéma doit concilier les intérêts économiques de toutes les couches de la population et la protection du milieu naturel. Parmi les stratégies utilisées pour lutter contre l'érosion figurent entre autres les haies vives, les parcs arborés, les bandes enherbées, les jachères courtes, des légumineuses en cultures arborée, le travail limité du sol.

De façon générale, les paysans qui constituent les principaux acteurs n'ignorent pas ces techniques. C'est la raison pour laquelle il est indispensable de favoriser une étroite collaboration entre les techniciens et les paysans pour pouvoir obtenir leur adhésion franche et riche.

Aussi, cette technique ayant permis de mieux appréhender les problèmes liés à l'érosion d'une façon exhaustive, les administrations chargées de l'environnement doivent l'utiliser pour suivre l'évolution du milieu et élaborer des actions respectueuses de l'environnement.

Conclusion partielle

Il ressort de la discussion des résultats du traitement des données spatiales que l'érosion hydrique des sols du bassin versant de Koualé se pose avec une grande acuité et mérite une attention particulière. Les conséquences, essentiellement la dégradation des sols et la sédimentation compromettent non seulement le développement agricole mais également la promotion du tourisme. L'envasement du lagon, véritable site touristique qui draine beaucoup de visiteurs menace fortement ce secteur.

Quatrième partie : Perspectives pour le projet des bassins de rétention du Sénégal (exemple du sud est du Sénégal).

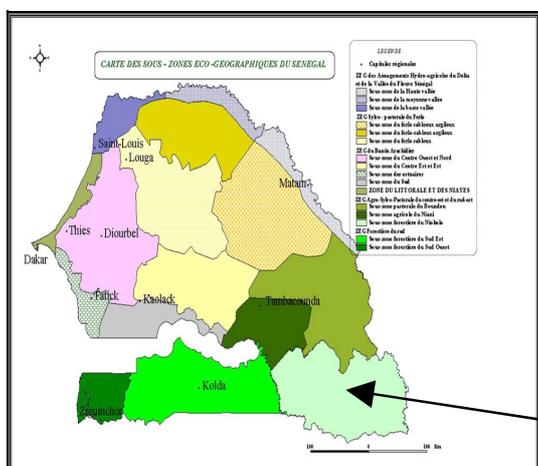
Cette dernière partie qui étudie les perspectives d'une étude géomatique appliquée aux bassins de rétention au Sénégal et plus particulièrement ceux du sud-est du pays, repose d'abord sur une présentation générale du Sénégal, décrit la situation des facteurs de l'érosion, puis dégage la pertinence d'une telle étude dans un contexte de relance de l'agriculture grâce au projet des bassins de rétention.

4.1. Présentation générale du pays

Pays sahélien peu accidenté, le Sénégal, finistère de l'Afrique Occidentale, avec une superficie de 196722 km² se situe sur la cote atlantique à environ 12° et 17° de latitude Nord et 11° et 18° de longitude Ouest. Il est limité au nord par la Mauritanie, à l'est par le Mali, à l'ouest par l'océan atlantique et au sud par les deux Guinée. La Gambie représente une enclave à l'intérieur du pays (voir carte).



Carte 7: Localisation géographique du Sénégal.



Carte 8: Zones éco géographiques du Sénégal.

Le Sénégal est l'un des rares pays au monde malgré sa petitesse à avoir des écosystèmes aussi variés et impressionnants avec six zones éco géographiques notamment les Niayes, le Ferlo, la Vallée du fleuve Sénégal, le Bassin arachidier, la Casamance et le Sénégal oriental.

(Zone d'étude).

Selon les données du rapport du PNUD sur le développement humain de l'année 2005 le Sénégal est un pays essentiellement agricole avec environ 70% de la population active dans un secteur primaire qui représente 16,8% du PIB en 2005. Avec une population estimée à 10,4 millions d'habitants en 2005, le Sénégal connaît une prévalence élevée de la pauvreté qui sévit le plus dans les zones rurales représentant 51,1% de cette population. Malgré un taux de croissance du PIB de 5,3% en 2005 (rapport du PNUD), le Sénégal avec un indice de développement humain (IDH) de 0,437, est confronté à un problème d'autosuffisance alimentaire, un exode rural massif et une baisse des revenus paysans. Cette question de sécurité alimentaire s'explique par les aléas climatiques et la dégradation des sols qui est liée en partie à l'érosion hydrique. La lutte contre ce fléau est présente dans le code de l'environnement qui stipule dans son chapitre III, articles 81 et 82 que:

"la protection des sols, du sous sol et des richesses qu'ils contiennent, en tant que ressources, renouvelables ou non, contre toutes formes de dégradation est assurée par l'Etat et les collectivités locales (...), les conditions particulières de protection destinées à préserver les éléments constitutifs de la diversité biologique, à lutter contre la désertification, l'érosion, les pertes des terres arables et la pollution du sol et de ses ressources par des produits chimiques, les pesticides et engrais"⁹.

Malgré la prise en charge législative, ces problèmes environnementaux toujours présents entraînent une diminution des rendements agricoles et une accentuation de la pauvreté en milieu rural contraint ainsi de grossir la population des villes.

C'est ainsi que pour le FEM, "Résolu à s'attaquer aux problèmes de la dégradation des sols, qui est une menace pour notre sécurité écologique et alimentaire, près de 40% des africains vivent au-dessous du seuil de pauvreté. Environ 70% d'entre eux sont en zone rurale et dépendent de l'agriculture. Mais les ressources de base leur permettant de subsister sont, menacées par la dégradation des sols, qui affecte 65% des terres agricoles, et par le déboisement qui, en 15 ans a décimé 66 millions d'hectares"¹⁰

La situation assez alarmante justifie l'importance de l'étude de l'érosion hydrique des sols, une des causes de cette situation inquiétante surtout au sud-est du pays. La

⁹ Code de l'environnement du Sénégal, 2001

¹⁰ FEM, Quelle planète? Le problème de la dégradation des sols, 2003

compréhension de l'érosion hydrique peut favoriser des actions efficaces de lutte contre ce fléau et par la suite la restauration de la qualité des sols puis l'atteinte de l'autosuffisance alimentaire et la fixation des populations dans leurs terroirs.

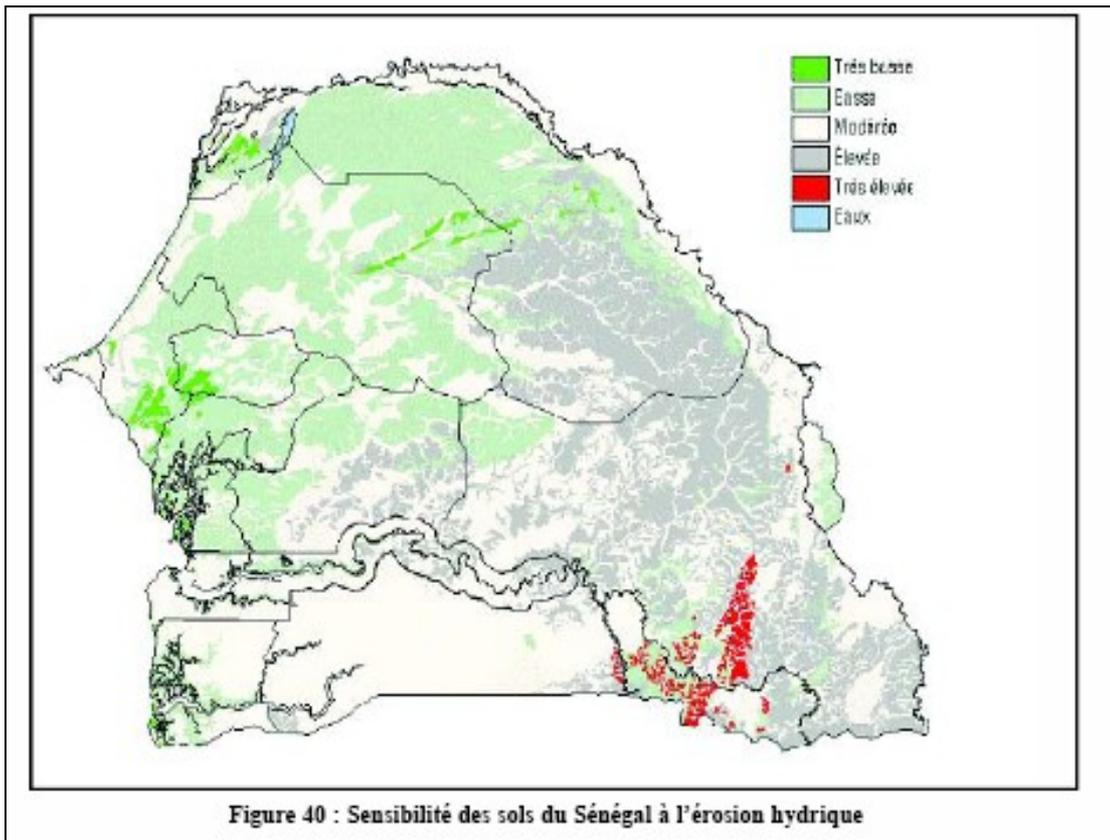
4.2. Analyse des principaux facteurs de l'érosion hydrique au Sénégal

La carte de la sensibilité des sols à l'érosion hydrique (carte 9) et la photo suivantes montrent que ce problème environnemental, un des facteurs essentiels de dégradation des terres est très remarquable au Sénégal surtout dans sa partie orientale où elle est très élevée. Selon Sadio en 1985, cité dans le Rapport sur l'Etat de l'Environnement au Sénégal, l'érosion hydrique concerne 77% des terres dégradées du pays. En effet, « le décapage des sols entraîné par les fortes précipitations est observé au Sénégal Oriental, dans le sud du bassin arachidier, et en Casamance. Sous l'effet des gouttes de pluies et des eaux de ruissellement, l'horizon superficiel des sols disparaît tandis que se forment des rigoles qui s'élargissent et donnent naissances à des « bad lands » impropres à l'agriculture ¹¹ » (rapport national du Sénégal sur la mise en place du CCD 2004). La carte et la photo des effets de l'érosion permettent déjà de situer l'acuité du problème de l'érosion hydrique et de pouvoir mener une étude plus localisée et détaillée pour cerner et suivre ce fléau paralysant l'essor de l'agriculture.

Les agents de l'érosion hydrique déjà évoqués dans la première partie s'articulent autour le climat (pluviométrie), la topographie, la rugosité ou l'occupation du sol, la nature du sol et les facteurs socio-économiques à l'origine de la disparition du couvert végétal. Par conséquent, pour mener une étude géomatique de l'érosion les besoins intéressent des informations concernant l'ensemble de ces questions à savoir la pluviométrie, la topographie, la pédologie, la population et les activités sans oublier les photos aériennes et les images satellitaires.

Carte 9: Sensibilité des sols du Sénégal à l'érosion hydrique.

¹¹ Rapport sur l'état de l'environnement au Sénégal, MEPN, CSE, édition 2005



Source : Centre de Suivi Ecologique (CSE) 2006



Photo 1: Effets de l'érosion hydrique au Sénégal 2006.

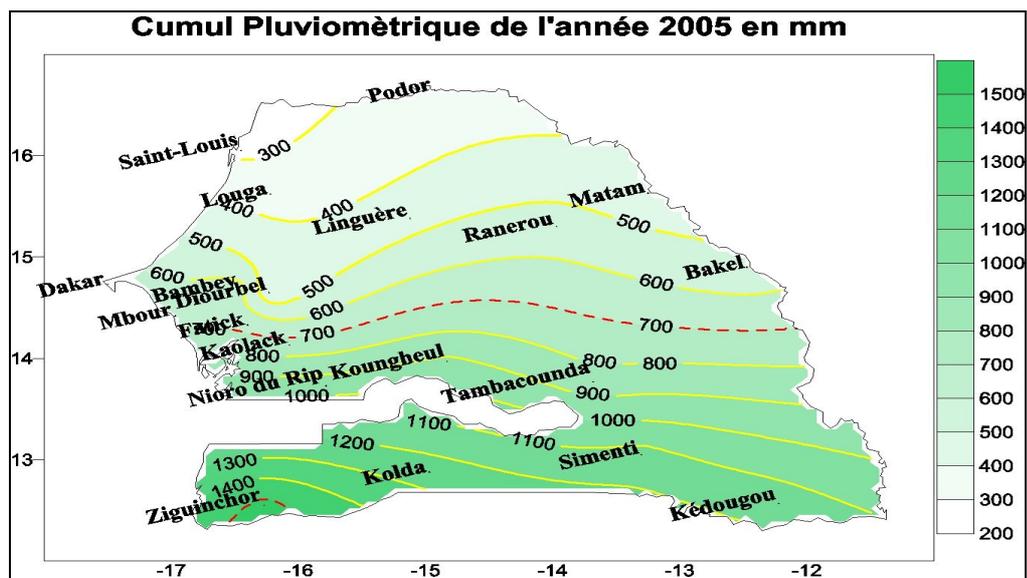
4.2.1. Pluviométrie

Le facteur de « l'érosivité » des pluies est d'autant plus nocif qu'elles sont violentes. Les pluies fines même de longue durée sont peu érosives. L'action des pluies est généralement traduite en énergie exprimée en joules/m²/s.

