

## Résumé

# Etudes scientifiques dans la Réserve de Biosphère de la Pendjari (Bénin, Afrique de l'Ouest)

Dr. Tillmann Buttschardt  
Dipl.-Geoökol. Anne Kress  
Dipl.-Geoökol. Juliane Masuch  
Dipl.-Geoökol. Lisa Oberkircher  
Dipl.-Geoökol. Dieter v. Ceumern  
Dipl.-Geoökol. Saskia Ziemann

Traduction: Dipl.-Geoökol. Susanne Miethaner

Karlsruhe, le 30.11.2006

### **Géographie et Géoécologie I**

Kaiserstr. 12, Geb. 10.50  
76131 Karlsruhe  
Tel.: (07 21) 6 08-0  
Fax: (07 21) 69 67 61

[www.bio-geo.uni-karlsruhe.de](http://www.bio-geo.uni-karlsruhe.de)

## Contenu

<b>1</b>	<b>Situation initiale, objectif et réalisation.....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Elaboration de cartes et de matériels informatifs avec le but d'établir un atlas du parc national .....</b>	<b>6</b>
2.1	Situation initiale.....	6
2.2	Résultats.....	6
<b>3</b>	<b>Feu: Investigations sur une gestion des feux pratique .....</b>	<b>7</b>
3.1	Introduction - Problème et objectif.....	7
3.2	Les feux dans la réserve de biosphère de la Pendjari - Facteurs d'influence.....	7
3.3	Méthodes .....	8
3.3.1	Feux expérimentaux: la structure de la végétation.....	9
3.3.2	Feux expérimentaux: Mesurage des températures .....	9
3.3.3	Feux expérimentaux: exécution dans le terrain.....	9
3.3.4	Feux expérimentaux: Effets .....	10
3.3.5	Cartographie des Pare-feux.....	10
3.4	Résultats.....	11
3.4.1	Feux expérimentaux .....	11
3.4.2	Paramètres de feu .....	11
3.4.3	Températures aériennes.....	11
3.4.4	Températures dans le sol .....	11
3.4.5	Températures dans les touffes d'herbes .....	11
3.4.6	Dégâts à la strate arborée .....	11
3.4.7	Repousse dans la strate herbacée .....	12
3.4.8	Les parcelles brûlées en avril .....	12
3.4.9	Pare-feux .....	12
3.5	Discussion .....	12
3.5.1	Feux expérimentaux .....	12
3.5.2	Pare-feux .....	13
3.6	Conception de mesures et perspective .....	14
3.6.1	Conception de mesures.....	14
3.6.2	Considérations fondamentales sur la viabilité .....	14
3.6.3	La gestion des feux en corrélation avec le zonage de la réserve de biosphère ....	14
3.6.4	Le moment du brûlage.....	14
3.6.5	Technique de brûlage .....	15
3.6.6	Pare-feux .....	16
3.6.7	Tourisme.....	17
3.6.8	Documentation.....	17
<b>4</b>	<b>Investigations hydrologiques sur le régime des eaux de la Mare Diwouni et de la Pendjari.....</b>	<b>19</b>
4.1	Introduction .....	19
4.1.1	La Pendjari.....	20
4.1.2	La Mare Diwouni .....	20
4.2	Recherche dans le terrain .....	21

4.2.1	Mesures d'écoulement.....	21
4.2.2	Cartographie .....	22
4.3	Modélisation.....	23
4.4	Résultats et propositions .....	29
4.4.1	Le régime des eaux de la Mare Diwouni .....	29
4.4.2	Mesures hydrotechniques.....	29
<b>5</b>	<b>Stratégies sur la gestion des usages du sol dans la commune riveraine de Pouri ...</b>	<b>31</b>
5.1	Introduction .....	31
5.2	Méthodes .....	32
5.2.1	Cartographie .....	32
5.2.2	Le Sol.....	32
5.3	Résultats.....	32
5.3.1	Investigations pédologiques .....	32
5.3.2	Cartographie des usages du sol .....	32
5.4	Discussion .....	39
5.4.1	Développement des sols .....	39
5.4.2	Potentiel du sol .....	39
5.5	Conception.....	40
5.5.1	Usage de feu.....	40
5.5.2	Réduire l'érosion.....	41
5.5.3	Gestion du bois.....	41
5.5.4	Amélioration du régime des substances nutritives des sols .....	41
5.5.5	Exemple de mesures 1: Gestion du bois.....	41
5.5.6	Exemple de mesures 2: Amélioration du régime des substances nutritives des sols.....	42
<b>6</b>	<b>Littérature .....</b>	<b>43</b>

## Table de figures

Fig. 3.1:	Relations entre les composantes du régime des feux et l'intensité de feu, et entre elles-même (d'après HAMMEN 2000:59, changé) .....	8
Fig. 3.2:	Distribution spatiale des jalons et des plaquettes dans la végétation pour le mesurage des températures du feu .....	10
Fig. 3.3:	Diagramme de décisions pour le brûlage correspondant aux facteurs d'influence ..	16
Fig. 3.4:	Aperçu de la conception des mesures .....	18
Fig. 4.1:	Schéma de l'arrangement de l'investigation .....	19
Fig. 4.2:	Situation de l'aire d'investigation dans la Réserve de Biosphère de la Pendjari .....	20
Fig. 4.3:	Profil (d = largeur, h = profondeur) et vitesses d'écoulement (Vo) de la Pendjari près du passage de la frontière de Arli .....	22
Fig. 4.4:	Aperçu du modèle d'écoulement et de précipitations, les conditions initiales du modèle et le réseau sous-jacent .....	23

Fig. 4.5:	Mars – profondeurs de l'eau et paramètres calculés .....	24
Fig. 4.6:	Avril – profondeurs de l'eau et paramètres calculés .....	25
Fig. 4.7:	Mai – profondeurs de l'eau et paramètres calculés .....	25
Fig. 4.8:	Juin – profondeurs d'eau et paramètres calculés .....	26
Fig. 4.9:	Vecteurs d'écoulement dans la Rigole 5 – juin (à gauche) et juillet (à droite) .....	26
Fig. 4.10:	Juillet – profondeurs de l'eau et paramètres calculés .....	27
Fig. 4.11:	Août – profondeurs de l'eau et paramètres calculés.....	28
Fig. 4.12:	Vecteurs d'écoulement dans la Rigole 5 – août (à gauche) et septembre (à droite) .....	28
Fig. 4.13:	Septembre – profondeurs d'eau et paramètres calculés .....	29
Fig. 5.1:	Objectifs et composantes d'une gestion des usages du sol dans une commune riveraine de la Réserve de Biosphère de la Pendjari .....	31

## Table de tableaux

Tab. 4.1:	Paramètres hydrodynamiques du calcul du débit avec le programme BIBER .....	22
-----------	---	----

## 1 Situation initiale, objectif et réalisation

Dans la Réserve de Biosphère de la Pendjari dans le nord-ouest du Bénin sont développées et installées depuis quelques années avec l'aide de la Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) une Direction du Parc National (DPNP) et l'infrastructure correspondante. Le Projet Pendjari (Cotonou), qui est porté par la GTZ et qui est continué actuellement sous compétence du ProCGRN, et l'Institut de géographie et géoécologie de l'Université de Karlsruhe (IfGG) ont arrangé en 2003 une coopération dans laquelle l'IfGG élabore sous forme d'études scientifiques des contributions pour la surveillance et la gestion du parc. Ces investigations devraient être effectuées comme projets de fin d'études, localisées dans le cursus d'études de géoécologie ou des matières correspondantes, et subventionnées par la GTZ.

Les sujets traités résultaient des problèmes formulés par le "service écologie" de la DPNP. Ils sont donc tous étroitement liés aux besoins et aux questions de la direction du parc, ils sont intégrés aux systèmes d'information géographique locaux (SIG) locaux ou au développement de ceux-là, et les chercheurs se rendent nécessairement dans le terrain.

Les sujets suivants ont été traités:

- Information: Elaboration de cartes et de matériels informatifs avec le but d'établir un atlas du parc national (chapitre 2)
- Feu: Investigations sur une gestion des feux pratique (chapitre 3)
- Les eaux: Investigations hydrologiques sur le régime d'eau de la mare Diwouni et de la Pendjari (chapitre 4)
- Science des sols/usage des sols: Enregistrement de la situation des sols et de substances nutritives, et des paramètres de l'usage des terres dans une des communes riveraines (chapitre 5)

Les cartes peuvent également être téléchargées de la site web du projet: <http://www.bio-geo.uni-karlsruhe.de/ifgg1/projekte/pendjari/index.htm>

## **2 Elaboration de cartes et de matériels informatifs avec le but d'établir un atlas du parc national**

### **2.1 Situation initiale**

Au début de la coopération il n' y avait guère de cartes détaillées sur le territoire du parc. En particulier il faut de matériels qui contribuent aux relations publiques et à l'actualisation du Plan d'Aménagement et de Gestion de la Réserve de Biosphère de la Pendjari.

### **2.2 Résultats**

Fondant sur les travaux préliminaires effectués à l'Institut de géographie et géoécologie de l'université de Karlsruhe par ZOMAHOUN (2002) et à base des indications de la DPNP Tanguéta ont été élaborées les cartes suivantes:

- Carte Touristique  
Outre la topographie et les pistes existantes/envisagées, elle contient aussi des indications sur les hôtels et les campings, et le ravitaillement quotidien.
- Carte de Zonage  
Dans la carte de zonage sont montrées les différentes zones protégées.
- Carte de Végétation  
Cette carte est la réalisation cartographique de l'évaluation des photo-satellites de POFAGI 2002.
- Carte de Végétation des Aires prioritaires  
Cette carte représente la composition des formations végétales selon l'évaluation des photo-satellites de POFAGI 2002 dans deux zones centrales du parc national et les quantifie.
- Carte des parcelles expérimentales  
Représentation des parcelles expérimentales de la groupe de travail de Karlsruhe ainsi que celles des investigations sur l'ichthyofaune de Grell.

Les cartes ainsi que le brouillon de l'atlas du Parc National décrit peuvent être téléchargés sur: <http://www.bio-geo.uni-karlsruhe.de/ifgg1/projekte/pendjari/aktuell.htm>.

### 3 Feu: Investigations sur une gestion des feux pratique

#### 3.1 Introduction - Problème et objectif

Ce chapitre se fonde sur l'étude de KRESS (2005)<sup>1</sup> et traite le problème des feux resp. le problème de la gestion des feux dans la réserve de biosphère de la Pendjari. Pour la Direction du parc, l'emploi du feu joue un rôle essentiel dans la gestion du parc, en particulier la formation locale, la fréquence et la date de brûlage. La propagation et le cours spatial et temporel des feux sont cependant difficiles à contrôler jusqu'à présent, rendant plus difficile la gestion des feux ciblée.

Cette étude essaie de gagner des connaissances nouvelles pour la gestion des feux pratique en se servant des feux expérimentaux. Le cours spatial et temporel des feux, la distribution de la température en hauteur, les températures du sol ainsi que d'autres paramètres mesurables accompagnant le feu, et leur dépendance des structures végétales sont particulièrement intéressants. A côté de cela, les effets du feu sont observés, cela comprenant l'enregistrement des dégâts dans la strate arborée et la documentation de la repousse dans la strate herbacée.

Les dates relevées ont été analysées pour développer une conception de mesures permettant l'élaboration des stratégies de gestion appropriées pour le plan d'entretien et de développement – des stratégies qui suffisent aux exigences de la protection d'une réserve de biosphère et qui sont personnellement et financièrement réalisables sur place.

Les questions suivantes y sont particulièrement importantes:

- Est-ce que la gestion des feux actuelle dans la réserve de biosphère de la Pendjari correspond aux critères UICN pour une réserve de biosphère MAB?
- Est-ce que la date de brûlage décide sur le caractère d'un feu?
- Est-ce que les feux ont vraiment les effets qu'on leur attribut?
- Est-ce que la gestion des feux actuelle peut être améliorée resp. élargie?

#### 3.2 Les feux dans la réserve de biosphère de la Pendjari - Facteurs d'influence

La dimension d'un feu et l'effet sur un écosystème dépendent d'une série de facteurs, dites régime des feux (figure 3.1). Le climat contrôle le temps actuel et, par l'état actuel de la végétation, l'accumulation des combustibles. C'est ainsi que le climat influence directement et indirectement la fréquence des feux. Celle-ci influence la structure de la végétation et ainsi, par la composition de la biomasse combustible, l'intensité des incendies. Dans des cas extrêmes on peut observer la sélection d'espèces. En plus, la fréquence ou bien la durée de l'intervalle entre deux incendies influence l'accumulation de combustibles et affecte donc l'intensité du feu. Le temps actuel influence également l'intensité du feu, par les paramètres température d'air, humidité atmosphérique et vitesse du vent. Ensuite l'intensité du feu est influencée par le moment de l'incendie. Selon la saison, le sol et la végétation ont une différente humidité résiduelle et affectent ainsi crucialement le cours du feu. L'étendue des incendies joue un rôle important lors de la

---

<sup>1</sup> KRESS, A. (2005) : Gestion des feux pratique dans la réserve de biosphère de la Pendjari (Bénin, Afrique de l'ouest), projet de fin d'études à l'institut de géographie et géoécologie de l'université de Karlsruhe par Anne Kress.

repousse après un tel incendie. Elle est en interaction avec l'intensité du feu et est donc un facteur central pour les effets écologiques (HAMMEN 2000:58f.).

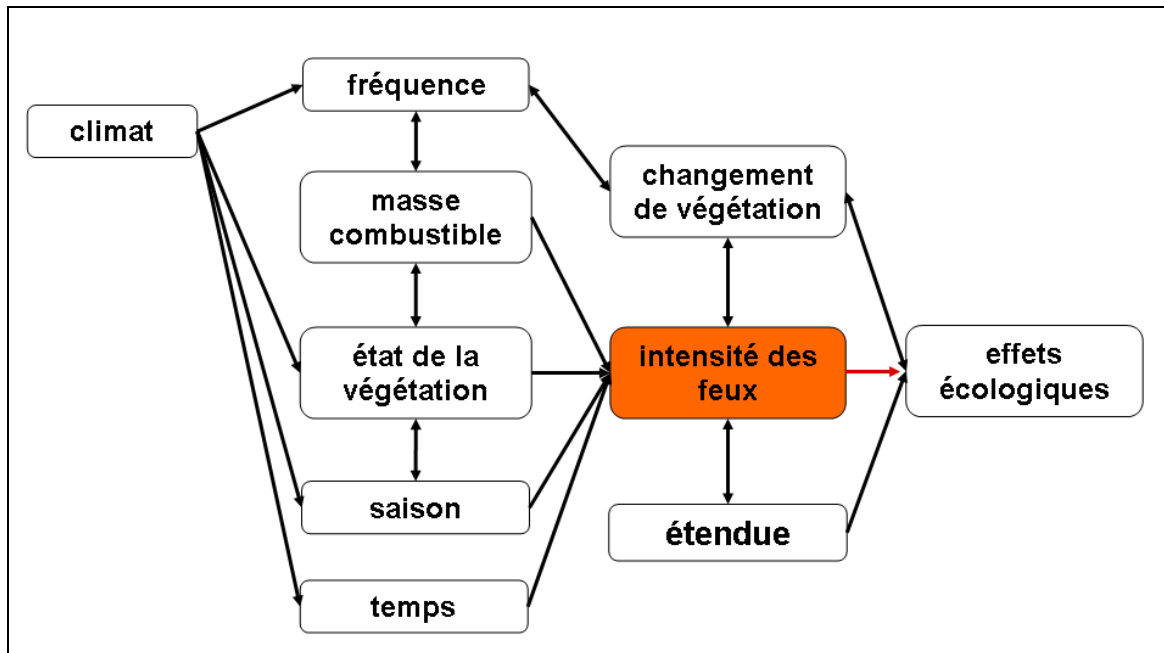


Fig. 3.1: Relations entre les composantes du régime des feux et l'intensité de feu, et entre elles-mêmes (d'après HAMMEN 2000:59, changé)

Outre ceux qui sont traités ici, autres facteurs peuvent considérablement affecter la dimension, le caractère et les effets des feux, p.ex. des interventions anthropiques.

Il y a plusieurs approches pour calculer les paramètres de feu, p.ex le modèle de Rothermel qui a été développé en 1972 (BACHMANN et al. 1997). Il essaie de décrire quantitativement le cours local du feu. Le modèle a besoin d'informations sur le terrain, les combustibles, la situation des vents et l'humidité des combustibles. Les résultats les plus importants sont des prévisions sur la direction de propagation principale et sur la vitesse de propagation (BACHMANN et al. 1997). Les résultats du modèle ne peuvent cependant pas être plus exacts que les conditions initiales. Si les conditions initiales ne sont que des estimations, ce fait ne doit pas être négligé.

### 3.3 Méthodes

Pour apprécier si les feux ont vraiment les effets qui leur sont attribués et pour gagner de nouvelles connaissances pour la gestion des feux pratique, il faut trouver des facteurs quantifiables qui caractérisent un feu et qui permettent des déductions sur son intensité.

Une conception de feux expérimentaux a été développée, mettant au centre le mesurage des températures aériennes et souterraines pendant le feu. Il est accompagné par des investigations sur la structure de la végétation, sur des paramètres accompagnant le feu, et sur les dégâts à la végétation. L'intensité de feu empiriquement connue ne sera pas appliquée dans cette étude. Par contre, des paramètres qui caractérisent le feu, comme la vitesse et la hauteur des flammes ont été inclus en plus du mesurage de la température.



En somme, la conception des feux expérimentaux a été appliquée du 1er décembre 2004 jusque au 27ème janvier 2005 sur douze parcelles expérimentales. En plus, les dates de deux autres parcelles expérimentales, brûlées au début d'avril 2005, ont été évaluées. Les parcelles expérimentales ont été choisies tellement que des formations végétales différentes soient considérées, ce qui a permis de connaître des relations entre paramètres de feu et formations végétales.