Comme il a été mentionné tantôt, le Sénégal est un pays essentiellement sahélien où la pluviométrie relativement faible varie généralement entre 300 et 1200 mm et se caractérise par une irrégularité structurelle. Au sud-est, les pluies atteignent 1100 mm. Les précipitations qui tombent de mai-juin diminuent du Sud vers le Nord et s'expliquent par la pénétration de la mousson en provenance de l'anticyclone de Sainte Hélène.

L'action de ce facteur fondamental sur l'érosion des sols dépend alors de la répartition dans le temps et dans l'espace, de son intensité. En effet des averses très érosives interviennent de façon erratique d'autant plus grave que les techniques culturales fragilisent les sols en les mettant dans un état de moindre résistance face à l'action de l'eau. Le maximum des pluies est enregistré les mois d'août-septembre, ce qui fait que le phénomène d'érosion sera plus accentué durant cette période. Par contre, la région Sud et Sud-Est plus arrosée connaît une plus grande manifestation de l'érosion. A travers la carte des isohyètes (carte 10) du Sénégal, il sera possible d'effectuer un modèle de précipitation avec les SIG afin de mieux apprécier et visualiser l'impact de la pluie dans l'érosion des sols.

Carte 10: Pluviométrie au Sénégal.

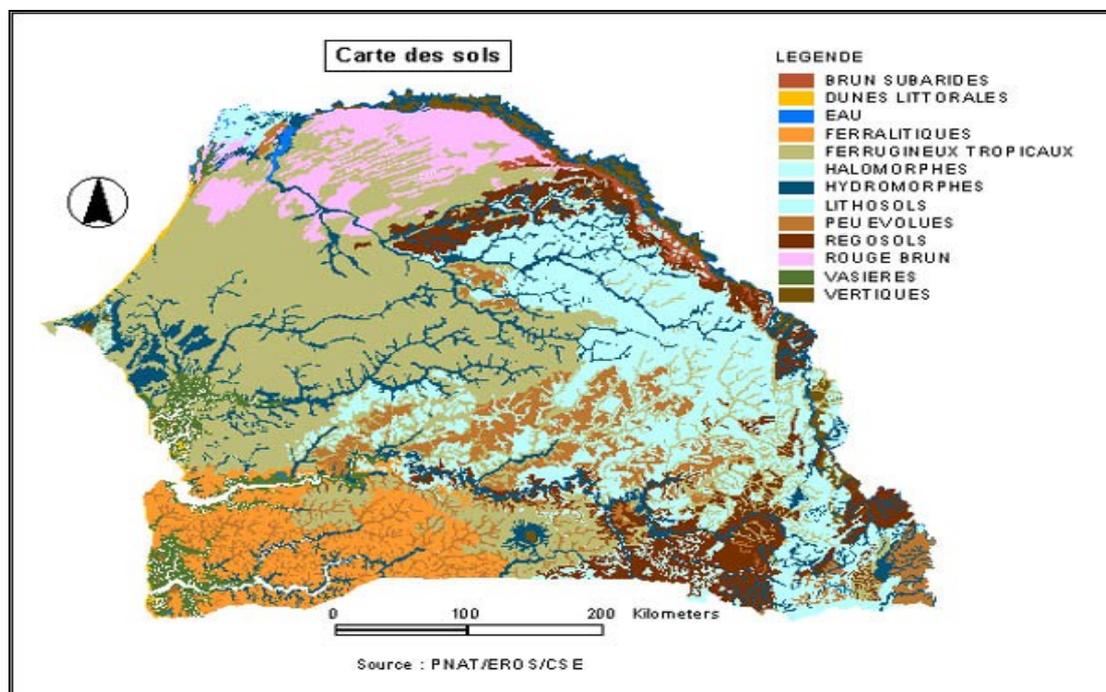


Source: Site du gouvernement du Sénégal

4.2.2. Sols du Sénégal face à l'érosion hydrique

La sensibilité du sol à l'érosion est étroitement liée à la structure et à la granulométrie. Par exemple les sables grossiers et les sols argileux sont moins sensibles que les limons. La carte des sols (carte 11) montre que la pédologie du Sénégal, très variée à cause de la diversité des conditions climatique, géomorphologique et géologique se caractérise de façon générale par une structure sableuse. Une grande partie du territoire est constituée de sols ferrugineux tropicaux qui couvrent presque tout le bassin arachidier et se caractérisent par une altération incomplète. Les régions de Ziguinchor et de Kolda où les précipitations sont assez abondantes sont constituées de sols ferralitiques d'altération complète des minéraux. Il s'agit de sols aptes à l'agriculture à cause de leur profondeur, de leur bonne structure et de leur perméabilité. Mais ils connaissent une disparition rapide de leur matière organique et une carence en phosphore et en potassium. D'une façon générale les sols du Sénégal et plus particulièrement ces deux types de sols localisés dans des zones assez arrosées sont très sensibles l'érosion. Cette sensibilité s'explique par la texture sableuse, la structure instable et la faible teneur en matière organique. Leurs dégradations liées à la monoculture arachidière et à la déforestation entraînent une réduction des rendements agricoles.

Carte 11: Sols au Sénégal.



L'importance et les menaces de dégradation des sols du Sénégal, il vient d'être mis en place un Institut National de Pédologie (INP) pour mieux cerner cette ressource naturelle.

De nombreux pays ont dressé des cartes de susceptibilité ou sensibilité à l'érosion en distinguant 5 à 6 classes selon les critères de granulométrie, de structure, du pourcentage de matières organiques et de la perméabilité.

Le tableau suivant montre les causes et l'ampleur de la dégradation des sols par région éco géographique. L'érosion hydrique plus élevée au Sénégal oriental, objet de notre préoccupation reste une des causes importantes de la dégradation des sols.

Tableau 1: Nature et importance des phénomènes de dégradation des sols par régions éco géographiques.

Région éco-géographique	Erosion hydrique	Erosion éolienne	Excès de sel	Dégradation chimique	Dégradation physico biologique	Situations particulières
Vallée du fleuve	F	M	E	m	M	Salinisation, sols mal drainés du delta, Alcalinité en haute vallée Présence de l'harmattan dans la basse et moyenne vallée Ravinement en haute vallée
Niayes et Grande côte	F	E	M	E	F	Remobilisation des dunes Intrusions salines dans les nappes phréatiques Acidification par lessivage insuffisant
Bassin arachidier semi-aride	F	E (Fall, 2002).	N	E	Te	Sols structurés, épuisés chimiquement, biologiquement vulnérables à la déflation éolienne
Bassin arachidier centre-sud	M	M	M	E	E	Acidification marginale Compaction et perte de structure Ruissellement et croûtage Destruction des sols lourds du Sine saloum et tannisation
Zone orientale de transition	M	M	N	E	E	Risque élevé du fait d'une pression foncière massive
Basse Casamance			E	M	F	Acidification des bas-fond (sulfure)
Moyenne et Haute casamance	M	F	F	F	F	Salinisation des terres rizicultivées suite aux sécheresses Erosion des versants
Région du socle oriental	E	F	N	F	F	Disparition des couches arables sur sols à cuirasse sub-affleurante cultivés
Domaine sylvo-pastoral	M	F	N	F	F	Dégradation physique autour des forages

Légende : N = nul, F = faible, M = modéré, E = élevé, TE = très élevé.

Source : FAO (1998).

4.2.3. Couverture du sol

Tableau 2: Flore des domaines phytogéographiques du Sénégal

Domaines phyto-géographiques	Positions géographiques et caractéristiques climatiques	Flore et végétation
Domaine sahélien	Nord du territoire ; saison sèche de 7 à 8 mois ; saison des pluies de 3 à 4 mois	Espèces ligneuses les plus communes : <i>Acacia senegal</i> , <i>Balanites aegyptiaca</i> , <i>Commiphora africana</i> , <i>Acacia tortilis</i> , <i>Acacia seyal</i> , <i>Adansonia digitata</i> , <i>Guiera senegalensis</i> , <i>Boscia senegalensis</i> , <i>Grewia bicolor</i>
Domaine soudanien	2/3 du Sénégal (1): Sine Saloum, Sénégal oriental, fleuve Gambie et ses affluents au Sénégal, moyenne et haute Casamance 4 à 5 mois de pluies	La limite nord de ce Domaine est matérialisée par l'apparition de <i>Bombax costatum</i> , <i>Combretum elliotii</i> , <i>Cordyla pinnata</i> , <i>Entada africana</i> , <i>Parkia biglobosa</i> , <i>Prosopis africana</i> , <i>Pterocarpus erinaceus</i> . La limite sud correspond approximativement à l'extension la plus méridionale de <i>Acacia seyal</i> et la limite nord de <i>Lophira lanceolata</i> . Les espèces caractéristiques les plus communes sont : <i>Pterocarpus erinaceus</i> , <i>Bombax costatum</i> , <i>Anogeissus leiocarpus</i> , <i>Combretum glutinosum</i> , <i>Combretum nigricans</i> , <i>Cordyla pinnata</i> , <i>Parkia biglobosa</i> . Environ 80 espèces spécifiques à ce domaine ont été recensées. Les bambusaies sont essentiellement localisées dans ce domaine.
Domaine guinéen	Situé à l'ouest de la ligne Banjul-Kolda. 5 à 6 mois de pluies	Le type de végétation caractéristique de cette zone est la forêt dense demi-sèche qui comprend les espèces telles que <i>Parinari excelsa</i> , <i>Azelia africana</i> , <i>Antiaris africana</i> , <i>Ceiba pentandra</i> , <i>Chlorophora regia</i> , <i>Detarium senegalense</i> , <i>Anthocleista nobilis</i> , <i>Pentaclethra macrophylla</i> , <i>mammea africana</i> , <i>Erythrophleum guineense</i> . La présence de certaines espèces hors des bas-fonds constitue un indicateur de ce domaine.

Source: Giffard P 1974

L'importance de la couverture végétale dans la maîtrise de l'érosion hydrique est explicite à travers cette réflexion de Rania Bou Kheir et al qui stipule que : « L'érosion se développe lorsque les eaux de pluies, non retardées par le couvert végétal, ne s'infiltrant pas dans le sol et les roches sous-jacentes, ruissellent et circulent d'une manière différente selon la morphologie et emportent les particules de terres et les masses rocheuses, si celles-ci sont disponibles¹² ». Le couvert végétal à travers la canopée et la litière constitue donc le facteur le plus déterminant de l'érosion des sols.

La couverture et la rugosité du sol font de façon générale allusion à son occupation c'est-à-dire la composition végétale et l'habitat. Le tableau précédant montre qu'au Sénégal, la formation végétale varie de la forêt claire de type guinéen à l'extrême sud du pays à la steppe arbustive et arborée sahélienne de la partie septentrionale en passant par

¹² Rania Bou Kheir et al, 1998. Effets des critères morphologiques tridimensionnels dans les modèles d'érosion hydrique des sols: Application à une région représentative du Liban. X^o journée scientifique du réseau télédétection de l'AUF

les savanes arbustives et arborées du centre. Dans le rapport du Plan National d'Action pour Environnement (PNAE), il a été démontré qu'entre 1980 et 1990 les forêts naturelles sont passées de 8,1 millions d'hectares à 7,5 millions d'hectares soit une disparition de 7,4 millions d'hectares de ressources végétales en dix ans.

Elle dépend du potentiel pluviométrique et est fortement menacée par les actions humaines notamment les défrichements et l'exploitation forestière avec un taux de déforestation de 0,7% en 1995 soit une perte d'environ 519 000 ha. La sécheresse et les actions anthropiques ont entraîné une dégradation du couvert végétal qui a mis à nu les sols exposés ainsi à l'érosion hydrique. L'urbanisation galopante modifie le système de drainage des eaux pouvant accentuer l'érosion hydrique des sols.

4.2.4. Topographie

Le Sénégal est un pays qui se caractérise par sa platitude. A part le Sénégal Oriental où se trouve le point culminant du pays (Fouta Djallon) à 581m, le reste du pays avec une altitude inférieure à 50 m est marqué par des bassins sédimentaires dont l'extension à perte de vue est rarement rompue par les collines de Thiès, le plateau de Ndiass, des glacis intérieurs, de bas plateaux et de buttes résiduels.

La topographie agit sur l'érosion à travers la hauteur et la longueur de la pente. Contrairement à l'idée que l'érosion est directement liée à la pente et à sa longueur, des études ont montré que l'érosion en nappe peut être plus élevée au bas du versant qu'au sommet. Cela veut dire que l'érosion hydrique au Sénégal qui, à travers la carte de sensibilité des sols à l'érosion hydrique est plus élevée au sud-est ne s'explique pas seulement par les pentes fortes.

4.3. Pertinence de l'étude géomatique de l'érosion hydrique au Sénégal

Cette partie s'intéresse d'abord à l'inventaire de l'expertise géomatique du Sénégal puis à la relation entre l'étude géomatique de l'érosion hydrique et la relance de l'agriculture par le biais du projet des bassins de rétention et des lacs artificiels.

4.3.1. Données et expertise Géomatique du Sénégal

Malgré son caractère récent et son extension tardive dans les pays en voie de développement, le Sénégal par le biais du Centre de Suivi Ecologique (CSE) capitalise une expérience dans le domaine du suivi écologique. Créé en 1987, ce centre qui constitue une association d'intérêt publique a pour vocation l'inventaire, le suivi et la gestion des ressources naturelles par les outils de la géomatique. Il dispose d'une antenne qui lui permet de recevoir des images satellitaires NOAA/AVHRR et SPOT et d'extraire l'Indice de Végétation par la différence normalisée (NDVI) pour le suivi et la surveillance environnementale.

Une grande partie de cartes du Sénégal sont élaborées par cette structure notamment la carte nationale sur la sensibilité des sols à l'érosion éolienne et récemment une carte de la sensibilité des sols à l'érosion hydrique rencontrée dans la recherche bibliographique. Cette expertise s'est renforcée récemment par la création le 24 octobre 2000 du Laboratoire d'Enseignement et de Recherche en Géomatique (LERG) par l'université Cheikh Anta Diop (UCAD), Institut de Recherche et de développement (IRD), Institut Sénégalais de Recherche Agronomique (ISRA) et la Direction de la Météorologie Nationale (DMN) pour la recherche et la formation en télédétection.

Par ailleurs, la Direction des Travaux Géographiques et Cartographiques (DTGC) joue également un rôle fondamental dans la production de cartes au Sénégal.

Grâce à la coopération Canadienne, le Sénégal compte mettre en place un Plan National de Géomatique (PNG) pour mieux vulgariser cet outil de planification, d'aménagement du territoire et de gestion de l'environnement. Initiative du CSE depuis 1996 avec la mise en place d'un groupe inter-institutionnel de réflexion, le projet lancé en mars 2006 cherche à coordonner les usages dispersés et sectoriels pour rendre plus efficace les applications de la géomatique au Sénégal et favoriser la circulation et le partage de l'information environnementale.

Ces différentes structures doivent impulser la géomatique dans le pays à travers la sensibilisation du public et plus particulièrement les chefs d'entreprises sur l'utilité de cette nouvelle technique mais aussi la formation de ressources humaines qui pourront s'approprier de la géomatique dans toutes leurs organisations. La coordination de

l'ensemble de ces structures par le biais du PNG offrira une grande visibilité et une meilleure planification de toutes les actions de développement.

4.3.2. Relation entre érosion hydrique et relance de l'agriculture par les bassins de rétention

Cette partie explique le contexte de l'agriculture du Sénégal, la dynamique actuelle qui s'articule sur les enjeux environnementaux des bassins en relation avec le captage des eaux de ruissellement et la proposition d'une démarche à suivre pour la construction d'un bassin de rétention.

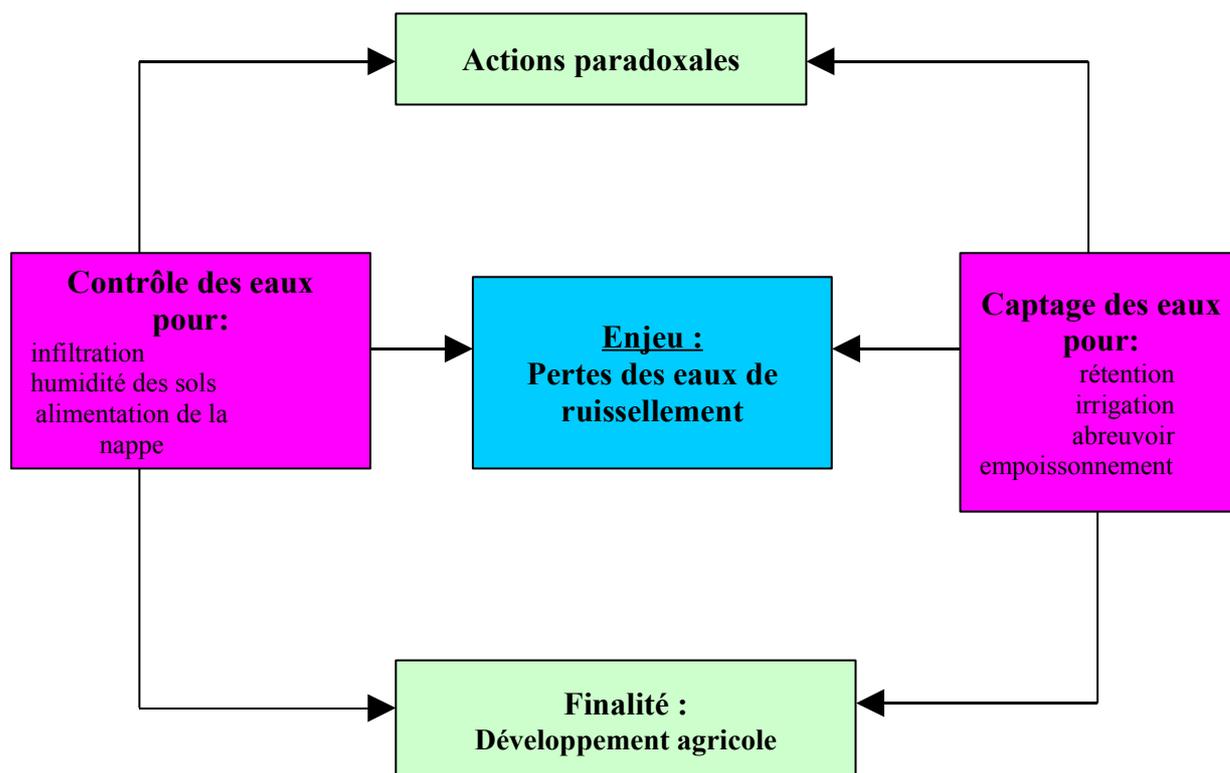
4.3.2.1. Contexte agricole du pays et la dynamique actuelle

Durant les années 1980, avec les plans d'ajustement structurel marqués par le vent de libéralisation, le Sénégal a lancé une nouvelle politique agricole (NPA) qui s'est traduite par la liquidation des structures d'encadrement en milieu rural. Mais cette nouvelle politique qui a laissé pour compte les paysans n'a pas atteint les résultats escomptés notamment le développement de l'agriculture et l'amélioration des conditions de vie des paysans. En effet, l'agriculture sénégalaise est fortement dépendante de la pluviométrie, réduite par des sécheresses parfois récurrentes et sévères.

Aujourd'hui, de nouveaux programmes ont été initiés pour atteindre cet objectif. Il s'agit entre autres du Programme National d'Investissement Rural (PNIR), de l'Agence National de Conseil Agricole et Rural (ANCAR), et récemment des bassins de rétention soutenus actuellement par le programme REVA (retour vers l'agriculture).

Ce nouveau programme, logé au Ministère de l'agriculture, de l'hydraulique rurale et de la sécurité alimentaire dont la première phase pilote s'étale de 2006 à 2008 permet d'octroyer aux femmes et aux jeunes touchés par l'exode rural et l'émigration des conditions pour une mise en valeur des terres en menant des activités agricoles permanentes. Selon le rapport du dit ministère en juillet 2006, le plan REVA dont l'investissement global initial sous le concours de l'Espagne et de la Libye est estimé à soixante millions (60 000000) \$ US, consiste ainsi à créer des pôles d'émergence intégrés et à promouvoir l'initiative privée dans le secteur agro-sylvo-pastoral. Le plan REVA dispose d'une agence de gestion et de mise en œuvre. Une articulation de ce plan avec le projet des bassins de rétention offre une meilleure prise en charge et une plus grande efficacité de ces différentes actions. La figure analytique suivante pose l'enjeu et la problématique du projet des bassins de rétention et les interrogations qui en découlent.

Figure 2: Analyse de la problématique des bassins de rétention.



Source : Auteur

La figure ci-dessus essaie de poser les problématiques ou questions qui entourent le projet de construction des bassins de rétention. L'enjeu fondamental qui a motivé le lancement du projet des bassins de rétention du Sénégal s'articule sur les pertes des eaux de ruissellement pendant la courte saison pluvieuse suivie par une longue période de

pénurie durant la longue saison sèche. Pourtant, à travers les techniques de lutte antiérosive, on a toujours cherché à maîtriser ces eaux de ruissellement pour favoriser l'infiltration de l'eau, l'humidité des sols indispensable à la vie des plantes et à l'alimentation de la nappe phréatique, le maintien de la fertilité des sols par la fixation des nutriments.

Par contre le projet des bassins de rétention favorise la récupération ou le captage des eaux de ruissellement pour l'irrigation, la pêche et l'abreuvement du bétail. Ces deux actions d'aménagements à la finalité identique c'est-à-dire le développement agricole semblent paradoxales dans la mesure où la réussite de l'une peut limiter celle de l'autre. Cette contradiction nous invite non pas à effectuer une option ou choix entre les deux aménagements, mais à réfléchir sur la conciliation des deux types d'aménagements agricoles dont la seule finalité reste le développement de l'agriculture et la promotion sociale du monde rural.

Le projet des bassins de rétention explicité dans le schéma suivant exige la prise en compte de l'érosion qui découle du captage des eaux de ruissellement afin de relever le défi de la durabilité. Cette figure qui est suivie par une photo illustrant un bassin de rétention identifie tous les enjeux économiques, sociaux et environnementaux qui s'articulent autour du projet des bassins de rétention. Il essaie de synthétiser la finalité du projet, les activités pour l'atteindre, les difficultés induites et la nécessité de concilier les questions environnementales.

4.3.2.2. Projet des bassins de rétention et des lacs artificiels

Cette image permet de visualiser un bassin de rétention déjà réalisé. Il s'agit alors d'ouvrages plus au moins identiques que le projet réalise et a l'ambition de répandre dans tout le territoire national.