Outre les feux expérimentaux les pare-feux existants ont été cartographiés pour documenter la gestion des feux actuelle et la pratique de brûlage. La cartographie s'est effectuée au milieu du mois de janvier 2005.

### **3.3.1 Feux expérimentaux: la structure de la végétation**

Avant de brûler une parcelle, les différentes strates végétales dans celle-ci ont été enregistrées.

Dans le terrain la végétation a d'abord été esquissée. La hauteur et le recouvrement des strates ont été mesurés resp. appréciés. Dans les strates buissonnantes et arborées, les espèces ont été déterminées, afin de savoir si le feu influence la composition des espèces ligneuses.

### **3.3.2 Feux expérimentaux: Mesurage des températures**

Pour le mesurage des températures ont été choisies des couleurs qui changeaient selon la température. Les produits MC150-12, MC153-14 und MC490-10 de l'entreprise Karger GmbH (Dietzenbach, Allemagne) ont été appliqués. « MC » signifie Multicolour-Change, car les couleurs ont plusieurs changements de couleurs à plusieurs températures. La combinaison des trois couleurs recouvrait des températures de 150 à 1250 °C. Les couleurs ont été passées sur des plaquettes d'acier de l'entreprise Band-it.

### **3.3.3 Feux expérimentaux: exécution dans le terrain**

Les parcelles expérimentales ont été choisies selon deux aspects: d'un côté, les parcelles devaient représenter autant que possible les différentes formations végétales. De l'autre côté, la végétation y devait être assez homogène, et elles ne devaient pas encore être brûlées dans la saison sèche 2004/2005.

Après l'arpentage de la parcelle, la structure de la végétation a été enregistrée et retenue dans une esquisse. S'il y avait déjà des dégâts dans la strate arborée, cela a été noté. Puis les plaquettes ont été attachées.

Pour cela ont été construits des jalons de fer qui portaient trois traverses à 2,5 m, 1 m et 0,5 m de hauteur. La dernière servait de pied, de sorte que dans le terrain la hauteur des plaquettes sur les traverses faisait 0,5 m resp. 2 m.

La figure 3.2 montre la distribution spatiale des jalons, ainsi que la mise des plaquettes sur les arbres et dans les touffes d'herbes.

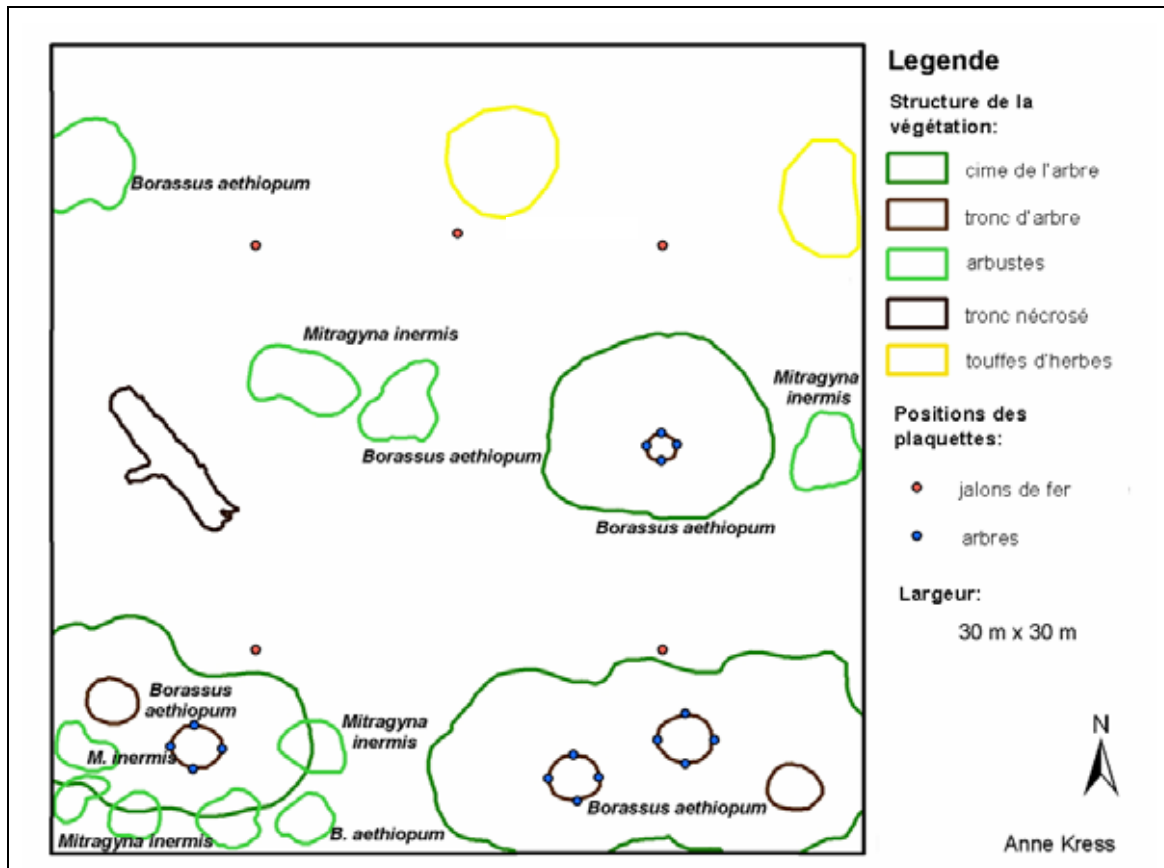


Fig. 3.2: Distribution spatiale des jalons et des plaquettes dans la végétation pour le mesurage des températures du feu

Outre les plaquettes ont été installés deux dataloggers, chaque avec trois détecteurs PT100, de sorte que deux quadrants différents en ont été représentés. Les dataloggers ont été enfouis à 30 cm de profondeur, les détecteurs à 2 cm.

### 3.3.4 Feux expérimentaux: Effets

Les dégâts à la strate arborée ont été enregistrés avant et après le brûlage. La base du tronc, le tronc et le houppier ont été investigés séparément s'il y avait de traces visibles des feux anciens ou actuels. Si elle était frappante (p.ex. particulièrement sèche ou absente), la feuillaison a aussi été notée.

La repousse des douce parcelles a été contrôlée après l'incendie en mesurant la repousse moyenne et maximale. Des particularités, comme une repousse dans la strate buissonnante, ont aussi été notées et traitées sous forme de tableau. La contrôle a eu lieu entre le 18ème et le 20ème de janvier 2005. La période entre le brûlage et la contrôle a donc duré entre 10 et 36 jours.

### 3.3.5 Cartographie des Pare-feux

Le cartographie a été réalisée entre le 18ème et le 20ème de janvier 2005. Elle a été limitée sur les zones centrales et tampon.

Un récepteur GPS de l'entreprise Thales y a été utilisé. Le mesurage de la profondeur absolue des pare-feux brûlés a été effectué avec un appareil de mesure de distance de l'entreprise

Bushnell. Il faut tenir compte du fait que les distances n'ont pas été mesurées plus loin que 200 m.

### **3.4 Résultats**

#### **3.4.1 Feux expérimentaux**

Douze parcelles (B01-01 bis B01-12) ont été brûlées dans le territoire du parc national (zones tampon) et dans la zone de développement. Deux autres parcelles (B02-01 und B02-02) qui ont été brûlées en avril sont aussi inclus ici.

#### **3.4.2 Paramètres de feu**

La hauteur moyenne des flammes faisait 0,6 m (parcelle B01-05) à 7,5 m (B02-04). La hauteur maximale variait encore plus: trois parcelles (B01-05, B01-09 et B01-10) y montraient seulement 3 m, tandis que dans les parcelles B01-04 et B01-06 la hauteur maximale des flammes montait jusqu'à 15 m.

La vitesse du front de flammes, mesurée en m/s, était la plus grande dans la parcelle B01-06 avec  $42,3 \times 10^{-2}$  m/s. Beaucoup plus lent était le front de flammes dans la parcelle B01-05, qui bougeait seulement avec une vitesse de  $1,5 \times 10^{-2}$  m/s.

#### **3.4.3 Températures aériennes**

De chaque parcelle, toutes les plaquettes à 0,5 m et 2 m de hauteur ont été évaluées. Les plaquettes à 4 m de hauteur ont été négligées, car il y en avait – faute d'arbres assez hautes – trop peu pour une interpolation raisonnable.

En général, on peut constater que les parcelles ont brûlé assez différemment. Les températures pendant les incendies varient entre 0 °C (pas de feu) et 800 °C. Des températures plus hautes n'ont pas été mesurées. Les deux parcelles brûlées en avril ne montrent pas de températures plus hautes que celles brûlées en décembre et en janvier.

#### **3.4.4 Températures dans le sol**

Les températures dans le sol faisaient et avant, et pendant et après l'incendie entre 17 °C et 39,4 °C.

#### **3.4.5 Températures dans les touffes d'herbes**

Il n'y avait pas dans les touffes d'herbes des températures au-dessus de 200 °C, tandis que les températures hors des touffes atteignaient jusqu'à 500 °C.

Dans 95 % des touffes d'herbes la température se situe entre la température extérieure et 150 °C (classe de température 1). 5 % font partie de la classe de température 2 (150-200 °C). Les autres classes de température n'apparaissent pas.

#### **3.4.6 Dégâts à la strate arborée**

La strate arborée des douze parcelles est composée très différemment. Puisque le nombre d'arbres dans les parcelles ne suffit pas pour une évaluation séparée, l'ensemble de tous les arbres sera évalué ici. 74 Arbres dans les douze parcelles ont été évalués avant et après l'incendie. De cela résulte le moyen de 6,2 arbres par parcelle, et – avec une surface totale de 360 m<sup>2</sup> – le nombre moyen d' environ 0,2 arbres par m<sup>2</sup>. 17 espèces de sept familles ont été

trouvées, dont dominantes *Acacia sieberiana* et *Crossopteryx febrifuga*. Tandis que *Acacia sieberiana* n'apparaissait qu'en forme de peuplement pur dans la parcelle B01-02, *Crossopteryx febrifuga* était parsemé de manière répétée dans les parcelles.

A la base du tronc, presque 34 % des arbres n'ont montré aucune influence du feu. Au houppier, environ 40 % n'ont pas été influencés, et au tronc 25 %.

Les strates bouissonnante et herbacée ont brûlé très différemment, leur état allant de « à peine brûlée » jusqu' à « presque totalement brûlée ». Dans les parcelles B01-05 et B01-09, le degré de recouvrement de la strate herbacée a été réduit de 20 % resp. 10 %.

### 3.4.7 Repousse dans la strate herbacée

La hauteur de la repousse est très variable. Les valeurs moyennes montent de 4 à 22 cm, les maximums de 6 à 40 cm. A cela s'ajoute que la repousse ne montre pas la même régularité dans toutes les parcelles. La strate arborée ou bouissonnante n'avait repoussé dans aucune des parcelles.

### 3.4.8 Les parcelles brûlées en avril

Deux autres parcelles ont été brûlées le 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> avril 2005. Elles se trouvent les deux dans le nord du parc entre la Mare Fogou et la Mare Tiabiga.

La distribution de la température dans les deux parcelles diffère. Dans la parcelle B02-01, la température à 0,5 m de hauteur varie entre 150 °C et 400 °C. Le maximum se trouve dans le quadrant sud-ouest, le minimum dans le nord. A la hauteur de 2 m, les températures tournent autour de 150 °C à 300 °C. Le maximum se trouve ici dans le quadrant sud-est. Dans la strate arborée les températures à 0,5 m de hauteur tournent autour de 150 °C à 450 °C. Les trois maximums ponctuels se trouvent tous dans le quadrant sud-ouest. A 2 m de hauteur cependant, la parcelle fait voir des températures homogènement distribuées, entre 150 °C et 250 °C.

### 3.4.9 Pare-feux

Pourvu que les pare-feux ont besoin de 200 m de profondeur minimale de chaque côté de la piste, la surface des pare-feux à brûler se chiffre à 83,81 km<sup>2</sup>. Au moment de la cartographie en avaient été brûlés 56,75 km<sup>2</sup> (67,7%), et 27,06 km<sup>2</sup> non-brûlés ou brûlés insuffisamment. Brûlé insuffisamment signifie que l'aire n'était pas brûlée sans interruptions ou jusqu'à une profondeur insuffisante, et que les conditions d'un pare-feux n'étaient donc pas satisfaites. Pour évaluer si la fonction protectrice est réalisée, cette fraction joue un rôle mineur. C'est pourquoi elle sera négligée ici.

## 3.5 Discussion

### 3.5.1 Feux expérimentaux

#### 3.5.1.1 Feux dans les parcelles expérimentales

Il est clair que le moment du brûlage – ne défini que par la date – n'est pas significatif et qu'il faut modifier les termes du Feu précoce et Feu tardif contrairement à la manière comme ils sont appliqués actuellement par la Direction du Parc. Il y a des approches dans la littérature de définir les termes par autres caractéristiques. LANGE (2001:2) p.ex. définit le terme Feu précoce par l'humidité résiduelle dans la végétation: Au maximum deux tiers d'herbes jaunes – donc

sèches – sont tolérés afin qu'un feu soit considéré comme Feu précoce.

### **3.5.1.2 Températures dans le sol**

On peut constater en raccourci qu'un feu n'influence les températures dans le sol que proche de la surface et à courte durée. A 2 cm de profondeur l'effet est encore démontrable, mais n'atteint plus des valeurs significatives. L'influence de l'insolation thermique augmentée après l'incendie n'a pas été investiguée. Il est pourtant probable qu'elle soit plus importante pour l'écosystème que l'effet direct des températures du feu.

### **3.5.1.3 Dégâts à la strate arborée**

La composition des formations végétales peut être contrôlée indirectement par la gestion des feux. Pour diminuer la fraction ligneuse, il ne faut pas raccourcir les intervalles entre les brûlages, mais plutôt augmenter la masse des combustibles resp. blesser ciblément la base du tronc.

### **3.5.1.4 Repousse dans la strate herbacée**

La repousse dans la strate herbacée montre que le feu est capable d'y induire le rajeunissement resp. le renouvellement.

Le fait que la strate herbacée a repoussé dans presque toutes les parcelles, malgré le cours du feu et les températures très différents, fait supposer que les températures pendant l'incendie ne soient pas importantes pour la repousse après l'incendie.

En projetant une gestion des feux il faut tenir compte du fait que la repousse de la strate herbacée fourne une pâture attractive à beaucoup d'espèces d'antilopes qui est souvent préférée aux brins secs. Les pare-feux près des pistes peuvent donc à la fois améliorer la vue sur les animaux pour le tourisme.

## **3.5.2 Pare-feux**

Il a été montré que malgré les indications contradictoires du Plan d'incinération, les pare-feux n'avaient pas été brûlés jusqu'à la fin de janvier. Il est à supposer que la Direction du Parc manque de personnel pour brûler tous les pare-feux à temps et pour les contrôler.

En général, il est à discuter si la surface des pare-feux devrait être considérablement réduite, rendant possible le brûlage complet et à temps. Il serait possible p.ex. de placer les pare-feux seulement à un côté de la piste. Des pare-feux à un côté seraient absolument suffisants sauf si un feu prend la piste comme point de départ.

Pour réaliser cette façon de procéder il serait nécessaire d'instruire détaillément les touristes, afin de les sensibiliser au problème de feu dans le parc et de les demander de ne pas provoquer un feu émanant de la piste. Il semble raisonnable de placer le pare-feux sur la côté de la piste étant voisine à la zone écologiquement plus sensible. P.ex. la piste menant de Porga à Arli est accompagnée à portée de vue d'une forêt galerie au nord-ouest resp. au nord. Il y est important de placer un pare-feux constante au côté de la forêt galerie pour la protéger durablement contre les feux anthropiques.

## **3.6 Conception de mesures et perspective**

### **3.6.1 Conception de mesures**

La question de savoir quand et où brûler dans la réserve de biosphère dépend de l'objectif qui est fixé dans le plan d'entretien et de développement par la Direction du parc. La question des objectifs dans la réserve de biosphère et de la probabilité de pouvoir les réaliser faut alors être mise devant le développement d'une conception de gestion des feux. Les différentes formations végétales peuvent être favorisées ou refoulées, et par le moment de brûlage (relatif à l'état de la végétation), et par la fréquence des feux. Des objectifs de développement clairement formulés pour les différentes zones de la réserve de biosphère sont la condition préalable de chaque gestion des feux.

### **3.6.2 Considérations fondamentales sur la viabilité**

Afin de réaliser une gestion des feux plus d'envergure que jusqu'à présent, sans augmenter l'état financier et personnel, il est nécessaire de réduire la surface à brûler d'actuellement 80 % à environ 10 % de la surface de la réserve de biosphère.

### **3.6.3 La gestion des feux en corrélation avec le zonage de la réserve de biosphère**

En considérant les critères UICN sur une réserve de biosphère UNESCO MAB (UNESCO 1996), les conditions suivantes peuvent être formulées pour les zones différentes:

- exclusion absolue de feux anthropiques des zones centrales;
- aucun feu anthropique dans les aires écologiquement sensibles qui se trouvent hors des zones centrales (p.ex. forêt galerie ou mare);
- brûlage réglé dans les zones tampons pour la conservation d'habitats établis anthropiquement par une haute fréquence de feu;
- brûlage réglé dans les zones tampons en corrélation avec différents objectifs et usages.

En général, il est proposé ici de changer le tracé actuel des zones pour que le zonage et les activités de la gestion des feux ne soient pas contradictoires.

En outre les zones centrales semblent être délimitées plutôt arbitrairement que selon des considérations floristiques et faunistiques.