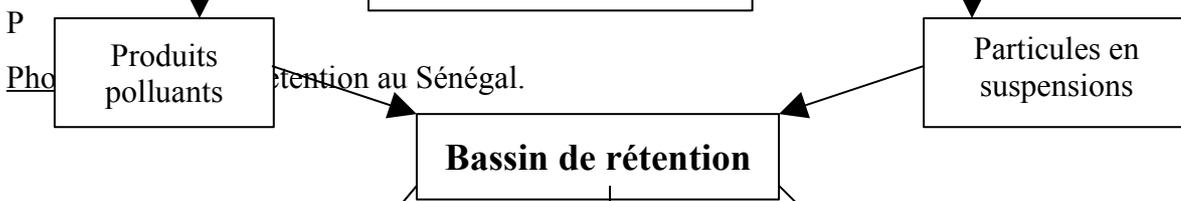
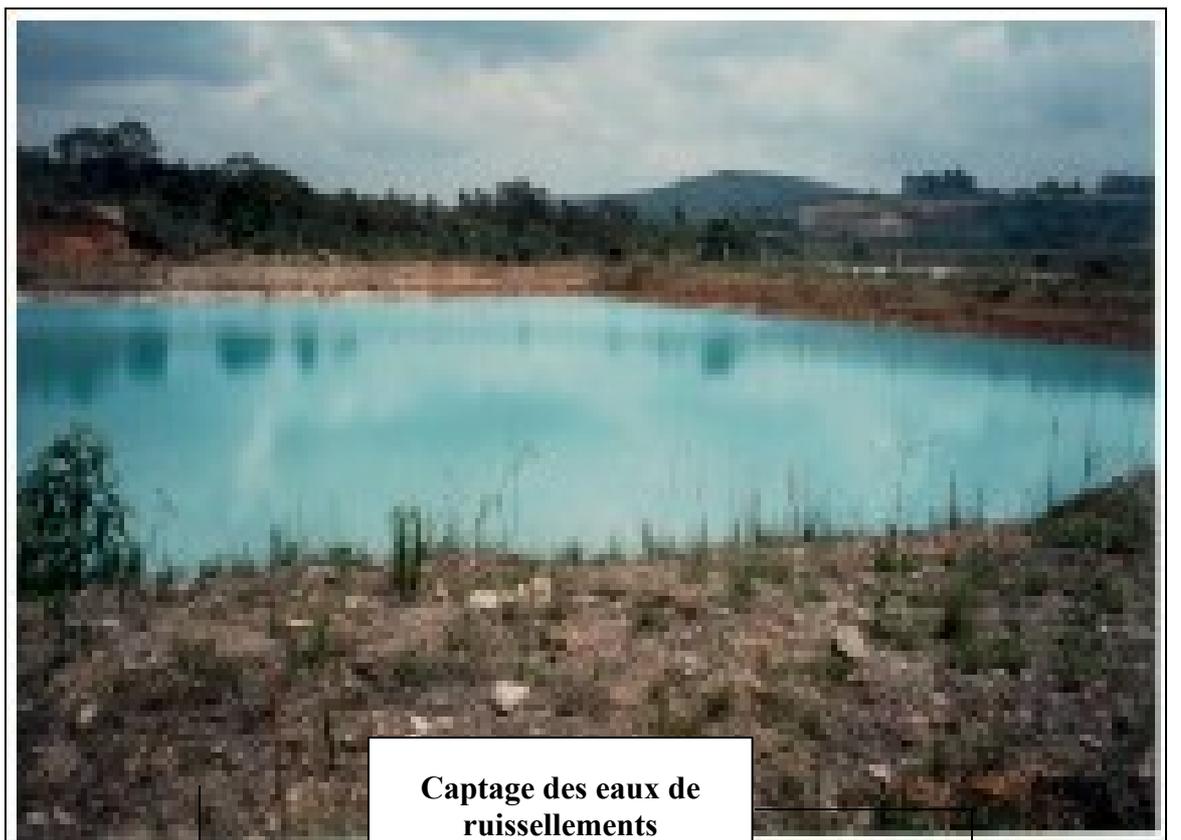
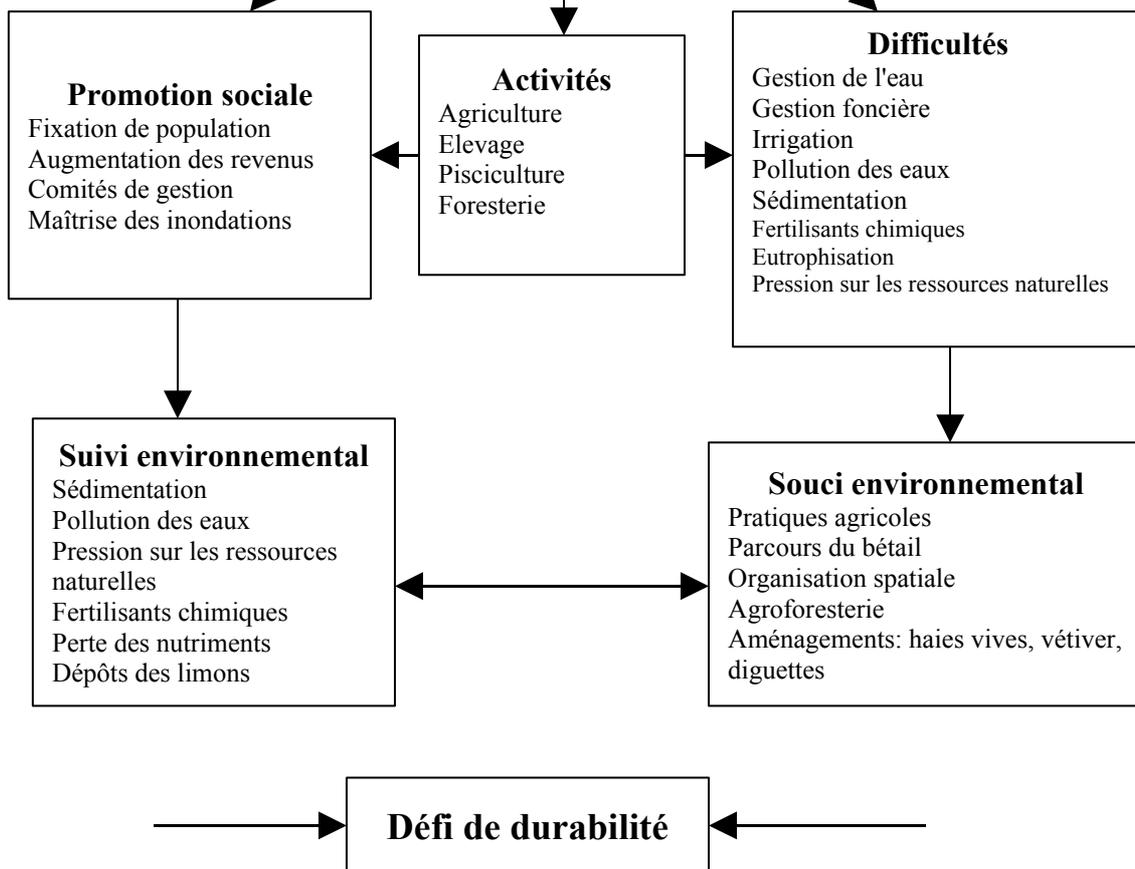


Figure 3: Analyse du bassin de rétention.



Source : Auteur

Depuis les indépendances, la politique hydraulique du Sénégal était basée sur l'exploitation des ressources d'eaux souterraines et des barrages qui mobilisent d'énormes moyens financiers. C'est dans ce cadre que de multiples forages et barrages ont été mis en place au Sénégal. Concernant les barrages, la majorité des réseaux hydrographiques du pays ont fait l'objet d'aménagement hydro agricoles. Cependant ces aménagements qui n'ont pas véritablement entraîné la croissance de l'agriculture doivent servir d'expérience pour tout autre projet de ce genre.

C'est ainsi qu'en mai 2000, le Sénégal inspiré par l'expérience du Maroc et du Burkina Faso a lancé un important projet de bassins de rétention et de lacs artificiels suite au conseil présidentiel sur la maîtrise de l'eau et de la reconstruction du réseau hydrographique. Ce projet des bassins de rétention complémentaire avec celui de la "muraille verte" qui irait de Dakar à Djibouti, s'inscrit dans le cadre de la maîtrise de l'eau. Il s'agit d'ouvrages qui permettent de recueillir, de capter, de stocker et de valoriser les eaux de ruissellement estimées à 150 milliards de mètres cubes par an qui

se perdent par infiltration au niveau des bas fonds où rejoignent la mer pendant la courte saison pluvieuse. Cependant, la perte par infiltration et jonction de la mer est à relativiser car l'infiltration humidifie les sols, ravitaille les plantes et la nappe phréatique puis le mélange des eaux de pluies avec les eaux marines favorisent le développement de certains écosystèmes marins (mangrove) et ressources halieutiques. Les ouvrages peuvent être une mare naturelle améliorée, une mare artificielle ou une petite retenue d'eau collinaire.

Depuis lors, 132 bassins de rétention ont été réalisés sur toute l'étendue du territoire sur financement du budget de l'Etat à hauteur de plus de 9 milliards de f cfa. Et la vocation du projet est de créer un bassin de rétention par village soit 24 000 bassins (rapport du séminaire sur les bassins de rétention et lacs artificiels, novembre 2006). Ces bassins qui prennent en compte les réalités sociales de chaque site s'inscrivent dans le cadre de la relance de l'agriculture en permettant aux paysans de travailler toute l'année et d'augmenter leurs revenus. Les populations rurales seront ainsi fixées dans leurs terroirs avec la redynamisation de toutes les activités rurales notamment l'agriculture (maraîchage), l'élevage, la pêche (pisciculture) et l'arboriculture. Les bassins peuvent ainsi lutter contre la pauvreté et la dégradation de l'environnement par l'augmentation des revenus avec la diversification des cultures et la restauration de la biodiversité. Les sites doivent constituer de véritables pôles de développement à travers l'intégration de l'agriculture, de l'élevage, de la pisciculture et la foresterie à l'image du concept d'agroforesterie. Mais l'enjeu foncier représente un obstacle à la promotion de la foresterie, secteur essentiel à la sauvegarde de l'environnement. En outre, les bassins permettent de lutter contre les inondations en déviant l'eau vers ces retenues d'eau.

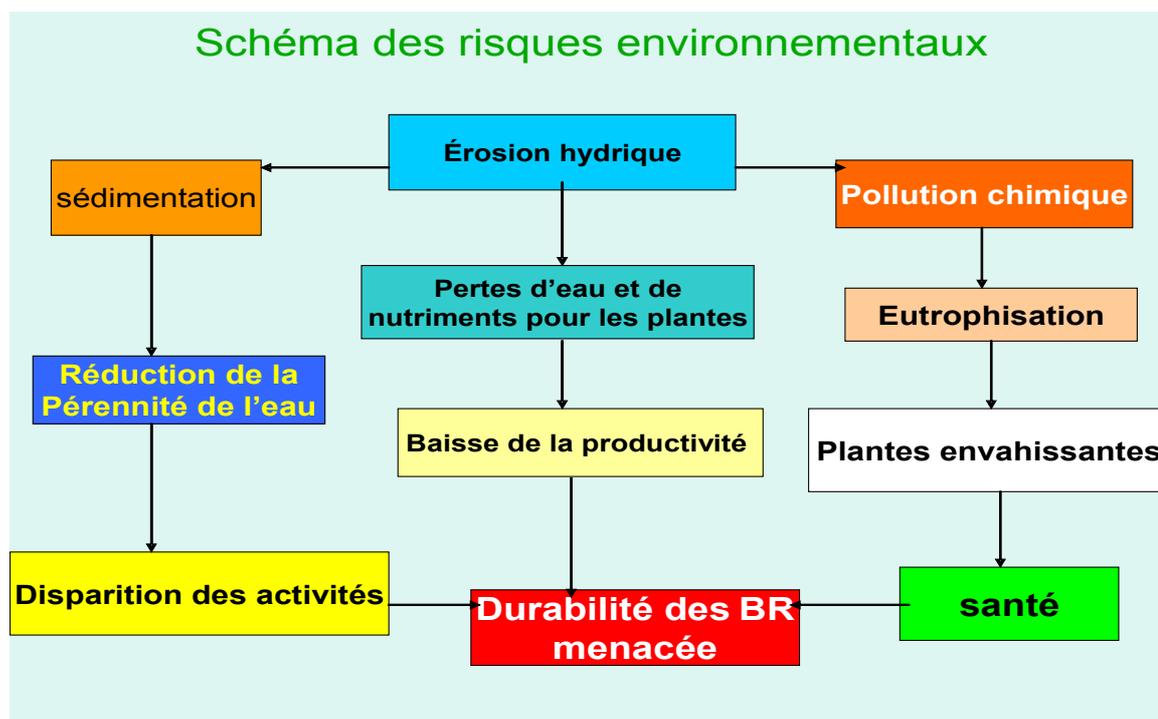
Cependant, le captage des eaux de ruissellement semble un peu paradoxal avec le contrôle des eaux de ruissellement qui représente une grande préoccupation séculaire. En effet le ruissellement a des effets négatifs notamment la réduction de l'infiltration qui diminue la disponibilité en eau des cultures et la perte de la fertilité des sols. Et il existe beaucoup d'aménagements antiérosifs qui cherchent à maîtriser ces conséquences négatives du ruissellement.

Le ruissellement s'accompagne avec une perte de fines particules et de sédiments qui peuvent entraîner à long terme l'envasement ou la sédimentation et la pollution diffuse des bassins. La pollution est d'autant plus probante que les paysans préconisent l'intensification de leurs activités agricoles par une forte utilisation des engrais

chimiques dans le cadre de la valorisation des bassins. Par conséquent, ce projet d'une grande envergure doit tenir compte de l'érosion pour garantir sa durabilité ou la pérennisation et favoriser un environnement viable. Ainsi, la durabilité et la protection de l'environnement restent des défis majeurs que le projet doit relever. Il faut une bonne conciliation du développement rural avec la sauvegarde de l'environnement. Cet objectif implique une étude et un suivi de l'érosion qui peut être appréhendée par les outils de la géomatique. La réflexion sur cette question permet d'attirer l'attention des décideurs sur la nécessité de prise en compte de l'érosion pour non seulement rendre viable les bassins de rétention mais aussi éradiquer la pauvreté par la satisfaction des besoins des populations.

4.3.2.3. Risques environnementaux de l'érosion dans un bassin de rétention

Comme cela a été évoqué tantôt, l'érosion constitue un fléau pour les bassins de rétention car elle est concomitante au ruissellement qu'ils captent. En effet, l'érosion par le biais du ruissellement s'accompagne de particules qui risquent progressivement de se sédimenter sur le fond du bassin et réduire le niveau du stock d'eau, voire son assèchement. L'eau emporte également les matières organiques et nutriments essentiels à la croissance des plantes. Il s'agit entre autres de l'azote, du phosphore, du potassium. La fertilité des sols sera ainsi compromise avec comme corollaire la baisse des rendements agricoles.



Source : Auteur

Aussi, l'eau de ruissellement emporte au passage les engrais chimiques fertilisants et les produits phytosanitaires utilisés dans l'agriculture. Les pesticides vont entraîner après saturation la pollution diffuse de l'eau avec la concentration des produits comme le phosphore, les nitrates et l'ammoniac qui peuvent non seulement remettre en cause la qualité de l'eau mais également provoquer l'eutrophisation du bassin. L'absence d'écoulement, le manque d'oxygénation et la végétation aquatique peuvent entraîner également l'eutrophisation des bassins de rétention.

Cette pollution est accentuée par l'utilisation de détergents pour le linge qui est généralement effectué dans les points d'eau à cause de la rareté de la ressource hydrique. Dans un contexte de développement de la pisciculture par l'empoissonnement des bassins, une pollution chimique et microbiologique va entraîner la contamination voire la mort des ressources halieutiques pouvant déboucher d'une part sur des problèmes de santé avec la prolifération des maladies hydriques et d'autre part l'arrêt des activités de pêche. Ce problème de santé sera beaucoup plus crucial du fait que l'eau, ressource généralement rare en milieu rural est utilisée dans la consommation familiale.

4.3.2.4. Techniques antiérosives et captage des eaux de ruissellement

La lutte contre l'érosion est une préoccupation séculaire. Déjà en 1930, des techniques de conservation de l'eau et des sols (CES) sont appliquées dans les grandes plaines américaines du Middle West suite à une catastrophe éolienne. Mais un diagnostic des causes de l'échec des projets de lutte antiérosive est effectué en 1987 lors du séminaire de Porto Rico.

De multiples techniques traditionnelles ou modernes sont utilisées pour lutter contre l'érosion. Il existe des techniques mécaniques et des techniques biologiques. Les techniques mécaniques, très nombreuses intéressent les digues de pierres, les cordons pierreux, les levées, les terrasses, les banquettes, les drains tandis que les techniques biologiques qui offrent une meilleure gestion des relations sol-plante-eau concernent les bandes enherbées (vétiver), haies vives isohypses. L'ensemble de ces techniques antiérosives a pour objectif de réduire la vitesse du ruissellement et de favoriser l'infiltration de l'eau et humidité des sols nécessaire pour la vie des plantes et de limiter

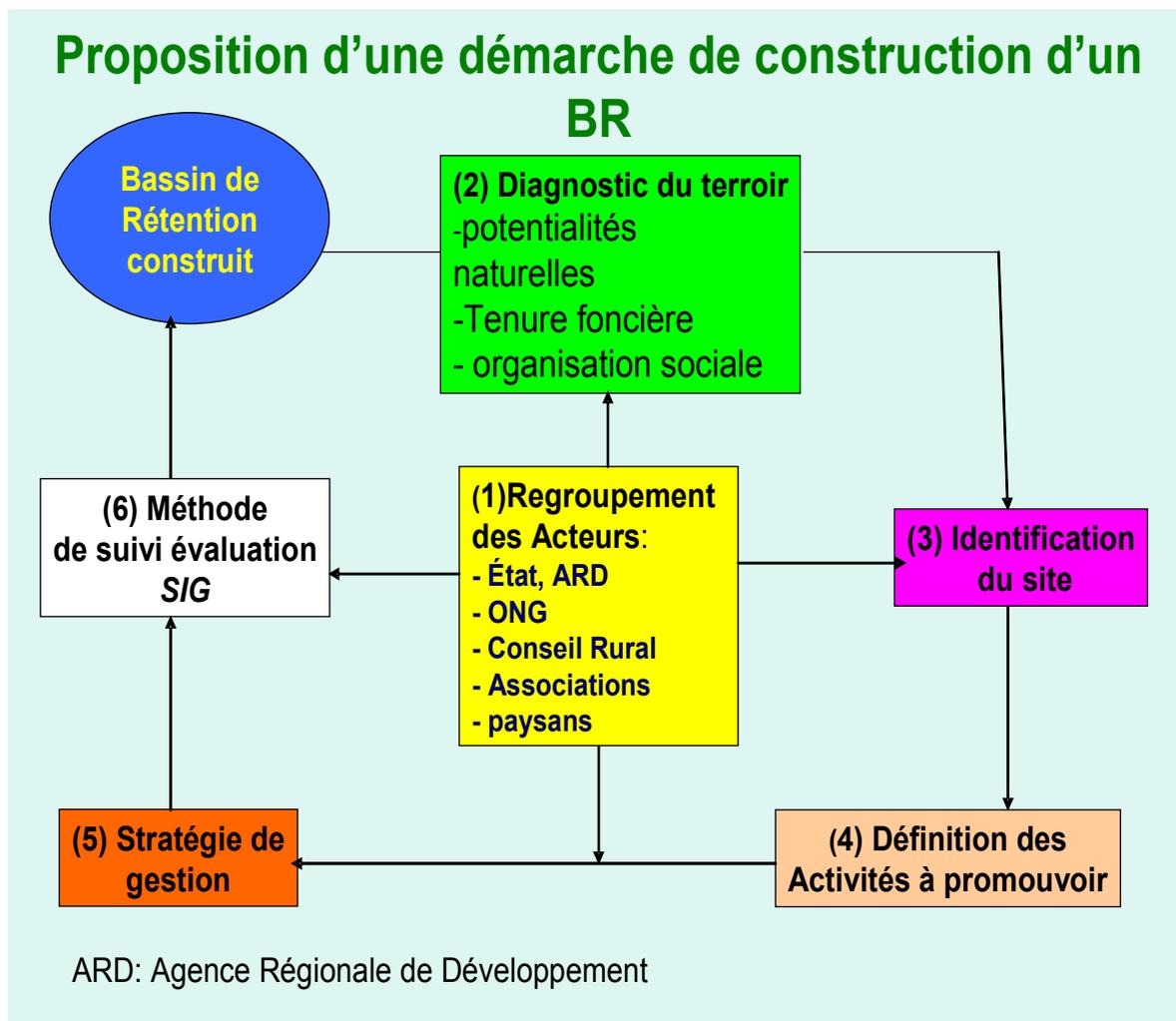
les pertes en terre. Pratiquées partout et particulièrement au Sénégal, elles permettent en outre d'éviter le transport des nutriments des plantes et de maintenir la fertilité de sols. Ces techniques antiérosives limitant le captage des eaux de ruissellement exigent une conciliation entre les deux phénomènes.

Le projet des bassins de rétention semble encourager le ruissellement qui sera capté pour être utilisé dans l'irrigation et l'abreuvement du bétail. Cela signifie qu'en amont des bassins de rétention, le ruissellement va poser des problèmes de fertilité des sols avec les pertes des matières organiques alors que les nouvelles activités ne vont pas remplacer entièrement les cultures traditionnelles. Et par contre des aménagements antiérosifs vont limiter la quantité d'eau stockable. Une conciliation des deux types d'aménagements à la finalité identique, c'est-à-dire le développement agricole est nécessaire pour la durabilité de ces actions, la satisfaction des besoins et la pérennisation des toutes les activités.

4.3.2.5. Formulation d'une démarche de construction d'un bassin de rétention

A travers ce schéma, il ressort les différentes étapes à suivre avant de construire un bassin de rétention. Le respect d'une telle démarche peut garantir l'implication effective des populations et l'efficacité du projet. Et l'environnement doit être intégré non seulement dans tout le cycle de construction du bassin proposé mais également dans sa gestion c'est-à-dire durant la valorisation du bassin de rétention.

Figure 4: Démarche participative de construction d'un bassin de rétention.



Source : Auteur

La volonté de promouvoir l'agriculture ne doit pas entraîner l'aménagement vertical d'un bassin de rétention sans au préalable connaître les perceptions des populations par rapport à cette action de développement mais aussi sans savoir les potentialités naturelles et humaines du terroir afin de mesurer les chances de réussite du projet. Cette remarque s'explique par l'attitude de certaines populations qui considèrent que les bassins de rétention ne constituent pas la priorité de leur terroir par exemple " le bassin n'est pas la principale priorité de la communauté rurale de Mont Rolland (...), ça a été une erreur grossière que de le construire dans une zone où il n' y a aux alentours aucune terre cultivable¹³". Cela veut dire que les bassins de rétention doivent répondre non seulement aux attentes des populations mais également aux réalités naturelles du terroir.

Ainsi, la construction d'un bassin de rétention doit suivre une démarche cohérente, participative et consensuelle. En effet le projet se veut reproductible et vise la totalité

¹³ Théodore Adrien Sadio Ndiaye, quotidien Walf, novembre 2006

des villages du Sénégal alors que chaque terroir à sa spécificité. Et c'est la raison pour laquelle, une implication effective et permanente de tous les acteurs s'impose pour leur adhésion entière. La démarche centrée sur la concertation effective de tous les acteurs doit suivre cinq étapes qui paraissent très essentielles :

- étude diagnostique du terroir ;
- identification du site avec les populations ;
- définition des activités à mener ;
- proposition d'une méthode de gestion du bassin de rétention ;
- méthode de suivi et d'évaluation du bassin.

L'étude diagnostique du terroir inspirée des études et des plans locaux de développement existants favorise la connaissance des potentialités naturelles du terroir. Elle permet de cerner les acteurs à la base notamment les villageois, les ONGs, le conseil rural, les ARD et les associations communautaires à la base et leurs principales activités économiques pour voir si les populations ont véritablement une vocation agricole et si le besoin de construire le bassin de rétention se manifeste. Par exemple, il n'est pas intéressant de construire un bassin dans un village où l'agriculture n'est pas une priorité. Il permet aussi d'appréhender la tenure foncière et de comprendre les relations entre les différents groupes afin d'éviter d'éventuels conflits. En effet, malgré l'existence de la loi 64-46 du 17 juin 1964 qui stipule que la terre appartient à celui qui la met en valeur, la tenure foncière traditionnelle imprime toujours sa marque en milieu rural. Et cette cohabitation des deux tenures foncières ne favorise pas la gestion d'un projet communautaire.

Le diagnostic facilite en outre l'intégration de la dimension environnementale pour assurer la durabilité du projet. Il s'agit de réfléchir déjà sur les impacts environnementaux que le bassin peut engendrer en développant le réflexe de la protection et de la réhabilitation de l'environnement dans les activités génératrices de revenus du projet. Cette prise en compte doit donc se traduire par une rationnelle utilisation de pesticides et d'engrais afin d'éviter la pollution de l'eau et l'eutrophisation du bassin qui risquent de constituer un danger pour la pérennité du projet. Aussi, une bonne organisation permettrait d'atténuer les fortes pressions des hommes et du bétail sur les ressources végétales et en eaux.

Ce diagnostic va aider à l'identification d'un site approprié avec les populations. En effet les villageois maîtrisent mieux les réalités de leurs terroirs. Par conséquent le choix du site doit faire l'objet d'un consensus et ne pas être déterminé et choisi uniquement par l'avis des techniciens. Le choix doit respecter non seulement les conditions physiques, c'est-à-dire des bas fonds et rivières mortes mais également favoriser l'adhésion de tout le village.