### **3.6.4 Le moment du brûlage**

Les termes Feu précoce et Feu tardif ne devraient plus être définis par la date, mais en corrélation avec l'humidité résiduelle dans la strate herbacée :

- Les feux précoces sont tous les feux mis au moment où l'humidité résiduelle de la strate herbacée est au moins un tiers.
- Tous les feux mis au moment où l'humidité résiduelle de la strate herbacée est moins qu'un tiers, sont des feux tardifs.

En plus, il faut trouver autres facteurs influant le feu, en forme d'indices qui caractérisent un feu et ses effets et qui peuvent être déterminés d'une façon vite et sûre dans le terrain. La direction et la vitesse du vent semblent particulièrement convenables, car leur détermination n'a besoin que de ressources simples (boussole et anémomètre). Une gestion des feux raisonnable devrait:

- éprouver expérimentalement une combinaison des indices caractérisant le feu, afin que les effets du feu puissent être estimés immédiatement avant le brûlage et qu' on puisse renoncer au brûlage le cas échéant.
- La combinaison des paramètres climatiques avec l'humidité y paraît particulièrement convenable.

### 3.6.5 Technique de brûlage

A présent, seulement une technique de brûlage est appliquée dans le réserve de biosphère: Le feu est mis à l'aide d'une allumette, sortant de la piste avec le vent. Il n'est pas corrigé jusqu' à ce qu' il s'éteigne de soi-même. La question si le feu est mis à un endroit sensible, où il faut brûler précisément, p.ex. près des zones écologiquement sensibles, ne joue aucun rôle.

Une gestion des feux d'envergure devrait:

- dans les aires exigeant le brûlage précis: comparer les différentes techniques de brûlage contrôlé, p.ex. l'application des contre-feux en combinaison avec fauchage précédant, et en choisir celles qui paraissent convenables;
- remplacer dans ces aires l'usage d'allumettes par des techniques adéquates.
- dans les aires où le brûlage diffuse/imprécis n'aura pas d'effets négatifs: continuer la technique traditionnelle.

La figure 3.3 montre un diagramme de décisions. Il peut être utilisé sur place pour décider en considérant différents aspects s'il est convenable de brûler où non.

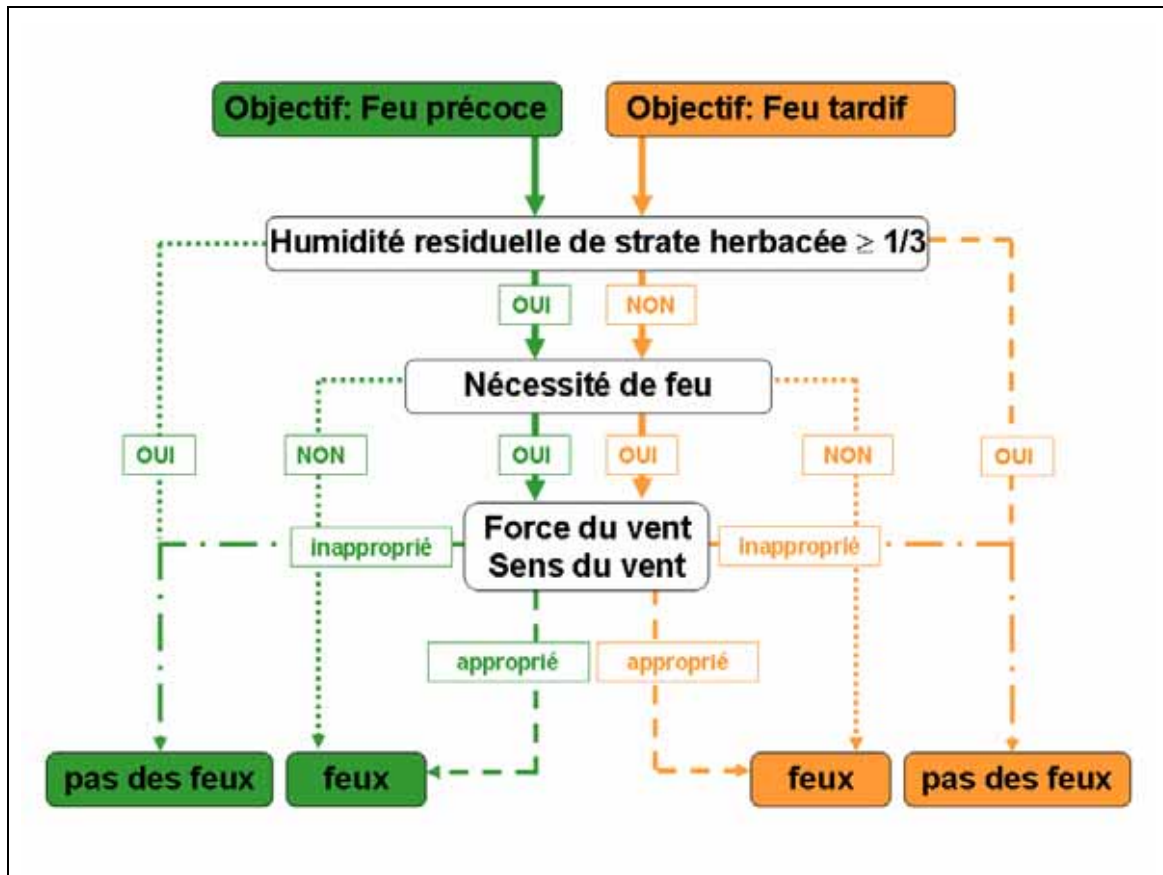


Fig. 3.3: Diagramme de décisions pour le brûlage correspondant aux facteurs d'influence

### 3.6.6 Pare-feux

Afin de garantir la protection des zones centrales et d'autres aires écologiquement sensibles et pour empêcher des grands incendies catastrophiques, il reste indispensable de parceller le parc par des pare-feux. Le tracé des pare-feux doit suivre un plan raisonnable. Ce „réseau“ de pare-feux devrait:

- avoir une profondeur minimale de 200 m et être tracé sans vides;
- entourer toutes les zones centrales et les aires écologiquement sensibles
- séparer les zones de développement des véritables zones centrales de la réserve de biosphère.

Les pare-feux ne doivent pas nécessairement être toujours tracés des deux côtés de la piste:

- La fonction protectrice des pare-feux est aussi donnée s'ils sont seulement tracés d'un côté des pistes.
- Le tracé des deux côtés est à considérer seulement si des aires écologiquement sensibles ou zones centrales touchent à la piste des deux côtés.

Si les pare-feux ne sont tracés que d'un côté de la piste, il fallait

- investiger s'il y a jamais eu un feu déclenché par des touristes; conformément à cela,
- il est indispensable d'informer à fond les touristes sur la fonction des pare-feux et d'établir pour la visite du parc des règles de conduite clairement formulées.



### 3.6.7 Tourisme

Quant au tourisme, les feux améliorent la visibilité le long des pistes. Il semble convenable

- de lier les pare-feux avec les exigences de visibilité du tourisme.

En outre la réduction de la strate arborée pourrait également servir au tourisme. Si elle est écologiquement acceptable, il est à considérer de la réaliser

- non par le brûlage mais mécaniquement (coupe) ou
- par une combinaison de mesures mécaniques avec le brûlage, p.ex. en nuisant avec méthode le tronc ou la base du tronc avant le brûlage.

### 3.6.8 Documentation

La condition préalable d'une gestion des feux pratique dans le cadre d'un plan d'entretien et de développement est la documentation complète et d'envergure de tous les brûlages et leurs effets. La documentation des feux ne doit pas être limitée sur les aires de la réserve de biosphère brûlées par la Direction du Parc, mais doit être élargie pour concerner aussi les brûlages dans les zones de développement effectués par les fermiers de chasse. Les aspects suivants devraient être respectés:

#### **QUAND?**

- *date du brûlage;*
- *heure du jour.*

#### **OU?**

- *position de la surface brûlée, coordonnées gps.*

#### **QUOI?**

- *formation végétale;*
- *degré de recouvrement des strates (strate arborée, buissonnante, herbacée).*

#### **QUELLES conditions?**

- *état de la végétation (humidité résiduelle, dégâts d'avant);*
- *temps (température aérienne, température du sol, direction du vent, vitesse du vent);*
- *humidité résiduelle dans le sol (estimer).*

#### **COMMENT?**

- *technique de brûlage appliquée;*
- *paramètres liés à l'incendie (hauteur des flammes, vitesse du feu, durée).*

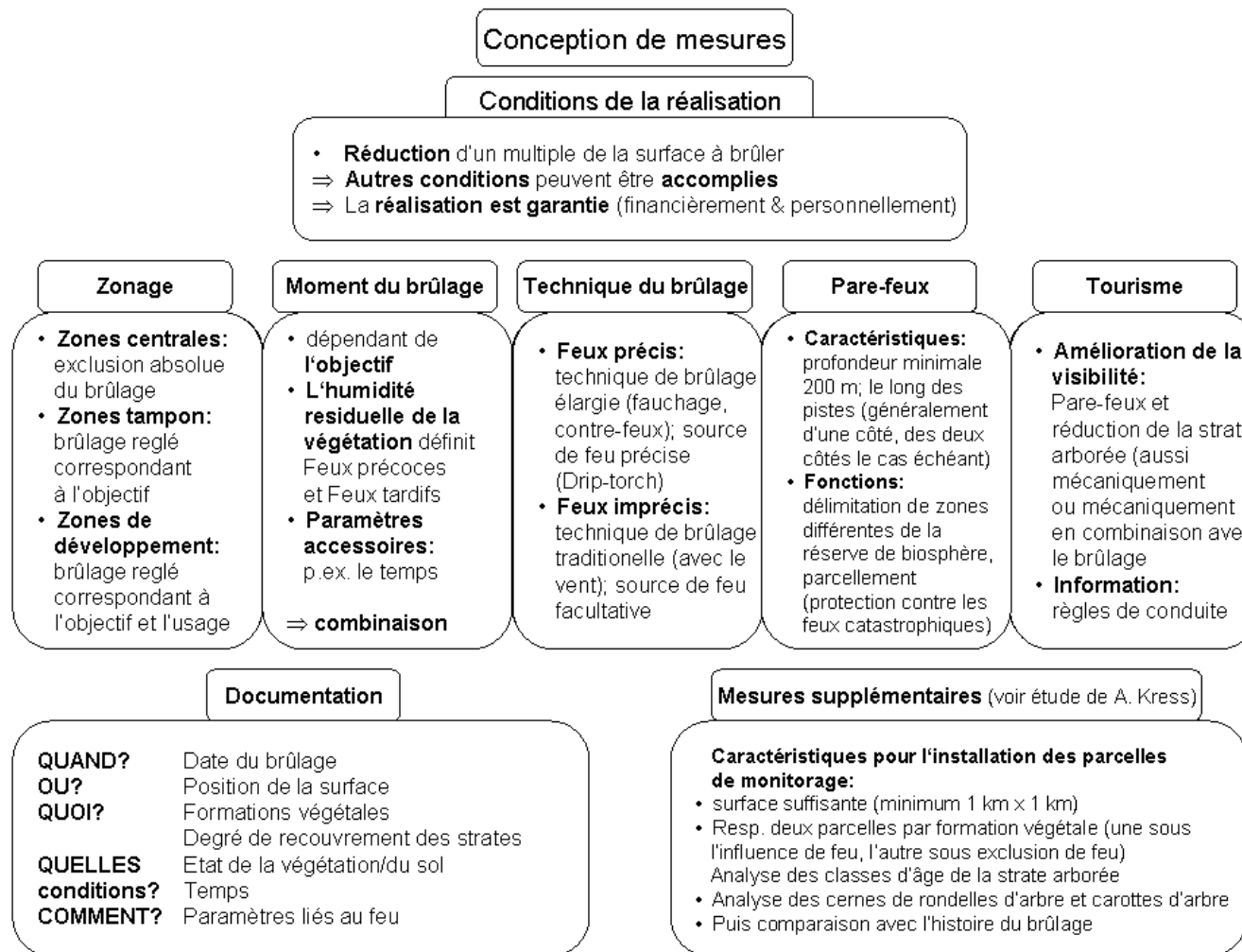


Fig. 3.4: Aperçu de la conception des mesures

## 4 Investigations hydrologiques sur le régime des eaux de la Mare Diwouni et de la Pendjari

### 4.1 Introduction

Jusqu' à présent il y a peu de connaissances sur l'hydrologie de la réserve de biosphère de la Pendjari. Il n' y a ni de séries de mesure de paramètres hydrologiques ni d'investigations sur l'écoulement des eaux dans la réserve de biosphère. A part une carte d'aperçu à l' échelle de 1 : 200.000, il n' y avait avant ce travail-ci même pas de cartes de l'aire d'investigation.

Ce chapitre qui fonde sur le projet de fin d' études de L. OBERKIRCHER<sup>1</sup> contribue donc d'abord à la recherche fondamentale. Pendant deux séjours de recherche en octobre 2004 et entre mars et mai 2005, l'aire d'investigation a été viabilisée par des travaux de cartographie. Une part des aires parcouries n' avait jamais ou très rarement été entrée par des hommes.

Fondant sur les connaissances de l'endroit gagnées, des processus hydrologiques et hydrodynamiques ont été investigés et réunis dans un modèle. Le modèle lui-même ainsi que certains des résultats calculés serviront d'un côté de connaissances théoriques sur l'aire d'investigation, et de l'autre côté d'outil pour la planification et l'évaluation de mesures concrets de gestion des eaux qui seront traitées dans autres études complémentaires. La figure 4.1 démontre l'arrangement de l'investigation.

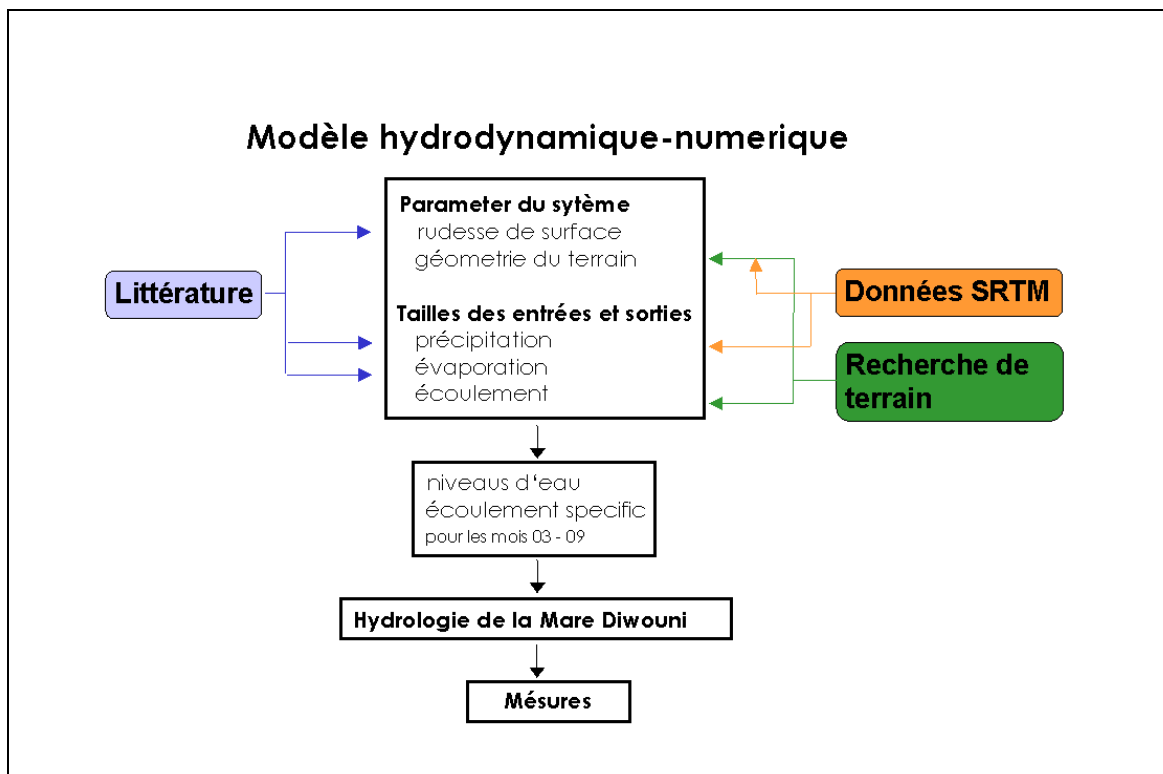


Fig. 4.1: Schème de l'arrangement de l'investigation

<sup>1</sup> Oberkircher, L. (2005): Le régime d'eau du Mare Diwouni. Projet de fin d' études à l' institut de géographie et géoécologie de l' université de Karlsruhe.

L'aire d'investigation se trouve dans le nord du parc national (fig. 4.2). Elle recouvre une surface de 5,2 km<sup>2</sup>.