En fonction des potentialités du terroir et plus particulièrement la nature des sols, les acteurs, de concert avec les techniciens doivent définir les différentes activités agricoles qui seront menées dans le bassin de rétention et les pratiques qui vont être utilisées pour en même temps protéger les ressources naturelles et l'environnement. En effet, toutes les cultures ne s'adaptent pas à tous les sols et aussi toute activité agricole doit être proposée en fonction des effets environnementaux. Il importe par exemple de choisir des cultures qui peuvent réduire la force de l'érosion, améliorer la qualité des sols afin de réduire l'utilisation des fertilisants chimiques et que les sédiments ainsi mobilisés par le ruissellement n'entraînent pas l'envasement de l'ouvrage hydraulique.

Ensuite; les différents acteurs concernés notamment l'Etat, le Conseil Rural, les ONG, les paysans (villageois) doivent mettre en place un comité de gestion et proposer avec l'aide de techniciens une méthode rigoureuse de gestion. Dans un contexte où l'amour pour la terre tend à s'estomper, ce comité sera composé de gens dynamiques enracinés dans leur terroir et conscients de l'impérieuse conciliation du développement économique avec la protection de l'environnement c'est-à-dire accroître les revenus des paysans sans causer beaucoup de dommages à l'environnement.

Des activités comme l'agroforesterie doivent être encouragées. Une gestion efficace est d'autant plus nécessaire qu'il existe une diversité d'acteurs aux objectifs divergents. Il s'agit de mettre en place une bonne organisation spatiale pouvant satisfaire à la fois par exemple les maraîchers, les éleveurs et les pêcheurs.

Enfin, il est très important d'élaborer au préalable une méthode et un programme de suivi pour voir l'évolution du niveau et de la qualité de l'eau et d'évaluation de son impact économique, social et environnemental afin de trouver des stratégies de rémediation ou d'atténuation. C'est surtout à niveau que la géomatique va fondamentalement intervenir. Cela permettrait de voir s'il est opportun de continuer la construction des bassins ou les améliorations et corrections qu'il serait nécessaire d'apporter pour les bassins non encore construits afin d'atteindre la finalité. Pour cela,

une formation des acteurs et plus particulièrement les membres du comité de gestion puis un appui technique sont indispensables pour la réalisation de ce travail de suivi et d'évaluation. Et dans cette situation, l'utilisation des outils de la géomatique serait d'un apport inestimable. La direction de l'hydraulique chargée du projet doit même constituer un SIG sur les bassins de rétention. Le SIG offrira des informations sur les acteurs de chaque bassin, les ressources, les activités, les cultures, les productions, les intrants etc. A l'aide des outils de la géomatique, il importe de suivre l'évolution du milieu qui entoure les bassins en effectuant des études diachroniques renforcées par des sorties et enquêtes de terrains. Les Agences Régionales de Développement (ARD) qui constituent une expertise du développement local au Sénégal peuvent offrir les ressources humaines et techniques pour cette étude géomatique.

Une telle démarche permet d'une part de garantir l'adhésion des populations et d'autre part la réussite et la durabilité du projet et surtout d'éviter les déclarations identiques à celle d'un habitant de Mont Rolland qui dit que le bassin de cette localité n'a pas été construit au bon endroit et qu'il ne constitue pas une priorité pour les populations. L'adhésion des populations peut être obtenue par une contribution financière symbolique et une participation effective aux activités de construction. Ces deux éléments leur permettent de s'approprier des bassins.

Conclusion partielle

A travers cette dernière partie, il importe de retenir que l'aménagement des bassins de rétention représente une grande préoccupation. Il suscite beaucoup d'engouement surtout pour les décideurs et les ruraux. Cependant la durabilité dépend de la prise en compte de l'érosion pour éviter que ces anciennes dépressions asséchées ne se sédimentent pas facilement. Cela constitue une condition pour la promotion de toutes les activités prévues. L'utilisation des outils de la géomatique pour la production de cartes actualisées et l'implication des acteurs constitue des gages de réussite de ce projet.

Conclusion générale

Ce mémoire sur l'apport de la géomatique à l'étude de l'érosion hydrique a porté essentiellement sur deux axes. Le premier, qui concerne l'apprentissage des outils de la géomatique pendant le stage professionnel a permis la manipulation et la visualisation de cartes d'indice d'érosion. Ces différentes cartes effectuées à partir de photos aériennes et d'images satellitaires ont permis d'apprécier le rôle de chaque facteur dans les processus d'érosion et d'identifier les aires les plus touchées par ce fléau. Elles peuvent ainsi jouer un rôle important dans la prise des décisions.

Le second axe intéresse la conceptualisation d'une étude identique appliquée au projet des bassins de rétention du Sénégal. Cette réflexion conceptuelle a permis d'abord d'explicitier les phénomènes et les facteurs de l'érosion hydrique au Sénégal, ensuite, d'identifier l'ensemble des problèmes environnementaux que l'érosion, concomitante au ruissellement des eaux peut engendrer dans les bassins de rétention.

Ainsi, l'étude a montré que l'érosion hydrique, liée entre autres à la pente, à la nature du sol et à la couverture végétale est beaucoup plus élevée dans le sud-est du Sénégal où on enregistre des pluies abondantes. En amont, cette érosion décape et réduit la fertilité et l'humidité des sols tandis qu'en aval, elle entraîne la sédimentation, la pollution et eutrophisation des points d'eau. Il s'agit de ces problèmes environnementaux découlant de l'érosion, résultante des eaux de ruissellement que les bassins de rétention captent qui justifient la nécessité d'un suivi systématique de ces petits ouvrages par les outils de la géomatique. L'élaboration périodique de cartes d'indice de l'érosion dans chaque zone éco géographique et plus particulièrement au sud-est du pays permet de suivre et d'apporter rapidement des mesures d'atténuation et des corrections pour les bassins déjà opérationnels et à construire.

La réflexion conceptuelle suggère également la formulation préalable d'une démarche de construction des bassins de rétention. Cette démarche participative, qui s'explique par les réactions de certaines populations considérant qu'un bassin ne constitue pas la priorité de leur terroir favorise l'adhésion, la gestion et l'utilisation durable des bassins de rétention avec la prise en compte de tous ses problèmes environnementaux. Une telle démarche, plus le suivi permanent des bassins de rétention par un SIG favorise un développement agricole durable.

Bibliographie

- ✓ Badiane Aminata, Diémé Ibrahima, Les types de sols au Sénégal: particularités et état actuel, Workshop séquestration du carbone 2003
- ✓ Benié Bertin Goze *Cartographie des zones humides à l'aide des données hyperspectrales*. Rapport final, projet au centre canadien de géomatique 2003 ».
- ✓ Benié Bertin Goze, Cours de géomatique appliquée à l'environnement, Université Senghor, département environnement 2007.
- ✓ Bulletins érosion :
 - Numéro 15 *Environnement humain de l'érosion* 1995
 - Numéro 16 *Etat de la surface du sol et risque de ruissellement et d'érosion* 1996
 - Numéro 17 *Erosion en montagnes semi-arides et méditerranéennes* 1997
 - Numéro 18 *L'eau et la fertilité des sols, deux ressources à gérer ensemble* 1998
 - Numéro 20 *Influence de l'homme sur l'érosion* 2000
 - Numéro 21 *Techniques traditionnelles de GCES en milieu méditerranéen* 2001
 - Numéro 22 *Gestion de la biomasse, érosion et séquestration du carbone* 2004
- ✓ Cheikh Tidiane Ndiaye, 1993 : *Conservation des eaux et des sols pour une agriculture durable*. Université Senghor, département gestion de l'environnement.
- ✓ Cointepas Premiers résultats des mesures de l'érosion en Moyenne Casamance, Sénégal. CR. VI congrès AISS, Paris, tome D: 569676, 1956.
- ✓ Diallo Bocar, 2005: *Les systèmes d'informations géographiques et les changements d'occupation/utilisation des sols dans la forêt classée de Diambour (sud-est Sénégal)* mémoire certificat spécialisé en géomatique.
- ✓ Diatta M, Faye E, Grouzis, Perez P « Importance de la haie vive isohypse sur la gestion de l'eau du sol et le rendement des cultures dans un bassin versant » de Thyssé-Kaymor. *Science planétaires/ Sécheresse*. 2001 Volume 12, Numéro 1,15-24

- ✓ Duchemin Marc, Lachance Marius, Morin Guy, Lagace Robert « Approche géomatique pour simuler l'érosion hydrique et le transport des sédiments à l'échelle des petits bassins versants » *revue Water quality research journal of Canada* 2001 vol 36 n°3 pages 435-473.
- ✓ Eastman J. Ronald, *Idrisi version 4.0 et 4.1, un SIG en mode image*, traduction, Claude Collet en mai 1995 FAO, CSE *Evaluation de la dégradation des terres au Sénégal* 2003
- ✓ File://E:\SOLS\Conservation des eaux et des sols1 .htm ds 8
- ✓ Gobet Jean Michel, Aragno, Michel, Willy Matthey, *Le sol vivant, les bases pédologiques des sols*. Presses polytechniques et universitaires Romains 1998.
- ✓ Gril Jean Noël, Duvoux Bernard, *Maîtrise du ruissellement et de l'érosion, conditions d'adaptation des méthodes américaines*, Cemagref Antony 1991.
- ✓ Guillobez S Contribution au rapport risques et érosion- volet érosion, 2002.
- ✓ Guillobez S : « Réflexions théoriques du ruissellement et de l'érosion, base d'un contrôle, Application à la détermination des écartements entre dispositifs anti-érosifs », revue *Bois et Forêt*, Numéro 226, 4^o trimestre.
- ✓ Guillobez S, Lompo F, De Noni G « Suivi de l'érosion pluviale et hydrique au Burkina Faso, Utilisation d'un modèle cartographique » *Sciences et changements planétaires/ Sécheresse*. Volume 11, Numéro 3, 163-9, 2000.
- ✓ Harroy JP, *Afrique terre qui meurt. La dégradation des sols africains sous l'influence de la colonisation*. Bruxelles : Editions Marcel Hayez, 1994 557P.
- ✓ Hill, Daniel, *L'eau et le sol, principes et processus physiques*, collection pedo sup, Academia Louvain-la-Neuve, deuxième édition revue 1998.
- ✓ Laaribi Amor, *SIG et analyse multicritère*, édition Hermes, 2000 190 pages
- ✓ Laurani Robert, Milleret-Raffort, *Les bases de données en géomatique*, édition Hermes, Paris 1993, 340 pages.
- ✓ Lévêque Christian *Environnement et diversité du vivant*, édition cité des sciences de l'industrie 1994.
- ✓ Liégeois M, Wicherek S, Amat JP *Réflexions sur la vulnérabilité à l'aléa érosion. Cahiers d'études et de recherches francophones/Agricultures*. Volume 13, Numéro 4, 355-61, 2004.
- ✓ Manuel d'utilisation d'Arc View GIS, ESRI, 1996, 376 pages.
- ✓ MEPN Code de l'environnement du Sénégal 2001.
- ✓ MEPN, CONSERE Rapport National sur la mise en place de la CCD 2004.

- ✓ MEPN, CSE *Etat de l'environnement au Sénégal*, édition 2005.
- ✓ Michel P « La dynamique de la géomorphologie dans le domaine soudanien de l'ouest africain: exemple de Mali occidental et Sénégal oriental ». *Géo-Eco-trop*; 1:1-20 1978.
- ✓ Ministère de l'agriculture, de l'hydraulique rurale et de la sécurité alimentaire Nouvelle orientation de la politique agricole, Juillet 2006.
- ✓ Naimi M, Tayaa M, Ouzizi S « Cartographie des formes d'érosion dans le bassin versant de Nakhla (Rif occidental, Maroc) ». *Science planétaires/ Sécheresse*. Volume 16, Numéro 1,79-825, 2005.
- ✓ Pillet Gouzague, Louget, René, *Les sols: Faciles à perdre, difficiles à regagner* Collections dossier sur l'environnement, publié par la société Suisse pour l'environnement, 1993.
- ✓ Prumain Dénise, Saint-JulienThérèse, *L'analyse spatiale, localisation dans l'espace*, Armand Colin/ Masson, 1997.
- ✓ Raunet M, les facteurs de l'érosion des terres et l'envasement du lagon, rapport 1992.
- ✓ Rimbert Sylvie, *Carto-graphies*, éditions Hermes, 1990.
- ✓ Roose E « Evolution historique des stratégies de lutte antiérosive: Vers la gestion conservatrice de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES) ». *Sciences et changements planétaires/Sécheresse* Volume 15, Numéro 1, 9-18 2004.
- ✓ Roose E, De Noni G « Recherches sur l'érosion hydrique en Afrique: revue et perspectives ». *Sciences et changements planétaires/Sécheresse*, Volume 15 Numéro 1,121-9 2004.
- ✓ Roose E, *Vingt années de mesure de l'érosion en petites parcelles en Afrique de l'ouest*. Travaux et documents Orstom. N° 78 Paris: Editions Orstom, 1977 178p
- ✓ Tricart J. « Erosion naturelle et érosion anthropique à Madagascar ». *Revue Géol dynamique Paris*, 1953; 5: 225-30.
- ✓ USAID: Senegal framework for naturel resource monitoring (structure pour le suivi à long terme des ressources naturelles du Sénégal) internet.
- ✓ Van der Knijff JM et al, *Estimation du risque d'érosion en Italie*, European Soil Bureau 2000.
- ✓ Xèmes journées Scientifiques du Réseau Télédétection de l'AUF, les eaux dans un bassin versant, internet.