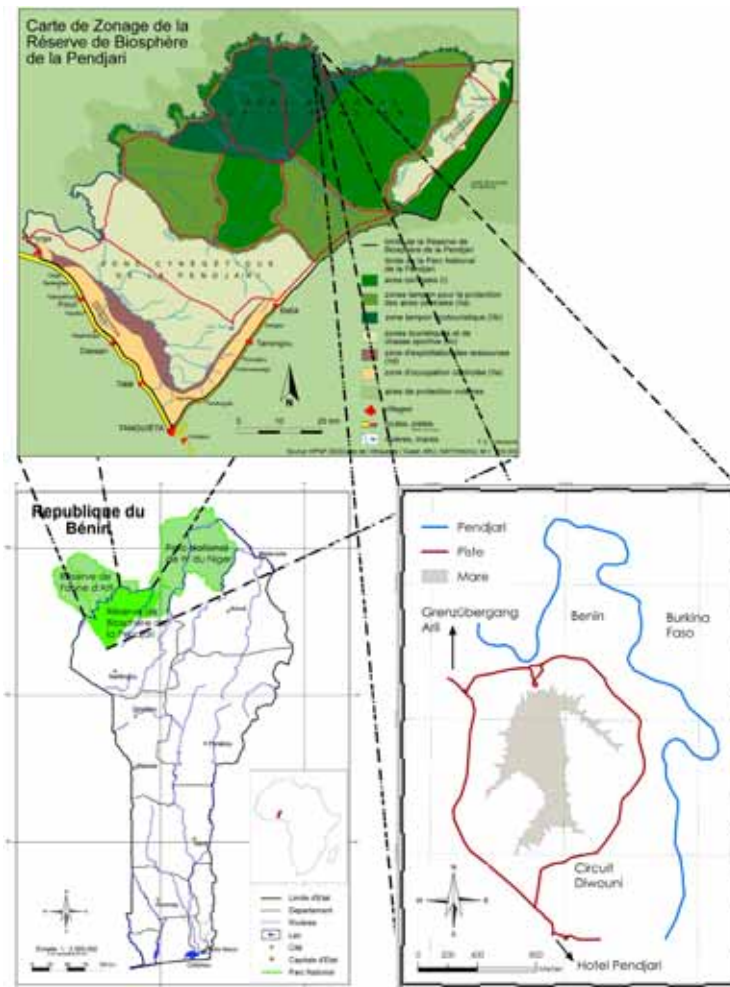


Fig. 4.2: Situation de l'aire d'investigation dans la Réserve de Biosphère de la Pendjari

#### 4.1.1 La Pendjari

Le lit de la Pendjari est fortement marqué par des grandes différences de l'écoulement. Tandis que le profil des crues atteint une largeur allant jusqu'à 80 m et une profondeur allant jusqu'à 7 m, le cours mineur est seulement profond de quelques décimètres et varie quant à son étendue et son tracé dans le lit des crues.

Quand la crue atteint les aires plus basses au-delà des berges, l'eau s'amasse dans les dépressions resp. alimente des eaux stagnantes déjà existantes.

#### 4.1.2 La Mare Diwouni

- Etendue et profondeur d'eau

La Mare Diwouni est une eau stagnante avec l'étendue et la profondeur d'eau fortement fluctuantes selon la saison. Vers la fin de la saison sèche 2005, elle avait une surface d'à peu près 320.000 m<sup>2</sup> (propre enregistrement). La profondeur n'a pas encore pu être déterminée, car le mesurage est trop dangereux à cause d'une grande population d'hippopotames. C'est justement ce fait-là, cependant, qui permet d'estimer la profondeur. Les hippopotames ont une taille allant jusqu'à 1,6 m. Surtout pendant les jours chauds vers la fin de la saison sèche, ils doivent plonger complètement, afin de rafraîchir leur corps. WOLANSKI & GERETA (1999:422) indiquent que les hippopotames peuplent des eaux plus

profondes que 1,5 m. En considérant encore le fait que les hippopotames ne demeurent pas seulement au milieu de la Mare Diwouni, on peut présumer que la mare avait vers la fin de la saison sèche 2005 au moins deux mètres de profondeur.

Vers la fin de la saison des pluies (octobre) 2004, ni l'étendue ni la profondeur de la mare ont pu être déterminée, parce que la plupart du terroir autour de la mare n'était pas accessible. A l'aide d'une mesure ponctuelle du niveau d'eau, il est cependant possible d'estimer la profondeur de la mare à peu près trois mètres.

Ces indications peuvent véhiculer une idée sur l'étendue de la mare. Celle-là ne change cependant pas seulement avec la saison, mais aussi énormément d'une année à l'autre. Il se passe que la mare s'assèche complètement. Des crues extrêmes arrivent également. L'Hôtel Pendjari, situé environ à un kilomètre de la mare (niveau du terrain à peu près 179 m) a été inondé pendant la saison des pluies 2002, ce qui indique une étendue et profondeur nettement plus grandes (profondeur > 5 m).

- **Forme**

La forme de la Mare Diwouni est marquée surtout par les passées d'animaux. Au contraire d'autres eaux stagnantes, la ligne de rive est donc fortement dentelée et la mare a la forme effilochée avec quatre grandes et beaucoup de petites branches.

- **Liaison avec le fleuve**

Jusqu'à présent, la question de savoir comment la Mare Diwouni est alimentée en eau n'a pas été investiguée. Des études sur autres mares ne sont pas connues non plus. Dans le chapitre 5.3, des scénarios sur l'écoulement et les précipitations seront modélisés et discutés. La liaison entre le fleuve et la mare est donc seulement entamée ici.

Il y a dans l'aire d'investigation plusieurs rigoles entre le fleuve et la mare. L'eau n'y passe pas forcément régulièrement. Car, comme le constatent LUGO et al. (1990:87), ce sont souvent « les crues rares et catastrophiques qui ont la plus grande influence sur le déplacement du lit des fleuves et sur la morphologie des plaines alluviales ». Les rigoles sont alors probablement venues d'un événement singulier, l'eau n'y passant que pendant cette crue. Il est aussi possibles qu'elles se soient développées des passées d'hippopotames. Compte tenu de la position et la morphologie des rigoles, il paraît cependant probable qu'elles ont formé au moins dans le passé parfois ou régulièrement une liaison entre le fleuve et la mare, en tant que tributaire ou chemin d'écoulement.

## **4.2 Recherche dans le terrain**

Quoique la recherche appartienne d'après le plan de gestion (CENAGREF 2003) aux objectifs principaux de la réserve de biosphère de la Pendjari, elle se trouve encore tout au début, surtout dans le domaine de l'hydrologie. Il n'y a ni de cartes suffisamment exactes ni de séries de mesure hydrologiques continues. Etant donné que l'aire d'investigation autour de la Mare Diwouni est relativement petite et les différences de niveau très faibles, l'usage des méthodes de télédétection était très limité. La résolution des photo-satellites financièrement abordables dans le cadre d'un projet de fin d'études n'était pas suffisante. Afin d'obtenir cependant une modélisation signifiante, il fallait travailler intensément dans le terrain. Le travail a été partagé en deux séjours de recherche. En octobre 2004, les mesurages hydrologiques pendant la crue ont été effectués, entre mars et mai 2005 ont été faites la cartographie et l'altimétrie. Ces derniers travaux ont été effectués avec l'aide de l'étudiant béninois Hermann Fognonhou.

### **4.2.1 Mesures d'écoulement**

La modélisation de précipitations et d'écoulement a besoin du débit et des niveaux d'eaux

comme paramètres initiaux. Ces données n'étaient pas à la disposition pour l'aire de la mare Diwouni. Afin d'au moins approximer le débit de la Pendjari, une mesure singulière a été effectuée. La figure 4.3 montre, comme résultat essentiel, le profil du fleuve et les vitesses à la surface près de la position de mesurage.

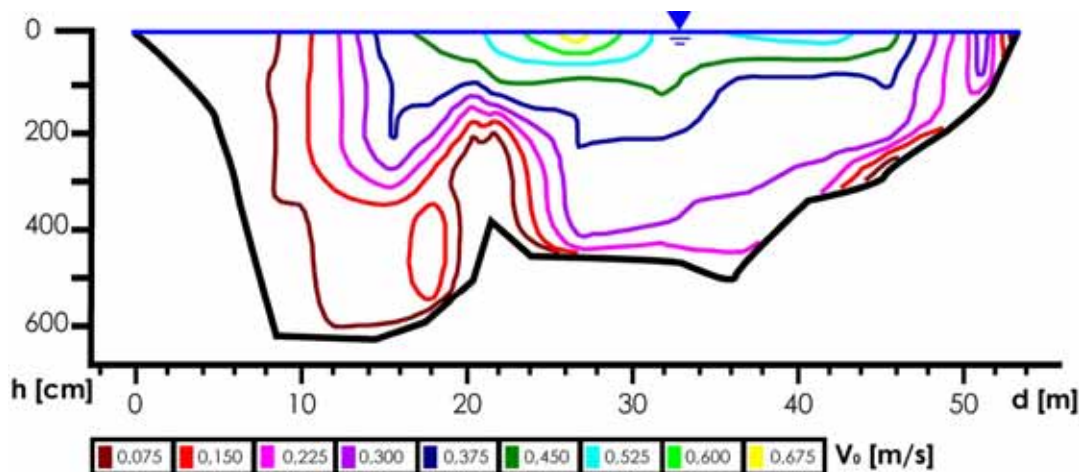


Fig. 4.3: Profil (d = largeur, h = profondeur) et vitesses d'écoulement ( $V_0$ ) de la Pendjari près du passage de la frontière de Arli

Les données mesurées ont été évaluées à l'aide du programme BIBER. Le tableau 4.1 contient les paramètres hydrodynamiques calculés. Le débit près de la position de mesurage Arli faisait le 9. octobre 2004 47,68 m<sup>3</sup>/s.

<b>Écoulement</b>	<b>47,68 m<sup>3</sup>/s</b>
Niveau moyen d'eau	568 cm
Profil d'écoulement	187,96 m <sup>2</sup>
Largeur au niveau d'eau	53,28 m
Profondeur moyenne du lit	353 cm
Vitesse moyenne d'écoulement	0,25 m/s
Vitesse moyenne à la surface	0,36 m/s
Vitesse maximale à la surface	0,71 m/s
Périmètre mouillé	56,80 m
Rayon hydraulique	3,31 m
Manière de mesurage	Méthode pour points multiples
Méthode de calcul	selon prescription d'échelle fluviale
Sonde	Nautilus C 2000

Tab. 4.1: Paramètres hydrodynamiques du calcul du débit avec le programme BIBER

#### 4.2.2 Cartographie

A part la carte d'aperçu de la réserve de biosphère (1 : 200.000, ZOMAHOUN 2002 d'après ING-France 1971) et des cartes régionales de l'Afrique de l'ouest ou du Bénin, aucune carte de l'aire

d'investigation est connue. Toutes les structures morphologiques nécessaires à la modélisation devaient être cartographiées.

A l'aide du *MobileMapper*, un appareil GPS<sup>2</sup> qui peut enregistrer points et lignes dont la position est connue, la piste, particulièrement du *Circuit Diwouni*, la ligne de rive de la Mare Diwouni à l'état du 10. Mai 2004, et le tracé de la Pendjari dans l'aire d'investigation ont été enregistrés.

### 4.3 Modélisation

La modélisation dans le cadre de cette étude a pour but de simuler des processus hydrologiques et hydrodynamiques dans l'aire d'investigation. Des détails là-dessus se trouvent dans la version longue du projet de fin d'études de L. OBERKIRCHER.

Ici sera résumé quels sont les paramètres initiaux de la modélisation et comment ils y sont utilisés (figure 4.4).

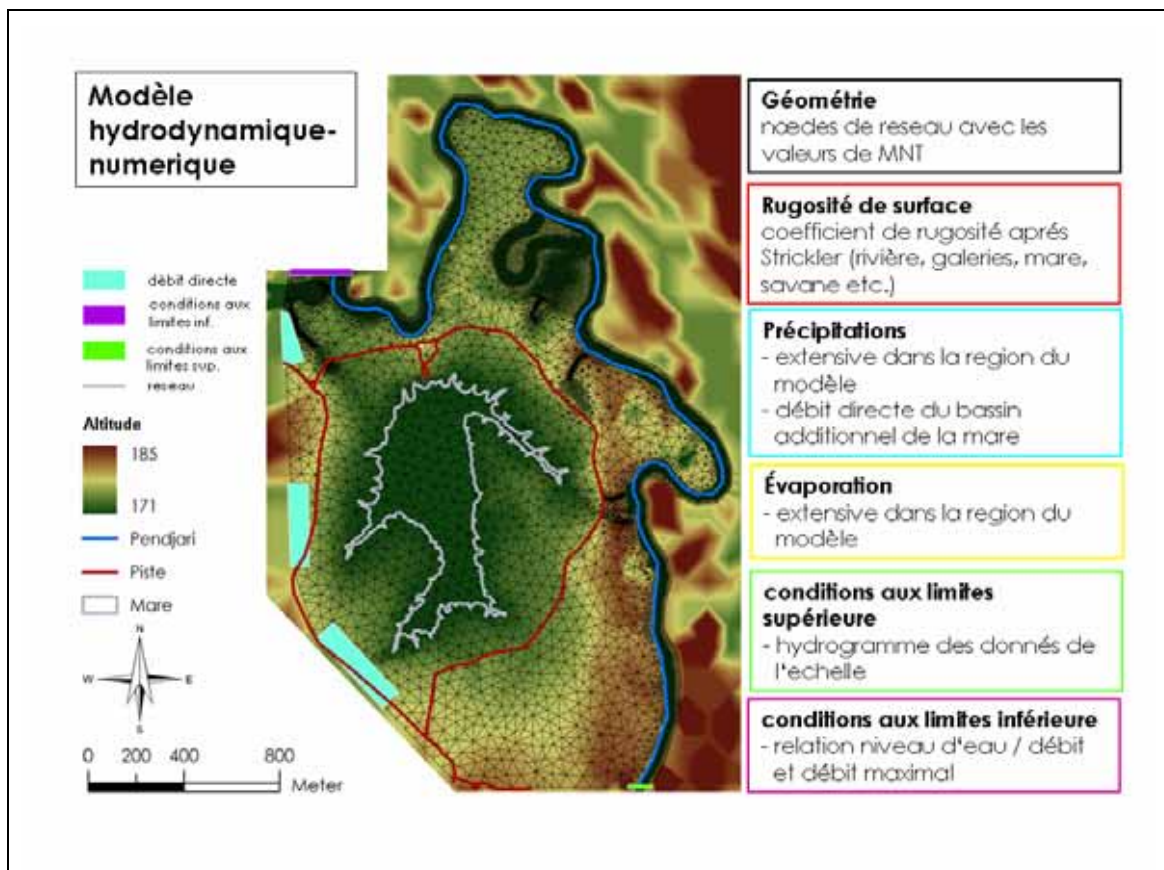


Fig. 4.4: Aperçu du modèle d'écoulement et de précipitations, les conditions initiales du modèle et le réseau sous-jacent

En tant que référence, une carte des courbes d'altitude de l'aire d'investigation est intégrée dans cette représentation. La résolution des courbes d'altitude est un mètre. Dans le suivant, l'état vers la fin des mois mars à septembre sera représenté et expliqué.

Les résultats pour le **mars** représentent l'état vers la fin de la saison sèche, avant les premières pluies (figure 4.5). La mare atteint son étendue minimale (320.000 m<sup>2</sup>) et avec deux mètres sa profondeur mi-

<sup>2</sup> GPS = Global Positioning System



nimale au cours de l'année. L'écoulement dans la Pendjari est continu, mais le niveau d'eau est très bas. Il n'y a pas de l'eau dans les rigoles, mais le bras mort dans le nord de l'aire d'investigation est en majeure partie rempli d'eau à cause de la retenue du fleuve.

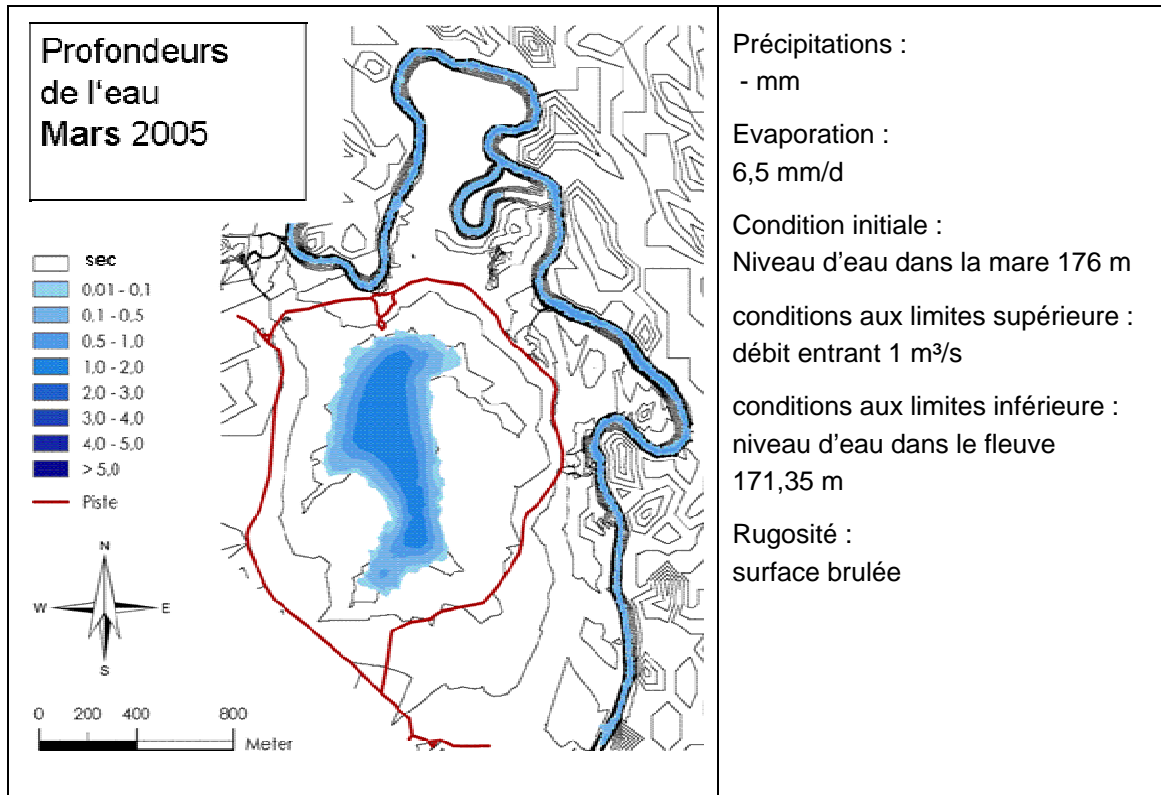


Fig. 4.5: Mars – profondeurs de l'eau et paramètres calculés

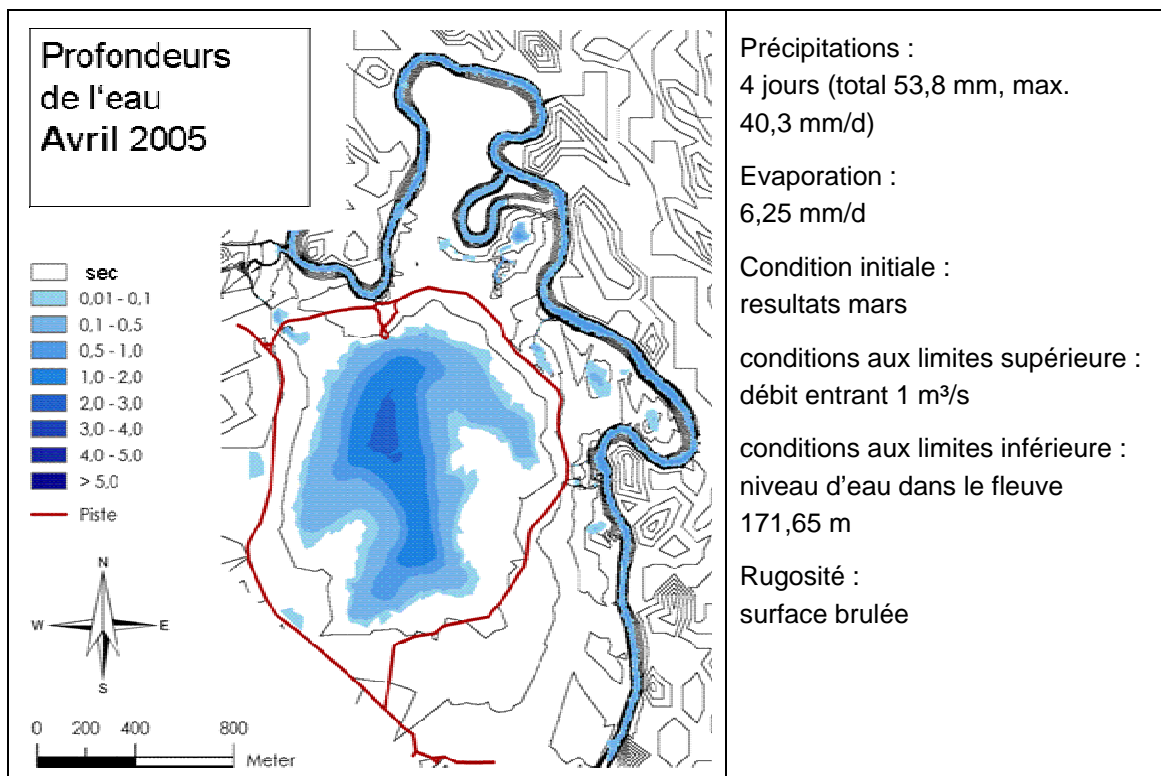




Fig. 4.6: Avril – profondeurs de l'eau et paramètres calculés

Les résultats du calcul pour **avril** montrent les effets des premières pluies de l'année (figure 4.6). La profondeur d'eau monte jusqu'à 2,2 m, et l'étendue de la mare est distinctement plus grande (760.000 m<sup>2</sup>) que vers la fin de mars. Dans les dépressions s'amasse l'eau des précipitations. C'est aussi le cas dans les rigoles, mais il s'y agit toujours d'eau stagnante, non courante.

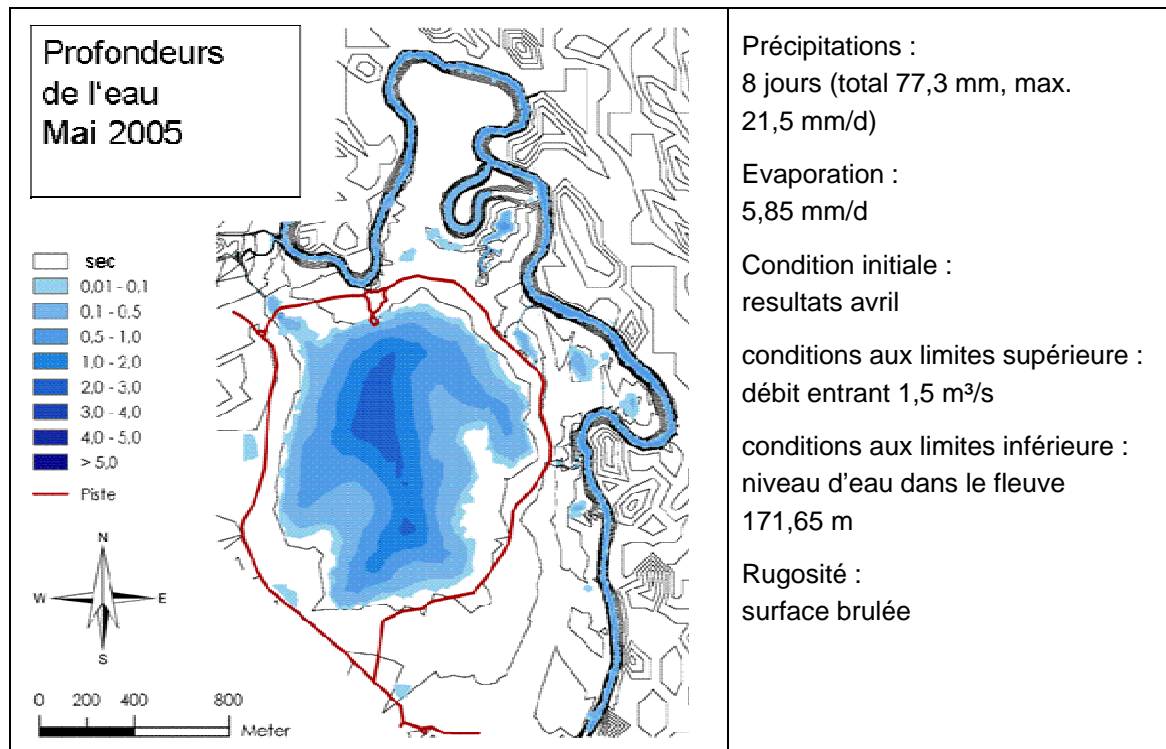


Fig. 4.7: Mai – profondeurs de l'eau et paramètres calculés

En **mai**, ce développement initié en avril continue (figure 4.7). Les profondeurs d'eau dans la mare et la Pendjari montent continuellement jusqu' à 2,6 resp. 1,0 m.

La particularité de l'état de fin de **juin** constitue dans le fait qu'il y a pour la première fois une liaison continue entre la mare et le fleuve. Elle passe par la structure désignée Rigole 5 (figure 4.8). Il ne s'y agit plus seulement d'une accumulation de l'eau des précipitations, mais d'eau courante. Comme l'est évident de la figure 4.9 (à gauche), les vecteurs de courant ne montrent pas encore de grands débits spécifiques<sup>3</sup>, mais la direction du courant est déjà clairement apparente.

L' eau s'écoule de la mare vers le fleuve avec un débit spécifique moins de 0,005 m<sup>2</sup>/s. Au niveau de la digue apparaissent des débits spécifiques allant jusqu' à 0,077 m<sup>2</sup>/s. Après la submersion de la piste, le profil devient plus étroit et le débit spécifique va jusqu' à 0,2 à 0,25 m<sup>2</sup>/s. Près du fleuve le profil s'élargit d'abord et le débit spécifique s'abaisse sous 0,02 m<sup>2</sup>/s, avant d'atteindre environ 0,03 m<sup>2</sup>/s auprès de l'embouchure de nouveau étroite. La carte des profondeurs d'eau montre d'autres changements en juin (figure 4.9). Les rives convexes des quelques

<sup>3</sup> débit spécifique = débit par unité de largeur

méandres sont submergées pour la première fois. De plus, l'eau de la mare atteint maintenant la piste dans le sud-est de l'aire d'investigation.

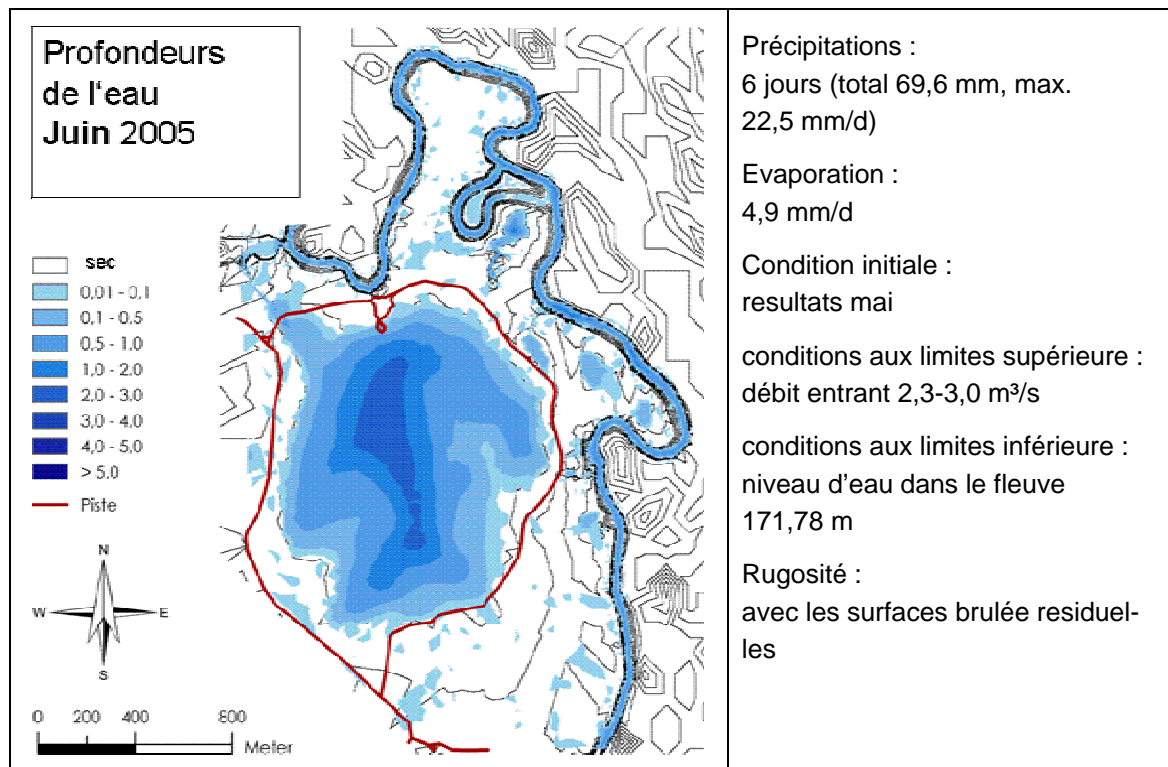


Fig. 4.8: Juin – profondeurs d'eau et paramètres calculés

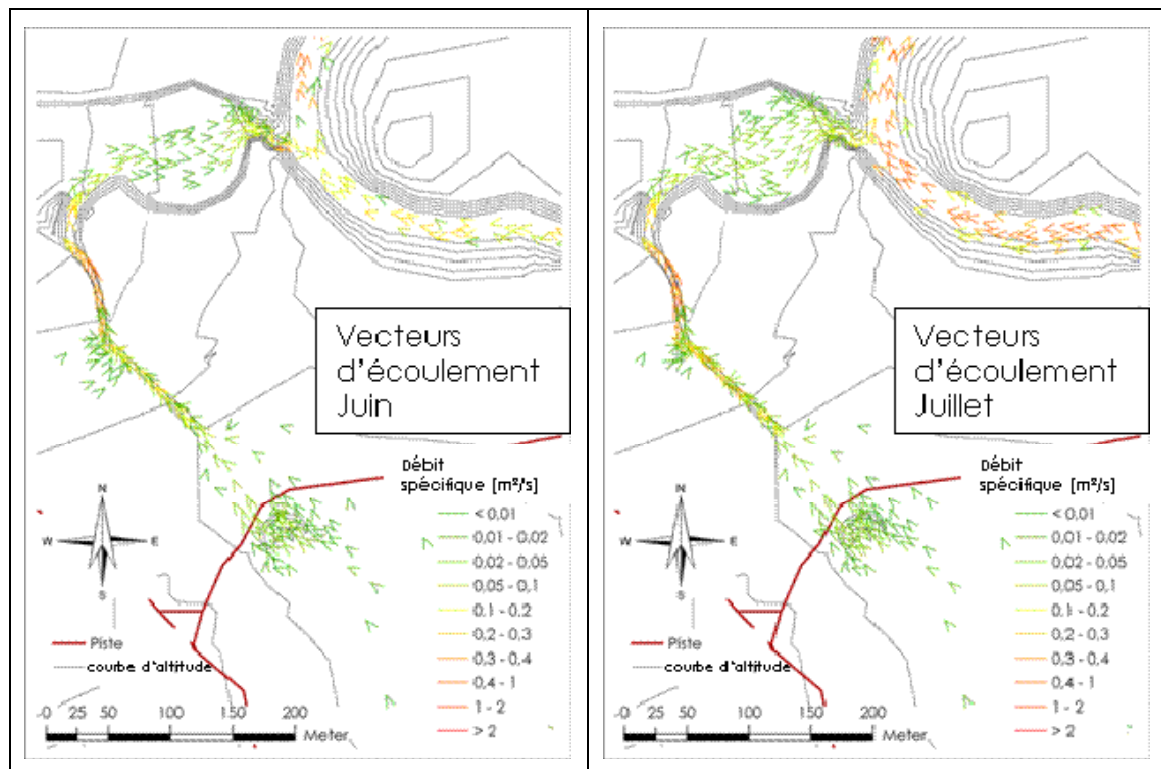


Fig. 4.9: Vecteurs d'écoulement dans la Rigole 5 – juin (à gauche) et juillet (à droite)

En **juillet** la submersion de la piste est encore plus évidente (figure 4.10). Le *Circuit Diwouni* est carrossable jusqu'à une profondeur d'eau de 0,05 m, mais la mare s'est élargie si fortement qu'elle est partout proche de la piste. La profondeur d'eau fait maintenant jusqu' à 2,9 m, dans le fleuve jusqu'à 1,9 m. L'eau coule à travers la rigole 5 aussi en juillet (figure 4.9, à droite). Le débit spécifique y est comparable avec celui du juin, dans le fleuve lui-même apparaissent cependant des débits spécifiques plus hautes, allant jusqu'à 0,85 m<sup>2</sup>/s.