- ✓ Zougmoré R, Ouatara K, Mando A, Ouatara B: « Rôle des nutriments dans le succès des techniques de conservation des eaux et des sols (cordons pierreux, bandes enherbées, zai et demi-lune) au Burkina ». *Sciences et changements planétaires/ Sécheresse*. Volume 15, Numéro 1, 41 2004.

Annexes

Annexe 1: Article sur les bassins de rétention.

BASSINS DE RETENTION ET LACS ARTIFICIELS : 121 ouvrages pour relancer l'agroforesterie

Cette contradiction découle du fait que depuis l'indépendance, la politique de notre pays dans le domaine de l'eau a été orientée vers les ressources souterraines et les grands barrages qui demandent beaucoup de fonds, alors qu'il était possible, dans la même dynamique, de réaliser des bassins et autres retenues collinaires à moindres frais, selon plusieurs spécialistes des problèmes hydrauliques.

C'est conscient de cela que le gouvernement, lors d'un conseil présidentiel, a décidé d'une réorientation politique pour un réseau hydrographique national. Le stockage d'une partie des eaux de ruissellement et sa valorisation dans toutes les dépressions du pays pour relancer la production agricole et autres activités connexes constituent le fondement des bassins de rétention. Il s'agit d'ouvrages à moindre coût, avec une technicité reproductible qui ont fait leurs preuves dans des pays comme le Maroc ou le Burkina Faso et qui offre de multiples avantages : la restauration de la biodiversité par une augmentation de la faune et de la flore qui, naguère, avaient disparu et la recharge des nappes phréatiques. La création d'un microclimat et d'un plan d'eau favorable aux loisirs, une sécurisation de la production et une augmentation de la diversification des cultures et des revenus, etc.

Le gouvernement, à travers la Direction du génie rural, a réalisé près de 121 ouvrages, des bassins de rétention et lacs artificiels, à travers le pays et le processus continu en s'amplifiant, selon M. Thiam, avec les demandes en provenance des populations et des acteurs locaux qui ne cessent de croître. Le programme intéresse tout le pays et l'ensemble des villages qui disposent ou non de potentialités hydrauliques. Selon le directeur, le programme est reproductible, à la dimension paysanne et adopté à nos sociétés agraires parce que favorable aux écosystèmes sahéliens et aux pratiques sénégalaises.

Depuis trois ans, a-t-il indiqué, il y a une relance des activités agricoles le long de l'année pour lutter contre la pauvreté en milieu rural. « Une révolution verte qui combine l'agriculture, l'élevage et l'agroforesterie ». À la différence des années précédentes, les bassins dit de seconde génération ont connu une évolution avec une capacité plus grande d'au moins 300 à 600 mille mètres cubes, donc avec une durée de rétention plus longue pour permettre d'exploiter plus de terres et de sécuriser davantage les productions. Une durabilité des activités agro-sylvo-pastorales qui fait des sites de bassins des pôles de développement économique. Les actions majeures ajoutées à l'ouvrage de rétention sont la mise en œuvre d'un ou de deux puits équipés à côté du bassin pour une irrigation complémentaire ou d'appoint. L'aménagement et la clôture de périmètres pour les activités maraîchères, sylvicoles et pastorales en production irriguée à partir du bassin ou du puits. Par ailleurs, des réservoirs et des magasins de stockage sont réalisés de même que des pistes de dessertes. L'objectif, selon M. Thiam, est de faire des bassins de rétention un espace multifonctionnel, cadre de solidarité et lieu de conservation de la production. Pour ce qui est des enjeux, a-t-il expliqué, le souhait c'est d'abord une intégration agriculture/élevage/pisciculture autour du concept d'agroforesterie. Amener les populations à tirer le meilleur profit de l'eau en diversifiant leur production. « Pour y arriver, nous travaillons en étroite collaboration avec les populations. À savoir, pour chaque bassin, qu'il y ait des comités villageois ou inter-villageois de gestion du bassin », a-t-il dit. Dans certaines localités qui ont bénéficié de bassins, la production agricole, notamment maraîchère, s'étend désormais à près de neuf mois sur douze et, face à l'enjeu foncier, les populations deviennent réticentes pour le volet de la foresterie devant les forts enjeux financiers de la production.

Journal le soleil, samedi 02 avril 2005.

Annexe 2: Article sur les bassins de rétention.

La priorité à Mont-Rolland n'a jamais été un bassin de rétention.

La sortie de M. Bakar Dia au Jt de 20 h 30 de ce lundi, à propos du bassin de rétention de Mont-Rolland, ne pouvait laisser indifférents les fils du terroir épris de justice et de clarté. Monsieur le Ministre, dans son discours, a magnifié - comme à l'accoutumée- les différentes réalisations de Me Wade, parmi lesquelles les nombreux bassins de rétention construits un peu partout à travers le Sénégal. A l'instar de tous les Sénégalais de bonne foi, je reconnais que le régime de l'alternance a fait de grands progrès dans le domaine des infrastructures, et de ce fait mérite les encouragements de tous les Sénégalais. Cependant, concernant le bassin de rétention de Mont-Rolland, des éclaircissements méritent d'être apportés, et ce pour deux raisons principales.

1°Le bassin n'est pas construit au bon endroit.

Ça a été une grossière erreur que de le construire dans une zone où il n'y a, aux alentours, aucune terre cultivable. Je sais bien ce que je dis, car j'habite à quelques mètres de ce point d'eau que les libéraux tiennent à faire un thème de campagne. Le bassin se situe, en effet, entre le village de Tivigne –Tanghor et Fouloun-Loukhous. A cet endroit, il n'y a que des collines où rien ne pousse, sinon de l'herbe sauvage. Et à ce que je sache, au Sénégal, nous n'avons pas encore l'expertise israélienne pour cultiver sur les collines. Si vraiment, avant de construire ce bassin, les experts avaient pris la peine de demander aux populations du Ndût le lieu adéquat pour abriter ce projet, ils auraient appris de ces dernières qu'il existe, dans cette contrée, de grandes surfaces cultivables, mais malheureusement inexploitées faute de moyens et d'eau surtout, comme 'Yékhé', 'Tago' 'Peuleudjine' ou 'Diorine' qui sont d'une fertilité paradisiaque. Mais 'comme il n'est jamais tard pour faire du bien', M. Bakar Dia peut rectifier le tir en faisant construire des bassins dans ces sites. Lorsque j'ai entendu le ministre parler du pagnet de la ménagère qui se serait amélioré, j'ai failli tomber des nues. Non Monsieur le Ministre, nos vaillantes femmes, mamans et sœurs ne vont pas prendre quotidiennement du poisson au bassin pour préparer le repas. Elles continuent d'acheter du poisson au petit marché de Tivigne-Tanghor. Pensez-vous Monsieur le Ministre que ce seul bassin puisse satisfaire la demande en poissons d'une Communauté rurale de 18 villages ? Ce bassin ne peut même pas ravitailler le seul village de Tivigne-Tanghor que vous avez visité en vous rendant à la radio communautaire Biyèn Fm, sise à la même localité. Si vous vous intéressiez un peu à l'histoire, oh ! combien magnifique, de cette contrée, vous auriez appris qu'à l'époque, les ancêtres du Ndût allaient pêcher du 'Kolè' (silure) au lac Tamna (ou Retba ?). Mais hélas, ce lac jadis nourricier se meurt, et personne ne fait rien pour le sauver de sa disparition certaine. Lisez le livre de Jean Géreum Ciss 'Le cri des anciens' et vous vous rendrez compte que la pêche était au centre des activités des Mont Rollandais.

2°- Le bassin n'est pas la principale priorité de cette Communauté rurale.

De quelque côté que vous puissiez entrer à Mont-Rolland, vous vous êtes rendu compte que les routes qui y mènent sont extrêmement délabrées. Surtout le tronçon Thiès-Noto, en passant par Mont Rolland. La principale priorité des fils du Ndût est, et a toujours été, cette route Thiès-Noto qui traverse leur village. Une route qui, hélas, enregistre chaque année des accidents mortels. Lors d'un méga-meeting du Pds, tenu à Mont Rolland, le Premier ministre Macky Sall avait promis que les travaux de bitumage de ce tronçon allaient commencer avant la fin de l'année 2006. Que reste-t-il de 2006 ? Nous sommes presque à la fin de l'année et jusqu'à ce jour rien, nada, tuss. Monsieur le Premier Ministre, les populations du Ndût attendent toujours la réalisation de cette promesse. Revenons à Monsieur B. Dia, pour lui suggérer une petite expérience. La prochaine fois que vous vous rendrez à Mont Rolland, faites une petite randonnée dans les rues de ce village. Vous verrez que nos populations sont pauvres, que l'exode rural y est notoire. La seule fabrique artisanale de chaux vive qui existait à Tivigne Tanghor et qui faisait vivre un certain nombre de familles, est presque fermée. Les populations vous seraient très reconnaissantes si vous faisiez un geste allant dans le sens de la reprise des activités de cette fabrique de chaux vive appelée Adaua, en la modernisant surtout. Ces remarques que je vous fais Monsieur le Ministre, ne les voyez surtout pas mal, mais prenez-les avec intelligence. Mais n'attendez surtout pas aussi que le Collectif des cadres mont-rollandais le fasse. Ces derniers que d'aucuns considèrent comme une bande de copains embourgeoisés, prompts à se retrouver autour d'une table bien garnie, ne portent pas réellement les aspirations et préoccupations des populations du Ndût. Pour finir, Monsieur le Ministre, veuillez rappeler au Premier ministre sa promesse faite à Mont Rolland il y a quelques mois, relative au bitumage du tronçon Thiès-Noto Gouye-Diama via Mont Rolland. Merci d'avance.

Théodore Adrien Sadio NDIAYE Maître es Lettres Titulaire d'un Dea Elève IEPJS (2e année) INSEPS
Jeudi 30 Novembre 2006

Source: walf.sn.

Annexe 3: Manipulations

Calcul de la superficie

Aller dans mode édition-Start editing-Aller dans la base attributaire:table,open-Aller dans édition, add field,- field,-calculate-Double clique sur shape-.Return (surface)-Return length (longueur)

Importation d'un fichier à partir d'arc view

File-Import-Software specific format-Esri format-Shapeidr

Transformation d'un fichier ligne en points

Reformat-Generalisation-Line to point conversion

Effectuer des liens

Data entry-Edit-File_Type de fichier-Vecteur link file-Choisir le fichier-Changer les fichiers

Récupération des données sur access

Access,file,open-Data base file-Selectionner le fichier-Ouvrir-File :recuperation des altitudes-Export-, field-,to AVL-Renseigner- choisir l'altitude

Modèle numérique de terrain (MNT)

Gis analysis-Surface analysis-Interpolation-Tin interpolation -Tin -Chercher le fichier-Laisser le même nom-Choisir l'unité de mesure (m) en cliquant sur output doc-

Calculer les lignes et les colonnes en fonction de la taille du pixel que l'on veut en faisant la différence entre minimum et maximum puis diviser le résultat par la taille du pixel choisi (10m). L'objectif est d'avoir une meilleure définition de l'image satellite.