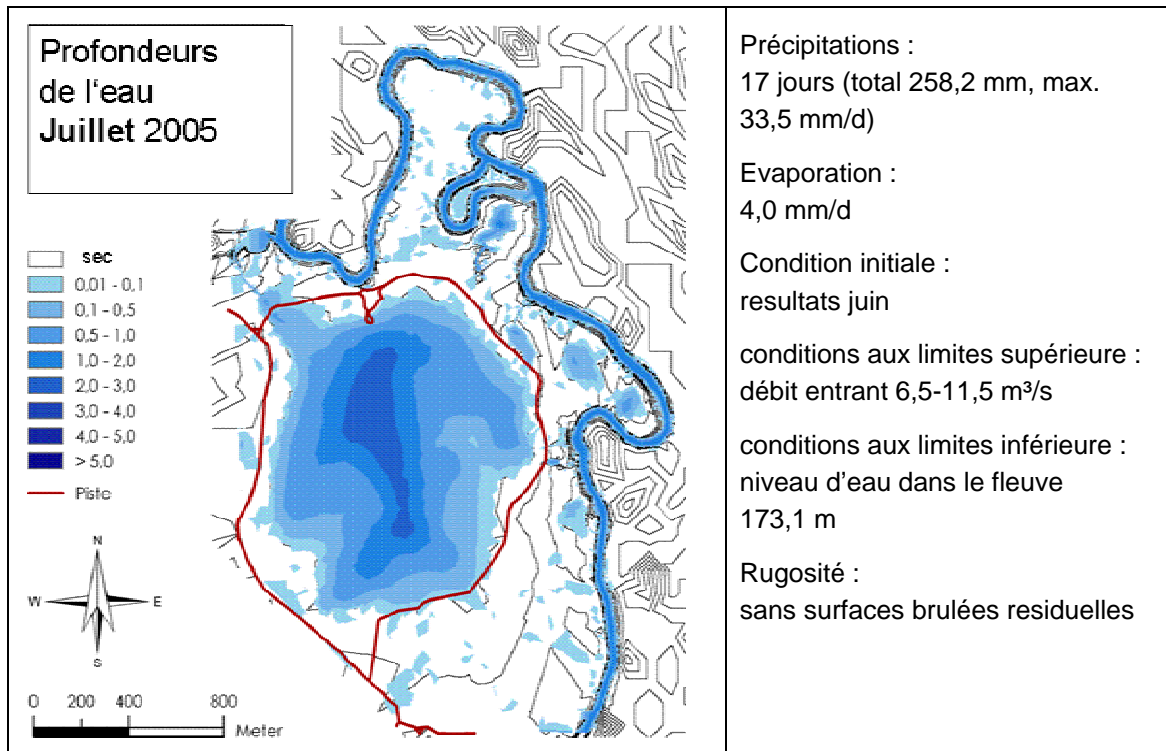


Fig. 4.10: Juillet – profondeurs de l'eau et paramètres calculés

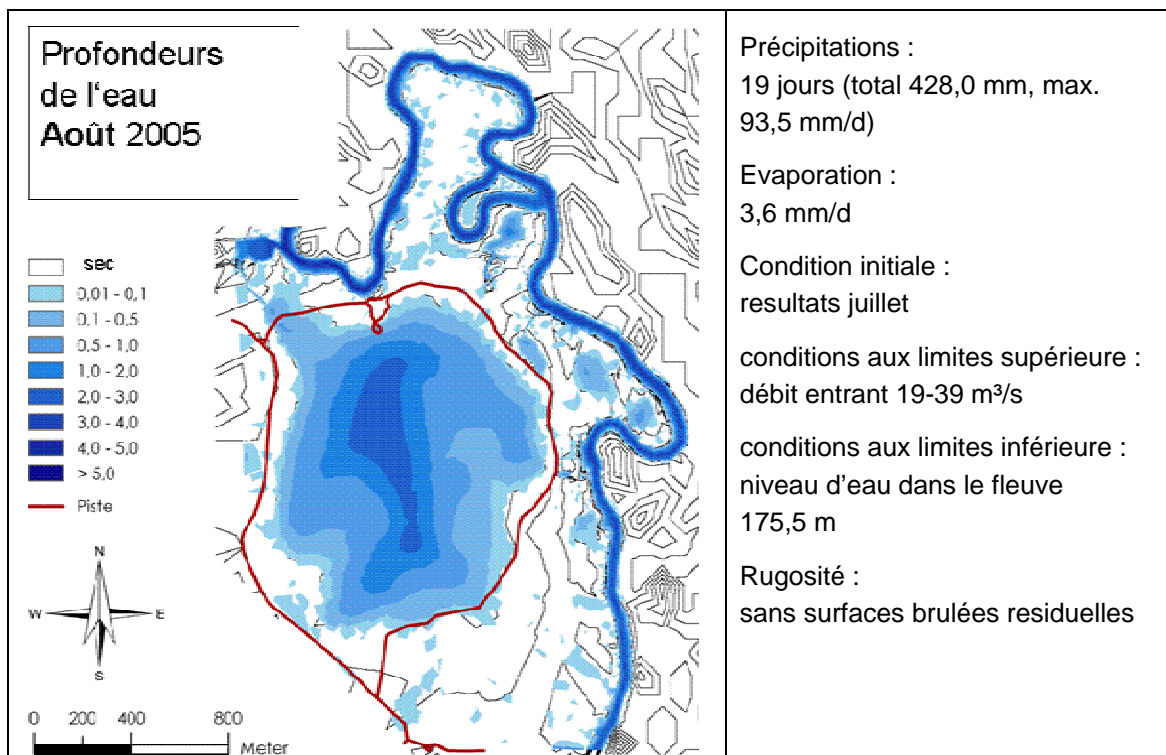


Fig. 4.11: Août – profondeurs de l'eau et paramètres calculés

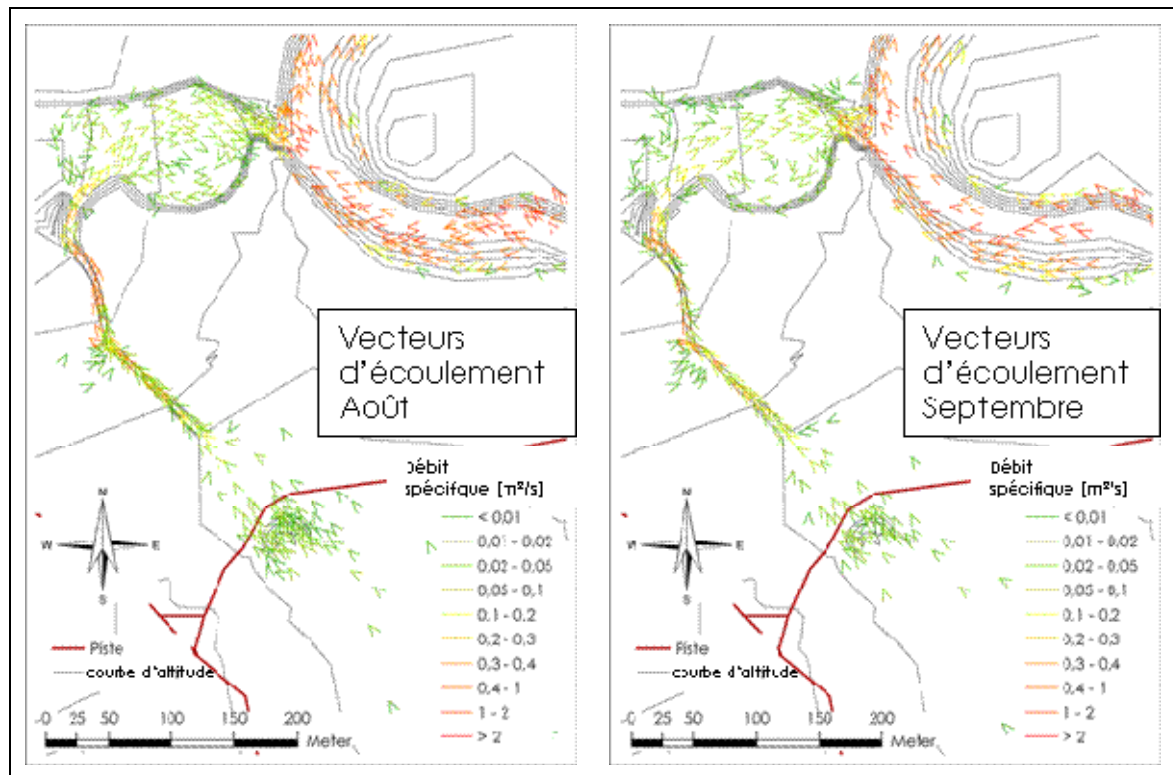


Fig. 4.12: Vecteurs d'écoulement dans la Rigole 5 – août (à gauche) et septembre (à droite)

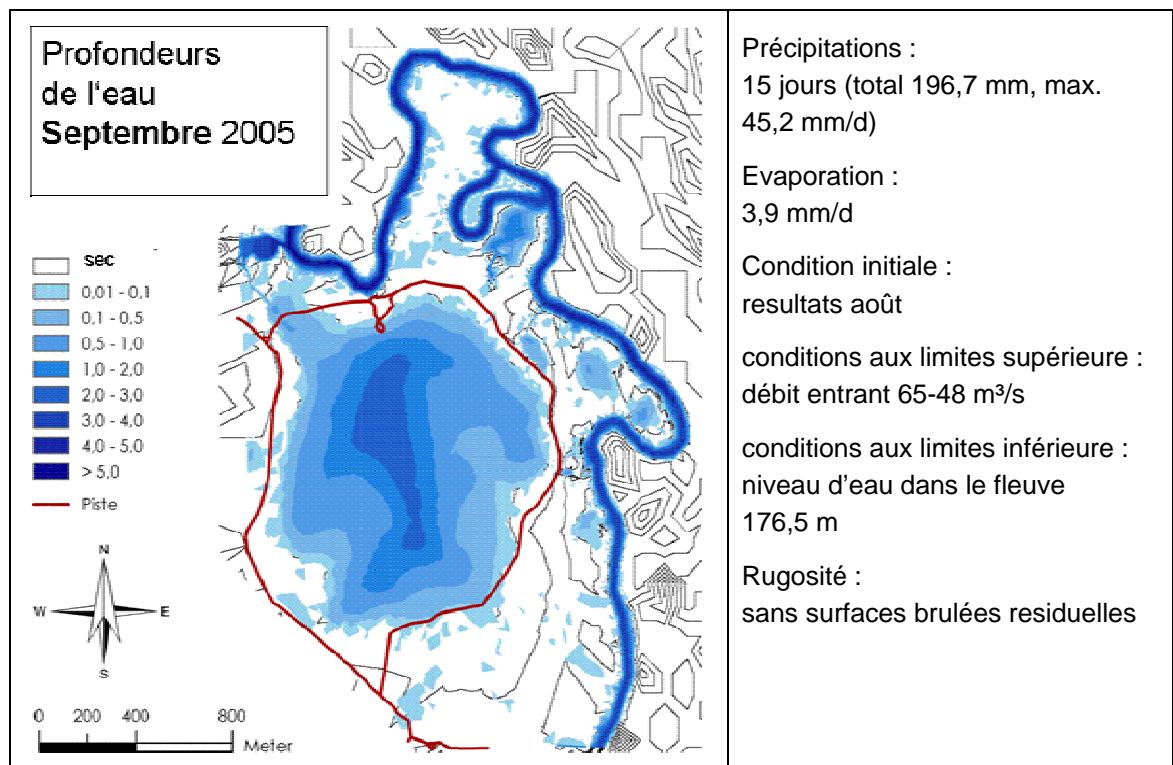


Fig. 4.13: Septembre – profondeurs d'eau et paramètres calculés

Les résultats de l'**août** indiquent en particulier que le niveau d'eau a fortement augmenté (Figure 4.11). Faisant 4 m, il s'approche de l'état plein-bord (5,5 m). Les débits spécifiques montent également jusqu'à 0,5 m<sup>2</sup>/s (Figure 4.12 à gauche). Malgré la profondeur d'eau plus grande dans le fleuve, le niveau d'eau dans le terrain près de la mare est 1,60 m plus haut.

Cela ne change pas en **septembre** (figure 4.13). Bien que le maximum des débits spécifiques dans le fleuve (environ 2 m<sup>2</sup>/s) soit atteint maintenant, l'écoulement dans la rigole 5 se dirige toujours vers le fleuve (figure 4.12, à droite).

## 4.4 Résultats et propositions

### 4.4.1 Le régime des eaux de la Mare Diwouni

La modélisation a montré quels sont les effets qu'exercent les précipitations, l'évaporation et l'écoulement sur le régime des eaux de la Mare Diwouni. Les résultats de la simulation des mois mars à septembre indiquent la montée continue du niveau d'eau et de la vitesse d'écoulement dans l'aire d'investigation.

Vers la fin de la saison sèche, la mare a l'étendue la plus petite, la profondeur d'eau fait environ deux mètres. Dès que tombent les premières précipitations, la mare est déjà plus profonde de 0,2 m après quatre semaines. Dans le reste de l'aire d'investigation, les précipitations ont également une grande importance, parce que l'écoulement direct après un événement de pluie s'accumule dans les rigoles et dépressions.

La plupart des précipitations afflue cependant dans la mare et y est retenue à part les pertes par l'évaporation. Tandis qu'au début de ce travail-ci, il était supposé que la mare soit alimentée au moins partiellement par le fleuve, cette thèse est clairement rejetée par la modélisation. Ce n'est pas le fleuve à alimenter la mare, mais l'écoulement direct après les événements de pluie.

Tant que l'écoulement et les précipitations sont modelés ici, la première interaction entre la mare et le fleuve se passe en juin. Dans la rigole apparaissent à ce moment des débits spécifiques allant jusqu'à 0,2 m<sup>2</sup>/s et s'augmentant en septembre jusqu'à 0,5m<sup>2</sup>/s. L'écoulement est toujours dirigée vers le fleuve, car la mare est alimentée intensément par les pluies et a pendant toute l'année des niveaux d'eau nettement plus hauts que ceux dans le fleuve. La profondeur d'eau maximale est atteinte en septembre et se chiffre dans la mare à 2,9 m, et à 5 m dans le fleuve.

### 4.4.2 Mesures hydrotechniques

Il a été montré dans le chapitre 4.3 que la liaison entre le fleuve et la mare pendant la saison des pluies mène par la rigole 5, où l'eau écoule de la mare vers le fleuve. Si le terrain y serait augmenté artificiellement, l'écoulement de la mare pourrait être empêché ou bien réduit. La mare serait toujours alimentée par la pluie, mais retendrait celle-ci, de sorte que pendant la saison sèche la mare ne perdrait de l'eau que par l'évaporation. Ainsi le niveau d'eau de la mare serait plus haut que dans les circonstances actuelles et plus d'eau serait disponible pour abreuver les animaux.

Outre l'effet souhaité, une telle mesure hydrotechnique pourrait amener une série de conséquences négatives qu'il faut prendre en considération pendant la planification :

- Les effets en aval  
Naturellement une part des précipitations dans la région est drainée dans la Pendjari par la mare. En empêchant cela l'eau manquera dans la balance en aval. Une telle modification est qualifiée douteuse par plusieurs études effectuées sur autres cours d'eaux (p.ex. John 1986), car l'écologie en aval peut fortement changer. Dans le cas des mesures proposées il s'agit cependant des pertes de volume très faibles.
- Evènements extrêmes  
Les crues extrêmes n'ont pas été considérées dans les calculs de modélisation de cette étude. Il n'est pas absolument exclu qu'ils aient – contrairement aux crues normales – de l'importance pour l'alimentation de la mare. Le débit étant plus haut que les 65 m<sup>3</sup>/s simulés, la direction de l'écoulement dans la rigole 5 pourrait possiblement changer. Il y aurait alors une retenue du fleuve dans la mare. En construisant la digue dans la rigole 5 trop haute, cette retenue serait empêchée et la digue provoquerait le contraire du souhaité.
- Salinité  
La liaison entre le fleuve et la mare étant complètement coupée, les sels portés dans la mare par l'écoulement de surface ne seraient plus emmenés dehors. L'évaporation augmenterait en même temps, en conséquence de la surface d'eau plus large. Cela pourrait à long terme influencer la salinité. Car s'il n'y avait plus d'échange d'eau avec le fleuve, la salinité augmenterait continuellement, quoi que le teneur en sels des précipitations soit très pauvre. Cela causerait possiblement de graves conséquences. Des études nouvelles sur la Serengeti indiquent que la migration spectaculaire des gnous et des zèbres vers la fin de la saison des pluies est sans doute liée à la salinité augmentante des eaux dans la région d'origine.
- Transport de sédiments  
Les constructions qui servent à retenir de l'eau agissent souvent comme pièges à sédiments. Dans le cas du mesure proposé ici ne sera pas retenue l'eau du fleuve, mais celle des précipitations. C'est pour cela que le transport de sédiments et la sédimentation seront faibles.

L'importance centrale de l'amélioration de la disponibilité d'eau pour la gestion du parc national ne sera pas mise en question ici. Compte tenu des risques discutés, il est cependant nécessaire d'examiner sous l'aspect de la durabilité chaque intervention dans la distribution et la particularité des points d'eau.

A l'aide des valeurs calculées du débit et du modèle numérique de terrain, la planification d'une mesure hydrotechnique comme la digue proposée est possible. Pour examiner dans le cas concret s'il y a des „effets secondaires“, les changements topographiques planifiés devraient être intégrés dans le modèle numérique de terrain, et les effets positifs ainsi que négatifs devraient être découverts par une nouvelle modélisation.

## 5 Stratégies sur la gestion des usages du sol dans la commune riveraine de Pouri

### 5.1 Introduction

Ce chapitre fonde sur le projet de fin d'études de J. MASUCH<sup>1</sup> et veut contribuer à la solution des problèmes connus dans la réserve de biosphère de la Pendjari. L'accent est mis sur le village de Pouri qui se trouve en tant que commune riveraine dans la zone d'usage contrôlé de la réserve de biosphère.

Le but de cette étude est de trouver une solution durable pour le conflit résultant du besoin de sol des habitants de Pouri. Cela sera réalisé par une gestion future des usages du sol, dans laquelle l'usage du sol et des ressources peut être planifié et adapté aux besoins des riverains et ceux de la protection de la nature (Figure 5.1).

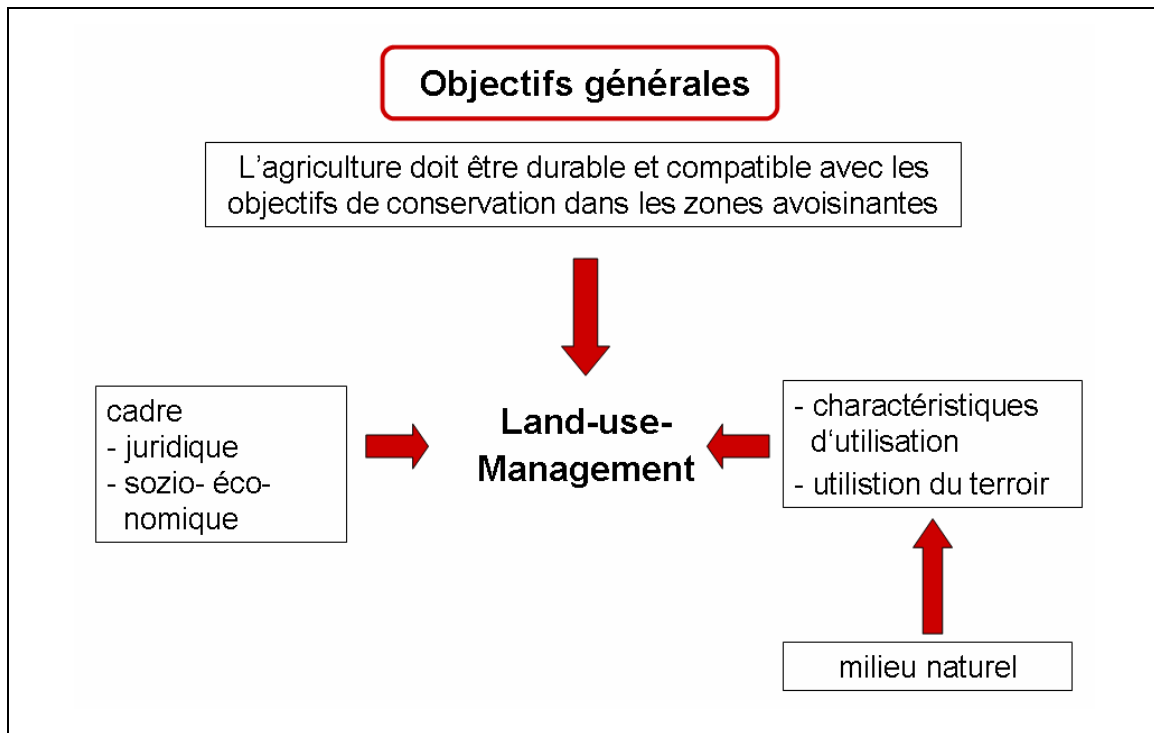


Fig. 5.1: Objectifs et composantes d'une gestion des usages du sol dans une commune riveraine de la Réserve de Biosphère de la Pendjari

Cette étude suit les investigations de ZOMAHOUN (2002), qui ont été effectuées dans les villages de Batia, Tanongou, Tiélé et Pouri, exemplairement pour la zone d'usage contrôlé de la réserve de biosphère de la Pendjari.

<sup>1</sup> MASUCH, J. (2005): Stratégies sur la gestion des usages du sol dans la commune riveraine de Pouri. Projet de fin d'études à l'institut de géographie et géoécologie de l'université de Karlsruhe.



## **5.2 Méthodes**

### **5.2.1 Cartographie**

A l'aide d'un récepteur gps (Mobile Mapper Thales) a été cartographié l'usage du sol sur des transectes représentatifs. En plus, l'âge des jachères, les ressources en bois de chauffage, et le type des plantes cultivées ont été enregistrés.

### **5.2.2 Le Sol**

La description des méthodes pédologiques et des paramètres évalués se trouve dans le projet de fin d'études de J. MASUCH.

## **5.3 Résultats**

### **5.3.1 Investigations pédologiques**

Les profils suivants ont été trouvés :

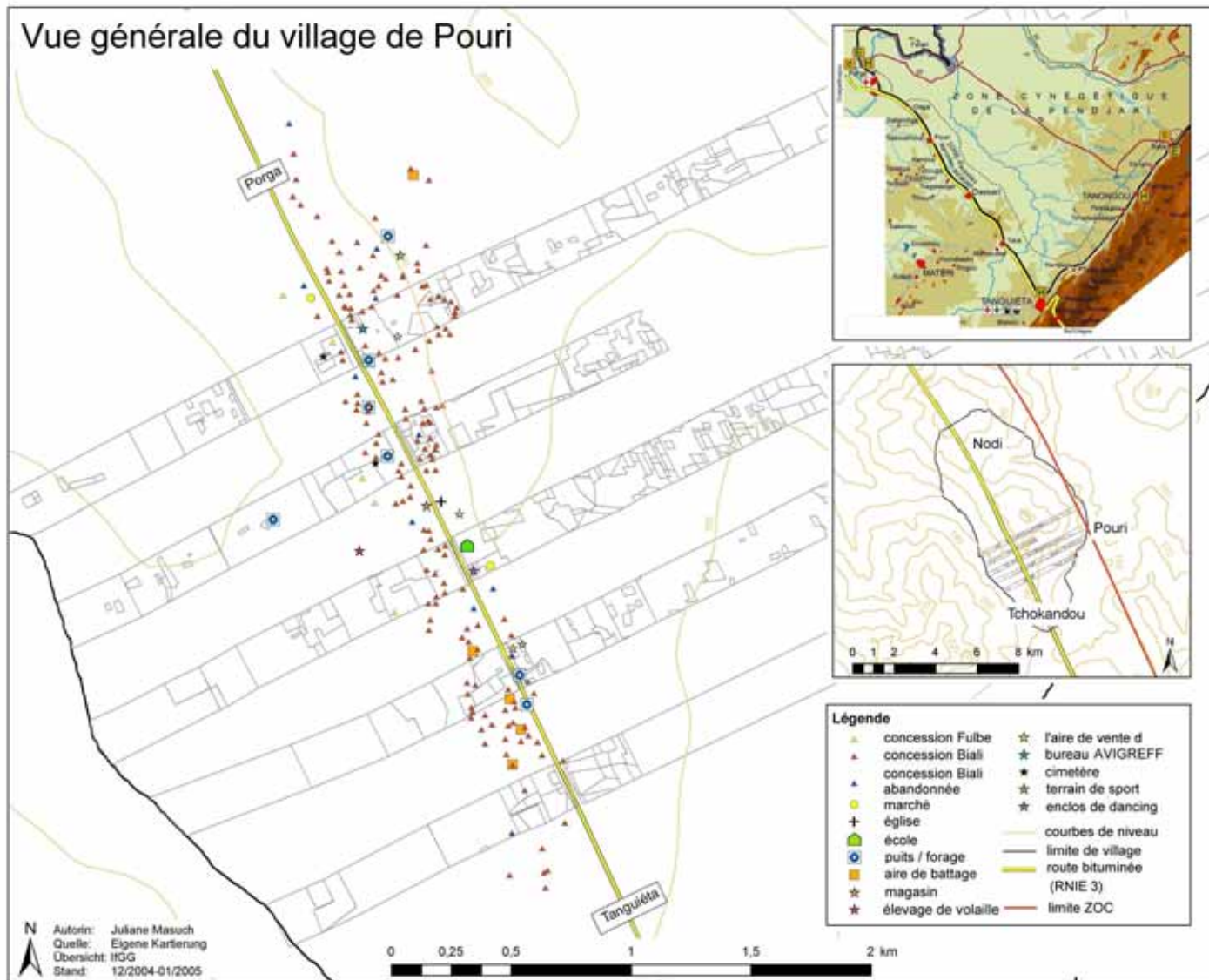
- Stagnic Planosol au profil 1
- Eutric Planosol au profil 2
- Petric Plinthosol au profil 3
- Plinthic Cambisol au profil 4

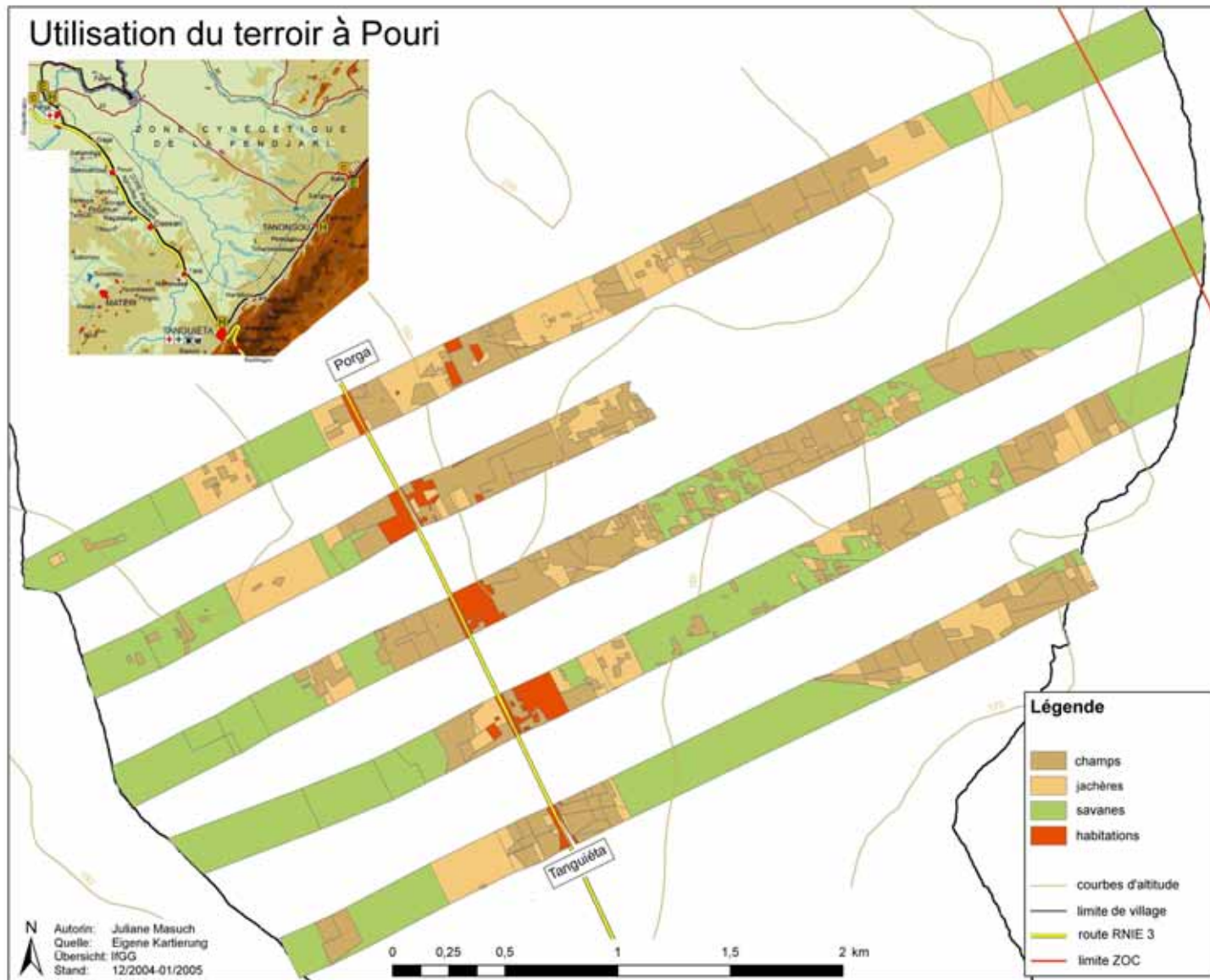
La description des résultats pédologiques et des paramètres mesurés se trouve dans le projet de fin d'études de J. MASUCH.

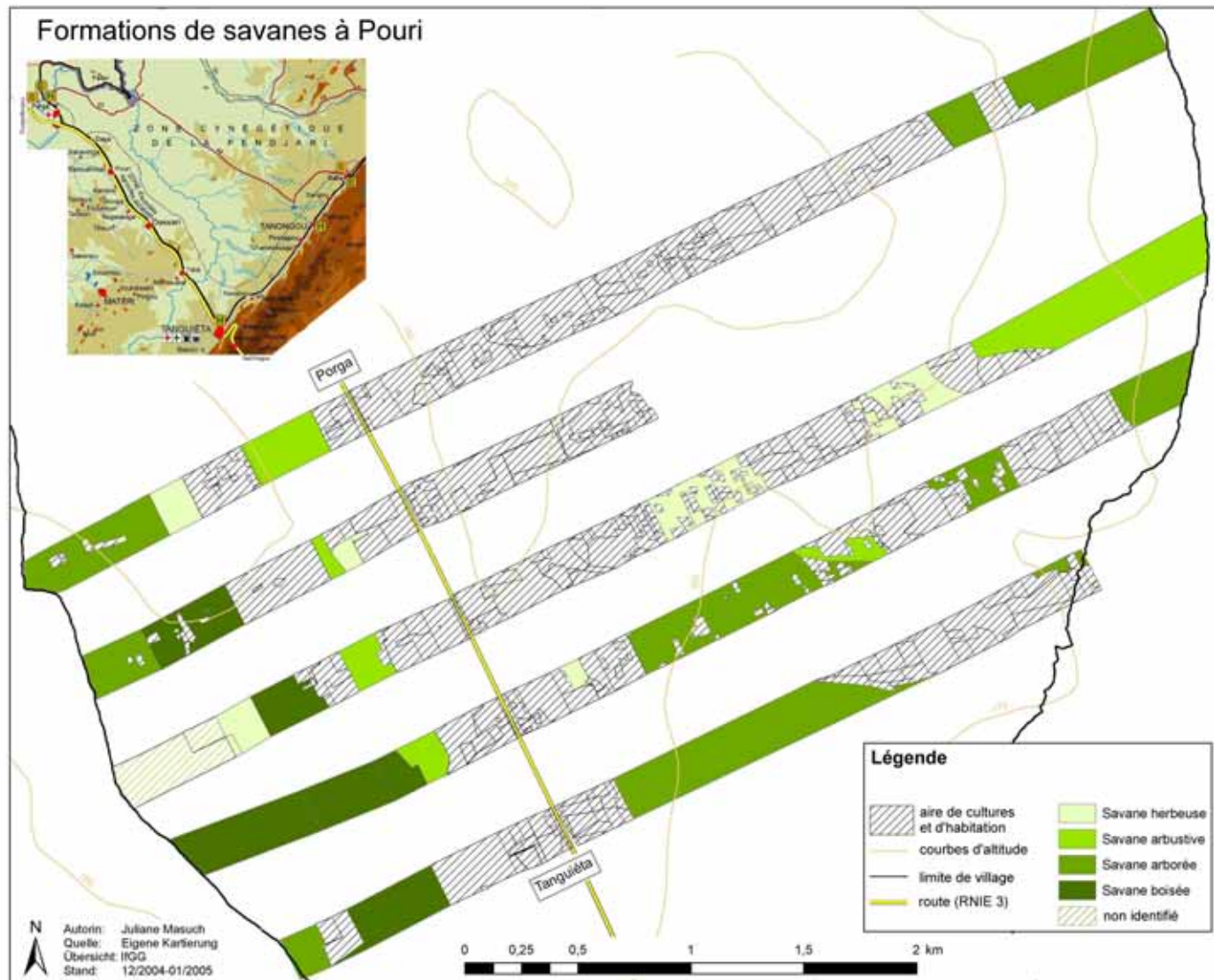
### **5.3.2 Cartographie des usages du sol**

Aucune carte de Pouri avait existé avant que cette cartographie avec gps ait été effectuée. Les résultats de la cartographie sont représentés dans les cartes suivantes.