Pour visualiser le bassin versant

Display-Display launcher-Choisir l'image; OK

Changer la couleur de l'image

Layer properties-Palette file-Idrisi-Choisir la couleur

Correction de la visualisation

Reformat-Wi,ndow-Chercher les images

Correction du MNT en fonction du bassin versant

Initiation d'un fichier nul (1)

Data entry -Initial-Donner un nom au fichier-Copier les paramètres dans le mnt-Laisser les valeurs nulles

Reformat (2)

Raster vecteur-Polygon to raster-Bv initial (nom du fichier)

Reclassement des valeurs pour obtenir 0 et 1 (3)

Gis anlysis-Data base query-Reclass-Initial BV-Donner un nom au fichier de sortie-Assigner les nouvelles valeurs (1/1/5)

Fusionner les deux classes avec le MNT (4)

Gis analysis-Mathematical operators-Overlay-MNT +image reclasée+ image de sortie (donner un nom)

1 x 0 = 0

1 x 1 = 1

Analyse en composantes principales (ACP)

Image processing-Transformation-Pca-Rechercher les différents fichiers-Ecrire le nombre de fichiers OK

Scannage d'un document

Lire au préalable la carte pour mieux localiser ou cadrer la zone d'étude et tenir compte de UTM (mercator transverse universal) à traduire en mètre

Choisir un logiciel de photo car il y en a plusieurs

Fichier

Acquérir image

Sélectionner une source (déjà acquise)

Si la résolution est grande corriger (de 300 à 150)

Ppp = points par puces

Codage de la base attributaire

Edit, add field, nom du champ, déterminer la largeur du codage (5), ok, regrouper les information à coder avec plusieurs possibilités;

-directement si elles ne sont nombreuses (flèche, puis écrire le code)

-table, query,unit, field, calculate

Création de lien avec la base de données d'Idrisi

-File, export, field, to Avl, nom de l'attribut (kw rugosité), lien IDR, champ (rugosité)

-2° opération: data entry, assign

-3° opération: fabriquer une image ,reformat, vecteur to raster

Faire une image initiale: data entry, initial

1) préparation des fichiers « pluies ».

Sous ArcView :

On utilise le fichier des isohyètes de toute l'île (M. Raunet) : fichier de type ligne ; on récupère la partie encadrant bien l'ensemble du bassin versant de Koualé en dépassant le cadre de travail du bassin versant. On coupe les lignes par des traits.

Fichier « shape » obtenu : **isoy-kw.***

Sous Idrisi (version utilisée 32 bits) :

- importation du fichier ArcView :

File/Import/Software-specific format/Esri Format/SHAPEIDR

On peut conserver le même nom de fichier.

On obtient un fichier vecteur en ligne, l'identifiant est un numéro de trait, les valeurs des pluies sont dans le fichier Access, colonne Id, visible avec *Database Workshop*.

- Transformation du fichier ligne en fichier point :

Reformat/LINTOPNT/

Choisir un nom de fichier : **pluies-pt-kw.***

- dans Database Workshop, créer un fichier de valeur : **pluies-pt-kw.avl**.

Export value file/

On choisit le lien (IDR-ID et le nom du champ à exporter : ID)

- créer un fichier point dont l'identifiant soit la pluie, avec le fichier de valeur.

Data entry/ASSIGN/Vector file/

Fichier d'origine **pluies-pt-kw** : fichier de sortie: **pluies-kw-pt** , fichier attribut **pluies-pt-kw.avl**

Il concerne tous les points « Pluies » du cadre initial ; il est nécessaire d'extraire les points situés dans le bassin versant.

2) Préparation des fichiers altitude

Dans le but d'établir une relation entre la pluie, l'altitude et les coordonnées géographiques. Il est nécessaire d'extraire l'altitude des points « Pluies ».

On reste sous Idrisi.

Passage en mode matriciel (raster) des points « pluies ».

Il faut d'abord préparer une image initiale qui sera ensuite renseignée.

- Image initiale:

Data entry/INITIAL/Define spatial parameters individually

Une fenêtre s'ouvre, il faut définir les coordonnées, on prend les valeurs du fichier vecteur proposées en arrondissant (valeur inférieures pour les min et valeurs supérieures pour les max) ; calculer le nombre de lignes et de colonnes en faisant les différences et en divisant par (1 : pixel 10x10).

Nom : **pluies-kw.***

Reformat/Raster Vector conversion/POINTRAS/

nom du fichier d'entrée : **pluies-kw-pt**; nom de fichier de sortie : **pluies-kw** ; sortie choisir la première opération

- extraire la partie correspondant au cadre de travail du bassin versant:

Reformat/WINDOW/

cocher existing window image (**koualé-bv**)

Nom du fichier de sortie : **pluies-kw-mnt-w**

Ce fichier comprend tous les pixels « Pluies » du cadre de travail, certains sont en dehors du bassin versant.

- préparation d'un masque pour la localisation de l'emplacement des données pluies.

Gis Analysis/Data Query/RECLASS/

cocher image, remplir : *Assign a value of 1 to all value from 1000 to just less 3000* (les pluies vont de 1500 mm à 2000 mm).

Image d'entrée : **pluies-kw-mnt-w** , image de sortie : **pluie-kw-mnt-1**

Cette dernière image a des valeurs de 1 à l'emplacement des données de pluies et zéro ailleurs ; il concerne toujours le cadre de travail.

- extraction des données altitude ; on utilise le fichier MNT (altitude) comme premier fichier que l'on multiplie par le masque.

GIS Analysis/Mathematical Operators/OVERLAY/

*first image : kw-mnt-bv; second image : pluie-kw-mnt-1; overlay options : First*Second, image en sortie : pluie-kw-mnt-z*

Le fichier MNT étant limité au bassin versant (valeur zéro en dehors), les pixels « Pluies » extérieurs sont donc éliminés.

- transformation de l'image précédente en mode vecteur

Reformat/Raster Vector conversion/POINVEC/

nom des fichiers ; entrée : **pluie-kw-mnt-z** sortie : **pluie-kw-mnt-z**

- créer un fichier de type x, y, z comprenant les coordonnées (x,y) et l'altitude (z).

File/export/General conversion/XYZIDR/Space delimited/

Nom de fichier de sortie : **pluies- kw-mnt-xyz.txt** (ne pas oublier txt).

Ce fichier comprend tous les pixels et leur altitude.

3) Préparation du fichier « Pluies ».

Le fichier **pluies-kw-mnt-w**

Il comprend tous les pixels « Pluies » du cadre de travail, il reste à éliminer les pixels « Pluies » extérieurs au bassin versant.

- on utilise comme masque le fichier **koualé-bv**, dont les points intérieurs au bassin versant sont à 1 et ceux à l'extérieur à 0. On multiplie les fichiers.

GIS Analysis/Mathematical Operators/OVERLAY/

*first image : pluies-kw-mnt-w; second image koualé-bv; overlay options : First*Second, image en sortie : pluie-kw-bv*

- transformation de l'image précédente en mode vecteur

Reformat/Raster Vector conversion/POINVEC/

nom des fichiers ; entrée : **pluie-kw-mnt-z** sortie : **pluie-kw-mnt-z**

- créer un fichier de type x,y,p comprenant les coordonnées (x,y) et la pluie (P).

File/export/General convers/XYZIDR/Space delimited/

Nom de fichier de sortie : **pluies-pt-kw-xyp.txt** (ne pas oublier txt).

Ce fichier comprend par ligne chaque point et en colonne x, y et pluies (séparateur espace).

4) Exportation du MNT au format x, y, z.

But avoir tous les pixels avec leurs caractéristiques géographiques (x, y) et d'altitude afin d'estimer la pluie pour chacun d'eux.

- Exporter le « mnt » au format XYZ

Il faut partir d'un fichier au format vecteur point

Reformat/Raster Vector conversion/POINVEC/

Nom du fichier d'entrée : **kw-mnt-bv**

Nom de fichier de sortie : **kw-mnt-bv**

Puis:

File/export/General convers/XYZIDR/Space delimited/

Nom du fichier d'entrée : **kw-mnt-bv**

Nom de fichier de sortie : **pluies-koualé-bv-xyz.txt** (ne pas oublier txt)

Ce fichier comprend tous les pixels et leur altitude.

5) Relation P f(x, y, z)

Les fichiers texte **pluies-pt-kw-xyp.txt** et **kw-mnt-xyz.txt** comprennent tous deux les données X et Y et l'un la pluie l'autre l'altitude de chaque point de pluie. Il faut maintenant créer un fichier comprenant les quatre paramètres afin d'établir la relation liant P à x, y, z..

Sous Excel

- on récupère les deux fichiers précédents :

Fichier/ouvrir/fichier texte

On sélectionne la colonne altitude C dans la fenêtre contenant **kw-mnt-xyz.txt** que l'on place en colonne D de la fenêtre contenant **pluies-pt-kw-xyp.txt**. On insère une première ligne où on renseigne les titres des quatre colonnes : X, Y, pluies, altitude.

On constate qu'il y a une légère différence (inférieure au mètre) entre les coordonnées issues des deux fichiers.

On sauve le fichier sous Excel : **kw-xyap.xls** et en mode texte (séparateur tabulation : **kw-xyap.txt**

Si la version Excel permet les régressions multiples calculer une régression multiple entre la pluie et X, Y et altitude ; très forte corrélation ; noter l'équation de la formule de régression.

Outils/outils d'analyse/régression linéaire

Pluie = - 0,0810268*X + 0,08878962*Y - 0,096746*altitude - 718357,35

(NB : Le tableur Quattro Pro 8 a été utilisé).

6) Préparation du modèle pluies :

Pluies fonction des coordonnées X et Y et de l'altitude).

Sous Winstat (les tableurs ne sont pas utilisables car il y a trop de lignes)

- importer le fichier texte : **pluies-koualé-bv-xyz.txt**

Fichier/importer/cocher ASCII/choix du séparateur de valeur : tabulation.

Création de la donnée pluie

Variable/ajouter valeur numérique/calculer formule/formule/

Ecrire la formule dans l'emplacement/OK

Sauver éventuellement le fichier au format Winstat : **kw-pest.wst**

Sélectionner les colonnes X, Y et pluies, créer un nouveau tableau :

Fichier/nouveau tableau

Y mettre les colonnes copiées :

Edition/Coller variables

Exporter ce fichier en ASCII.

Fichier/export/ASCII/ séparateur espace

Nom : **kw-pest.txt**

Sous Idrisi

Importer le fichier de type X, Y, Z

File/import/General convers/XYZIDR/Space delimited/

Nom du fichier d'entrée : **kw-pest.txt**

Nom du fichier de sortie : **kw-pest** (fichier point)

Reference system : plane

Il reste à transformer ce fichier point qui est un quadrillage régulier issu d'un fichier matriciel (raster) en fichier raster.

Reformat/Raster Vector conversion/POINTRAS/

Nom des fichiers, entrée : **kw-pest** ; sortie : **kw-pest** choisir la première opération.

On peut visualiser le fichier obtenu ; on constate quand on superpose les isohyètes, une influence très importante de la longitude au détriment de l'altitude.

Il est nécessaire d'utiliser une autre méthode en complément.

7) Interpolation des données pluies à l'aide de la méthode TIN.

On part du fichier pluies complet en point.

Gis Analysis/Surface analysis/interpolation/TIN interpolation/Tin/

Cocher *points* et *Create raster surface*

Fichier en entrée : **pluies-kw-pt**

Fichier en sortie tin : **pluies-kw-pt-tin**

Fichier en sortie raster : **pluies-kw-pt-tin**

Une fenêtre s'ouvre demandant les colonnes et les lignes du fichier raster, faire le calcul en fonction des coordonnées min et max en X et Y, pixel de 10 m sur 10 m.

- extraire la partie correspondant au cadre de travail :

Reformat/WINDOW/ cocher existing window image (koualé-bv)

Nom d'entrée de sortie : **pluies-kw-pt-tin**

Nom du fichier de sortie : **pluies-kw-tin-2**

Observer le fichier.

Vérifier le nombre de lignes et de colonnes.

- extraire la partie concernant le bassin versant :

GIS Analysis/Mathematical Operators/OVERLAY/

*first image : pluies-kw-tin-2; second image : Koualé-bv; overlay options : First*Second, image en sortie : pluies-kw-tin-2-bv*

8) synthèse des deux fichiers pluies.

On utilise la valeur maximale de chaque image.

GIS Analysis/Mathematical Operators/OVERLAY/

first image : kw-pest; second image : pluies-kw-tin-2-bv overlay options : Maximum, image en sortie : kw-pluies-ma

Comparaison de deux démarche: photo aérienne et image satellitaire