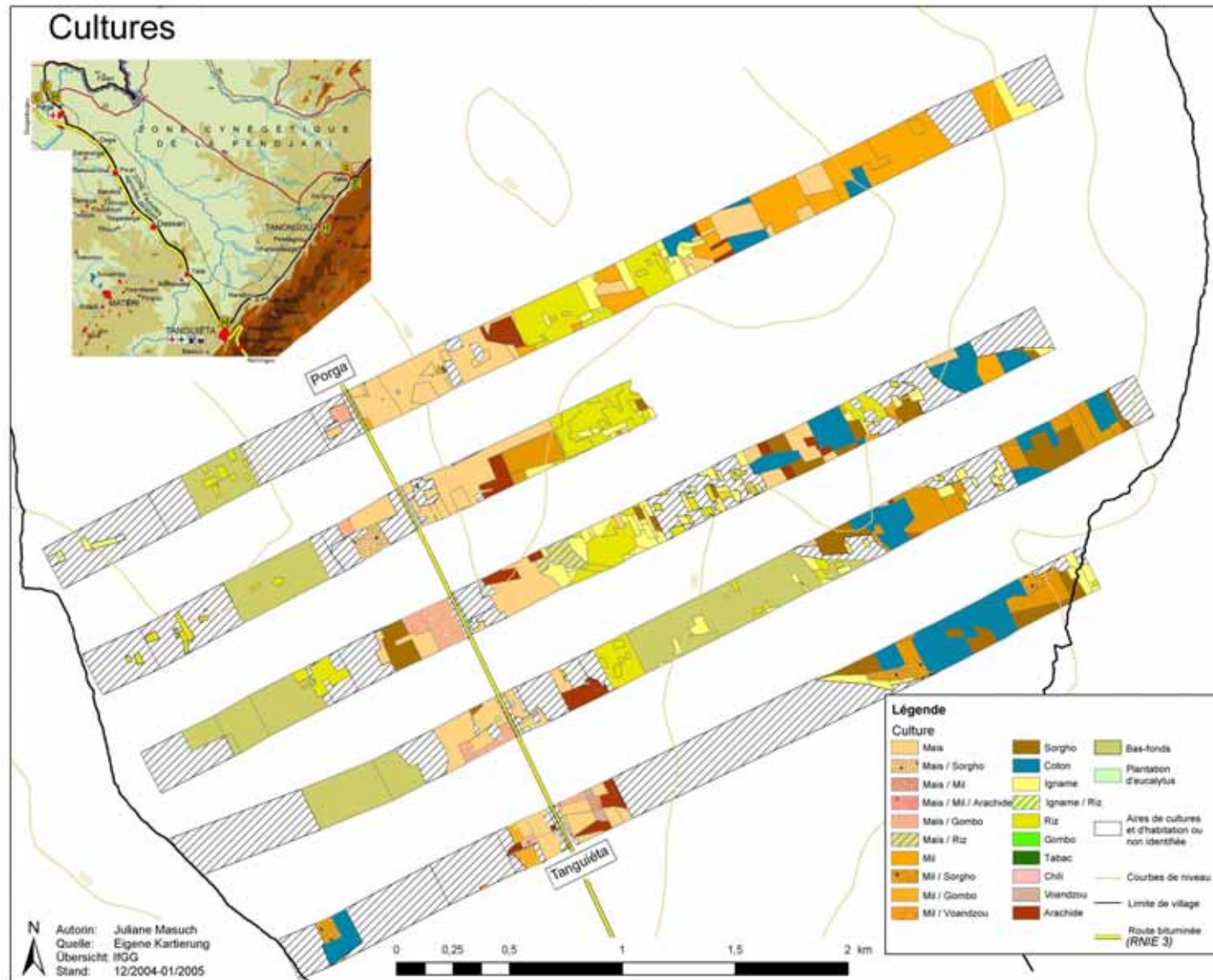


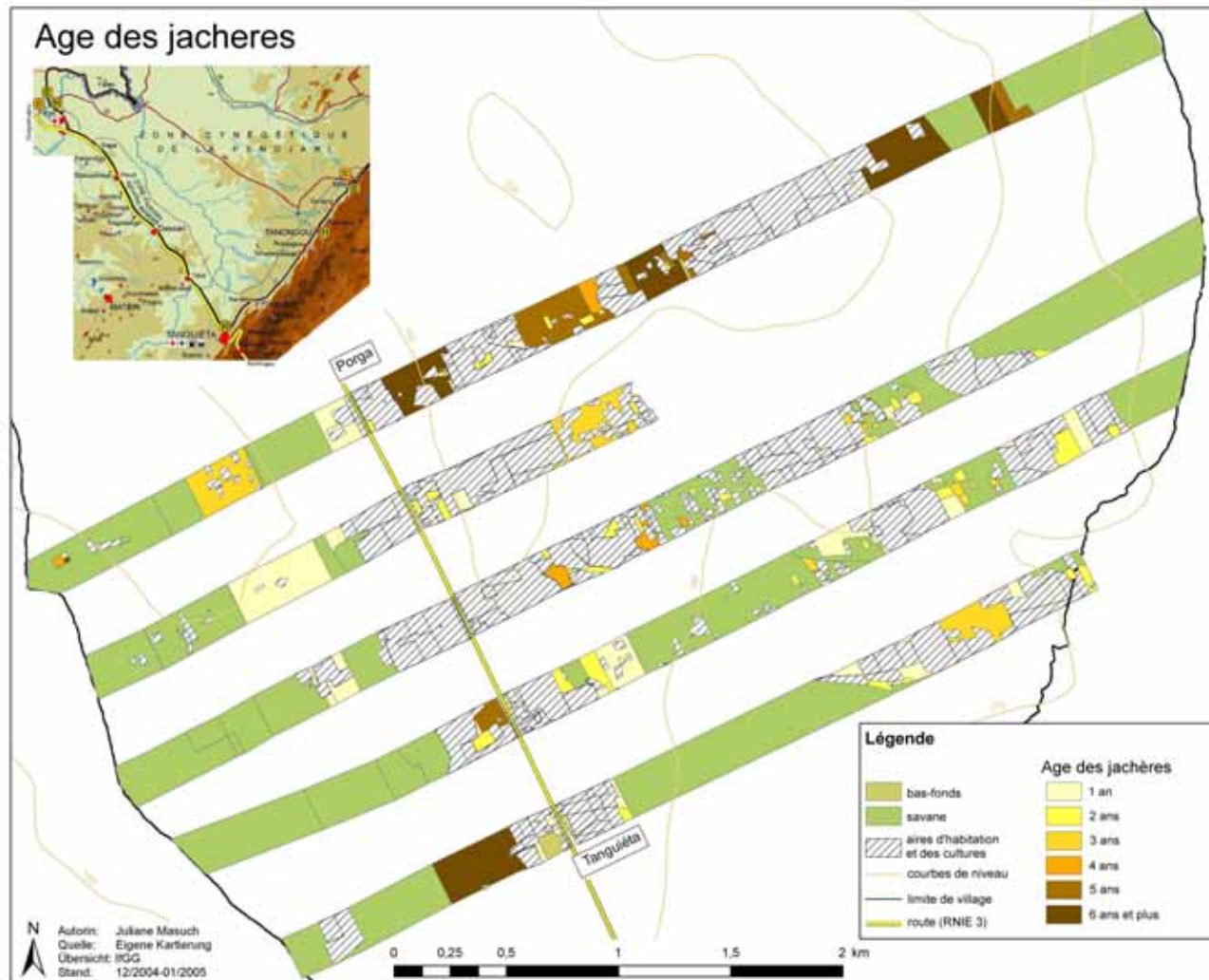












### Ressources en Bois de Chauffage à Pouri



## 5.4 Discussion

### 5.4.1 Développement des sols

Le terrain ondulé dans l'aire d'investigation est marqué par la suite des aires d'altitude différente, dans lesquelles se sont développés des sols différents. Le terrain plus haut est entremêlé d'horizons plinthisques qui se trouvent en profondeurs différentes et qui possèdent des degrés différents de durcissement. Dans le Petric Plinthosol (P3), il y a déjà à 9 cm de profondeur des concrétions de fer qui se durcissent à la profondeur de 23 cm, formant un horizon pétroplinthisque continu. Dans le profil P4 (Plinthic Cambisol), les premières concrétions apparaissent à 23 cm de profondeur et forment à 35 cm un horizon plinthisque continu, mais qui peut encore être creusé.

Probablement, la pétroplinthite dans le Petric Plinthosol ne s'est pas développée récemment, mais est ressortie des horizons plinthisques qui sont entrés en contact avec l'air après l'érosion progressive des surfaces de terrain anciennes, à se durcir irréversiblement. Cette durcissement protégeait les concrétions d'être érodées elles-mêmes. Le résultat est l'inversion du relief, de façon que les pétroplinthites se trouvent aujourd'hui au relief élevé.

Sur les pentes, des phénomènes d'érosion sous forme de morceaux de Latérite de tailles variables sont à observer. La surface du sol étant ouverte, entre autres à cause d'incendies fréquents et dans la plupart des cas souhaités, des événements de pluie extrêmes au début de la saison des pluies mènent à l'érosion fluviale, ce dont témoignent des larges rigoles d'écoulement dans le terrain. Il est à supposer que pendant la phase de l'Harmattan s'ajoute à cela l'érosion éolienne. L'Harmattan, qui emmène beaucoup de poussière avec soi, atteint d'après DELVINGT et al. (1989) une vitesse allant jusqu'à 50 km/h et souffle dans l'aire d'investigation pendant la saison sèche, quand les sols ne sont protégés que faiblement par la végétation pauvre et sont fortement séchés. Il est cependant aussi probable que quelque matériel est localement sédimenté et accumulé, p.ex. dans les dépressions.

Dans les bas-fonds se trouvent des Stagnic Planosols et Eutric Planosols. Ils sont marqués par des inondations pendant la saison des pluies et possèdent donc des qualités hydromorphes, comme taches de rouille, oxydes ou couleur verte-noire, à cause des conditions réduisantes. L'eau retenue demeure dans les dépressions pendant quelques jours à plusieurs semaines; peu d'endroits restent remplis d'eau pendant longtemps de la saison sèche et sont usés comme abreuvoir pour les animaux.

### 5.4.2 Potentiel du sol

Les suivantes caractéristiques de fertilité des sols sont à considérer:

- profondeur d'enracinement,
  - la texture et la structure du sol,
  - valeur pH,
  - teneur en substances nutritives et leurs liaisons, ainsi que
  - teneur en humus.
- 
- Profondeur d'enracinement  
La croissance des racines de toutes les cultures est nettement limitée sur les sols du type Petric Plinthosol, parce que l'horizon pétroplinthisque délimite la profondeur du sol dans le

profil P3 à 23 cm. L'enracinement est également restreint à une profondeur pareille par des concrétions de fer dans les sols du typ Plinthic Cambisol, mais à un plus bas degré que par la pétroplinthite complètement durcie. Bien que la profondeur du sol du type Eutric Planosol soit plus grande, elle ne peut pas être qualifiée suffisante, parce qu'y confine déjà à 44 cm de profondeur la roche mère. Ce n'est que le Stagnic Planosol en tant que sol typique des dépressions qui soit comparativement profond, d'à peine plus qu'un mètre.

- **Texture et structure du sol**  
Les valeurs de la capacité d'air étant surtout hautes dans les horizons supérieurs, les racines y sont alimentées suffisamment en oxygène. La capacité d'air s'amointri cependant avec la profondeur croissante, de sorte que l'alimentation en oxygène y est restreinte. En plus, les dépressions sont inondées pendant la saison des pluies à cause de la position dans le relief et des horizons argileux. L'échange d'air y est coupé pendant ce temps-là. Les dépressions sont donc aptes à la culture du riz, non seulement à cause de l'offre riche en eau, mais aussi à cause du besoin faible en oxygène après la germination. La capacité de rétention utile est aussi moyenne dans les horizons supérieurs et y offre aux plantes assez d'eau, mais est restreinte dans les horizons les plus profonds. Il est à présumer que dans les mois des précipitations les plus hautes (juillet à septembre), le réservoir d'eau dans le sol soit toujours assez plein et que même des faibles capacités de rétention utiles garantissent l'alimentation en eau suffisante des plantes.
- **Valeur pH**  
Dans les dépressions, il y a probablement une faible toxicité de manganèse qui réduit le rendement. Il est cependant douteux si les sols de Pouri contiennent (encore) des minéraux avec manganèse, fournissant celui-ci pendant l'altération. Les teneurs totales en oxydes de manganèse sont toutefois très pauvres, ce qui rend la toxicité invraisemblable.
- **Teneur en substances nutritives et leurs liaisons**  
Il n'y a que très peu de substances nutritives dans les sols investigés, ce qui limite le rendement. Comparé au phosphore et au potassium, c'est l'azote qui représente le facteur déficient. En conséquence, le sol a besoin d'un apport d'azote pour que le rendement soit amélioré. En plus, l'alimentation en soufre est déficiente.
- **Teneur en humus**  
Comme il a déjà été décrit, les teneurs en humus sont en général pauvres dans les sols investigés. Une augmentation peut avoir des différents effets: la capacité au champ peut être améliorée, de sorte que les plantes puissent mieux profiter des pluies des mois moins riches en précipitations. L'humus peut retenir de l'eau à entre un triple et un quintuple de son poids propre. Par la formation de complexes argile-humiques, l'humus augmente la stabilité des agrégats qui est particulièrement importante pendant l'Harmattan et les premières précipitations, afin d'amoinrir l'érosion éolienne et fluviale. Quant à l'alimentation minérale, une teneur en humus augmentée provoque l'adsorption augmentée de substances nutritives comme du phosphate, de sorte que ceux-là sont protégées d'être entraînées par l'eau ou immobilisées.

## 5.5 Conception

### 5.5.1 Usage de feu

L'application du feu doit être réduite et surtout être organisée consciemment. Pour réaliser les règles suivantes, il faut à fond informer la population sur les conséquences des incendies qui s'ajoutent aux effets souhaités.



Les jachères en général ne devraient pas être brûlées, afin de permettre le développement de la végétation et ainsi l'accumulation de biomasse, mettant des substances nutritives à la disposition des plantes quand le champ est brûlé avant la culture. En plus, le recouvrement végétal réduit l'érosion. Le brûlage ne devrait donc être permis que dans le moment la jachère soit cultivée.

Les savanes elles aussi ne devraient pas être brûlées trop fréquemment, afin d'empêcher la dégradation croissante de la végétation et de permettre l'augmentation des réserves en bois de chauffage. Les strates bouissonnantes et arborées seraient donc plus denses et plus de gibier pourrait peupler ces savanes. En le chassant, la population pourrait améliorer son alimentation en protéines. Des exceptions de la défense générale de brûlage ne sont possibles que s'il s'agit de la sécurité proche des fermes exigeant la vue libre dans les alentours proches (serpents) resp. la protection contre les incendies. A cela s'ajoutent les feu qui sont mis près de la limite des zones d'usage contrôlé aux zones centrales du réserve de biosphère pour apercevoir à temps les animaux qui causent des dégâts aux cultures, comme les éléphants ou les phacochères. En plus, les Fulbes se servent du feu afin de gagner une source de fourrage par la repousse.

Les champs sont brûlés pendant la saison sèche pour éliminer les restes de la récolte, quoi que cette méthode soit très défavorable sous l'aspect de la fertilité du sol et de l'érosion. Les feux mis très tard pendant la saison sèche sont à refuser en tout cas, car à ce moment-là, la repousse de la strate herbacée, garantissant le recouvrement du sol, ne se réalise plus.

### **5.5.2 Réduire l'érosion**

L'érosion apparaît à Pouri surtout sur les pentes sous forme d'érosion fluviale. L'installation des talus contre l'érosion qui a été commencée par Alpha-Omega-Environnement devrait être continuée sur les pentes menacées. A cela s'ajoute l'influence effectuée par la gestion et la réduction des brûlages. Une autre possibilité pour réduire l'enlèvement du matériel sont des cultures intermédiaires sur les champs. ZOMAHOUN (2002:160) y propose la culture de *Mucuna pruriens* et *Cajanus cajan*, la dernière étant déjà cultivée sur les champs de quatre fermiers dans le cadre d'un projet pilote par Alpha-Omega-Environnement. La protection contre l'érosion peut alors compter sur la formation de la conscience et la véhiculation des techniques qui se sont déjà effectuées. Afin d'amoinrir l'intensité des pluies fortes, l'application de matériels de paillis est à recommander. Il se pose cependant la question d'où prendre ce matériel organique, puisque les restes de la récolte sont pâturés ou brûlés.

### **5.5.3 Gestion du bois**

Puisque pour accomplir le besoin en bois de la population de Pouri serait nécessaire une surface du village sept fois plus grande, les réserves en bois existantes doivent être aménagées. Cette mesure sera décrite plus détaillément dans le chapitre 5.5.5, afin d'explicitier les exigences que pose la réalisation d'une gestion du bois à la réserve de biosphère de la Pendjari.

### **5.5.4 Amélioration du régime des substances nutritives des sols**

L'amélioration de l'offre en substances nutritives est une stratégie qui peut être réalisée avec un paquet de mesures constituant surtout de techniques de culture. C'est pour cela que les options correspondantes seront décrites plus détaillément dans le chapitre 5.5.6.

### **5.5.5 Exemple de mesures 1: Gestion du bois**

A part les ressources naturelles – l'eau, le sol, la végétation -, c'est l'homme avec sa capacité et

surtout son temps de travail qui représente un facteur crucial pour la production. Les innovations techniques vont souvent de pair avec l'épargne de travail et de temps, comme p.ex. l'introduction des chars à boeufs. D'après BARTH (1989:14-15) cependant, ce sont le plus souvent les hommes qui profitent de cette épargne, tandis que les femmes sont chargées de surcroît de la dépense plus haut pour le stockage et le traitement. Plusieurs mesures comme le compostage augmentent directement la dépense de travail et de temps. L'augmentation de la production n'est donc possible que si les mesures correspondantes sont incluses dans l'horaire de travail des fermiers – des hommes ainsi que des femmes -, ou si les femmes sont deschargées de leurs tâches cotidiennes dans le ménage, qui doivent être accomplies outre les travaux agricoles. Parmi ces tâches cotidiennes est le ramassage de bois de chauffage qui exige souvent des larges chemins de transport. La dépense de temps pourrait être diminuée par la disponibilité de bois de chauffage proche des fermes, où ceci n'est actuellement que disponible insuffisamment. Afin d'affaiblir à Pouri l'usage excessif des ressources en bois et afin de permettre de nouveau l'usage proche des fermes, il faut d'une gestion du bois, comme elle est déjà effectuée actuellement dans la savane arbustive dans le sud-ouest des fermes. Il y faut répondre à différentes questions:

- Quelle végétation est-ce qu'il faut faire avancer?
- Sur quels terrains est-ce qu'il faut cultiver le bois?
- Dans quelle mesure est-ce que la collectivité du village est prête à y collaborer?
- Comment est-ce qu'il faut distribuer les responsabilités?
- Quelles sont les défenses et les impératifs qu'il faut établir?
- Quels pas est-ce qu'il faut faire pour réaliser la mesure?

#### **5.5.6 Exemple de mesures 2: Amélioration du régime des substances nutritives des sols**

Les temps de jachère raccourcis à Pouri réduisent la régénération de la fertilité du sol, ce qui a entre autres des effets négatifs sur le régime des substances nutritives. Il faut donc chercher d'autres techniques de culture pour stabiliser ou améliorer l'offre en substances nutritives aux plantes. En particulier, la teneur en azote qui limite la croissance des plantes, devrait être augmentée. Plusieurs options sont à disposition, dont l'applicabilité doit être vérifiée:

- l'application d'engrais minéraux,
- la culture de légumineuses en tant que culture intermédiaire et engrais vert,
- parquer les boeufs sur les champs, et
- la culture de polycultures.

## 6 Littérature

- BACHMANN, A., R. SCHÖNING & B. ALLGÖWER (1997): Feuermanagement mit Geographischen Informationssystemen. In: *Geographica Helvetica*, Bd. 52, H1: 27-34.
- BARTH, U. (1989): Frauen gehen lange Wege. Transportvorgänge von Frauen in ländlichen Regionen Afrikas südlich der Sahara. Schriftenreihe des Instituts für Regionalwissenschaft der Universität Karlsruhe, Heft 26
- CENAGREF (Centre national de gestion des réserves de faune) (2003): Plan d'Aménagement et de Gestion de la Réserve de Biosphère de la Pendjari. Tanguiéta. unveröffentlicht.
- DELVINGT, W., HEYMANS, J.C., SINSIN, B. (1989): Guide de Parc National de la Pendjari. Communauté Economique Européenne, Ministère du Développement Rural, Benin, Cotonou
- HAMMEN, A. (2000): Auswirkungen von Bränden auf die Böden der Insel Naxos (Griechenland). *Karlsruher Berichte zur Geographie und Geoökologie* H.13. Karlsruhe.
- JOHN, D. M. (1986): The inland waters of tropical West Africa. *Ergebnisse der Limnologie/Advances in Limnology*, Heft 23. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuch-handlung. Stuttgart.
- LANGE, U. (2001): Les feux: Utilité, Utilisation, Maîtrise – Contribution à la gestion des espaces riverains du Complexe Pendjari. *Park National de la Pendjari – Project Pendjari*. Tanguiéta.
- LUGO, A. E., BRINSON, M. & BROWN, S. (Hrsg.) (1990): *Ecosystems of the World 15 "Forested Wetlands"*. Elsevier. Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo.
- MASUCH, J. (2005): Strategien zum Land-Use-Management in der Anrainergemeinde Pouri. Diplomarbeit am Institut für Geographie und Geoökologie der Universität Karlsruhe
- OBERKIRCHER (2005): Der Wasserhaushalt des Mare Diwouni. Diplomarbeit am Institut für Geographie und Geoökologie der Universität Karlsruhe
- UNESCO (Hrsg.) (1996): *Biosphärenreservate. Die Sevilla-Strategie und die Internationalen Leitlinien für das Weltnetz*. Bonn: Bundesamt für Naturschutz
- WOLANSKI, E. & GERETA, E. (1999): Oxygen cycle in a hippo pool. *Serengeti National Park. Tanzania. African Journal of Ecology*. Vol. 37:419-423.
- ZOMAHOUN, G.-H. (2002): Landnutzungs- und Managementstrategien für die Puffer- und Siedlungszone des Pendjari-Nationalparks (Bénin). *Karlsruher Schriften zur Geographie und Geoökologie (KSzGG)*, Bd. 16. Karlsruhe.