

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE,
DE L'HYDRAULIQUE
ET DES RESSOURCES HALIEUTIQUES

SECRETARIAT GENERAL

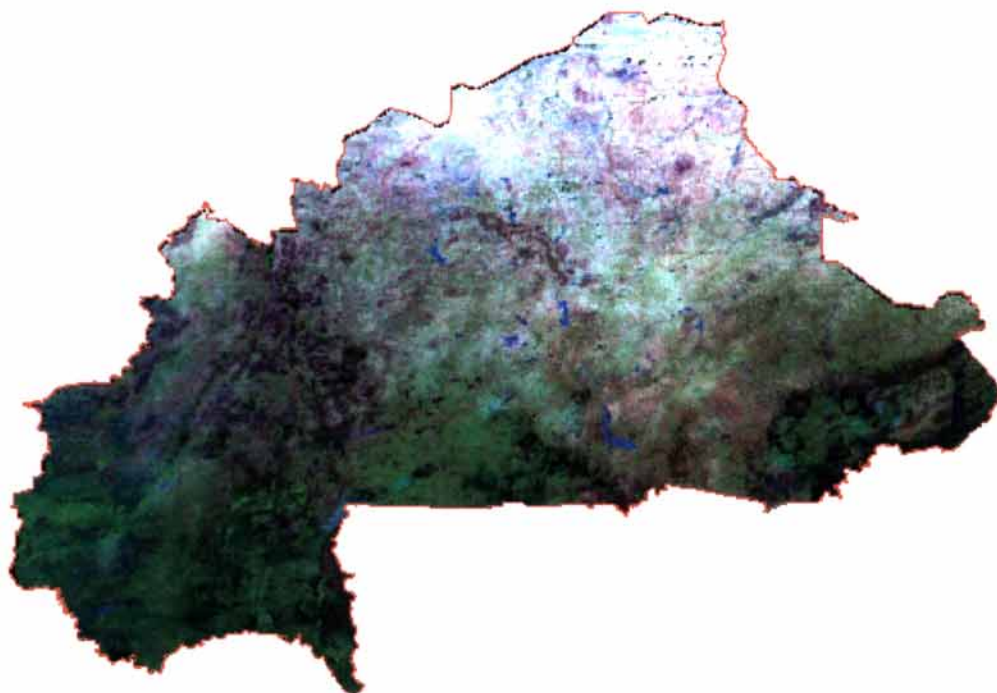
DEUXIEME PROGRAMME NATIONAL
DE GESTION DES TERROIRS (PNGT 2)

COORDINATION NATIONALE

BURKINA FASO

Unité – Progrès - Justice

CARTOGRAPHIE DES FEUX DE BROUSSE AU BURKINA FASO
DE L'ANNÉE 2002
À L'AIDE D'IMAGES AVHRR DE NOAA LAC



RAPPORT FINAL

Par : *M. Régis DIÉBRÉ, MSc*

Ouagadougou, mai 2004

TABLE DES MATIERES

Liste des Cartes.....	iii
Liste des figures	iv
Liste des Tableaux	iv
Liste des Annexes	iv
Sigles et abreviations.....	vi
I CONTEXTE DE L'ETUDE.....	1
1.1 Objectifs.....	2
1.2 Images utilisées pour l'évaluation spatio-temporelle des feux en 2002.....	3
II MÉTHODOLOGIE DE TRAITEMENT DES IMAGES SATELLITALES POUR LA DETECTION DES FEUX DE BROUSSE	6
2.1 Traitements préliminaires des images de nuit.....	6
2.1.1 Importation des images.....	6
2.1.2 Corrections atmosphériques et calibration des images de nuit	6
2.1.3 Redressement des images et corrections géométriques	7
2.2 Découpage des images aux limites administratives du Burkina	8
2.3 Détection des foyers de feux actifs à partir des images de nuit	8
2.4 Traitements des images de jour et détection des zones brûlées	9
2.5 Méthodes d'interprétation et d'analyse des résultats	11
2.5.1 Intégration décadaire des données.....	12
2.5.1.1 Occurrences décadaires de feux et surfaces brûlées décadaires cumulatives	12
2.5.1.2 Détermination des surfaces brûlées décadaires définitives.....	13
2.5.2 Intégrations mensuelles et annuelles des données.....	15
2.5.3 Superficies brûlées (en Ha) et occurrences de feux (nombre de foyers) par province	16

2.6	Comparaison résultats des traitements des images de nuit avec celles de jour..	16
2.7	Enquêtes sur le terrain	19
III	RÉSULTATS DES TRAITEMENTS D'IMAGES	20
3.1	Les foyers de feux et les zones brûlées.....	20
3.1.1	Les foyers de feux	21
3.1.2	Les zones brûlées.....	22
3.2	Superficies brûlées et occurrences des feux par province	28
IV	ANALYSE DES RESULTATS	40
4.1	Évolution temporelle des feux en 2002	42
4.2	Distribution spatiale des feux en 2002 pour le Burkina	44
4.3	Ampleur des feux néfastes en 2002 pour le Burkina.....	46
V	CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.....	48

LISTE DES CARTES

Carte 1 : Répartition des foyers de feux au cours de l'année 2002.....	21
Carte 2 : Zones brûlées en 2002 (feux précoces et feux tardifs).....	22
Carte 3 : Zones tardivement brûlées en 2002.....	23
Carte 4 : Zones brûlées en janvier 2002 (incluant décembre 2001).....	23
Carte 5 :Zones brûlées en février 2002.....	24
Carte 6 :Zones brûlées en mars 2002.....	24
Carte 7 :Zones brûlées en avril 2002.....	25
Carte 8 :Zones brûlées en mai 2002.....	25
Carte 9 :Carte des zones précocement brûlées en 2002.....	26
Carte 10 : Carte des zones brûlées en octobre 2002.....	26
Carte 11 : Carte des zones brûlées en novembre 2002.....	27
Carte 12 : carte des zones brûlées en décembre 2002.....	27
Carte 13 : Importance des feux tardifs par province.....	36
Carte 14 : Importance des feux tardifs ou précoces par province.....	37
Carte 15 : Zones précocement, tardivement et doublement brûlées en 2002.....	38
Carte 16 : Aires de conservations et zones brûlées en 2002.....	44
Carte 17 : Zones brûlées en 2002 dans les aires de conservations.....	45

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Extrait ETM+ de Landsat 194_051 du 17 décembre 2002.....	10
Figure 2 :Composition 3/2/1 AVHRR NOAA de jour du 29 / 11/ 2002, du Burkina	11
Figure 3 : Méthodologie de détermination des zones brûlées et d'occurrences des feux par province.....	18
Figure 4 : Distribution spatiale des foyers de feux en 2002	34
Figure 5 : Proportion des superficies brûlées par province	35
Figure 6 : Proportions des superficies précocement, tardivement et doublement brûlées en 2002.....	39
Figure 7 : Evolution temporelle décadaire des superficies brûlées en 2002.....	43
Figure 8 : Evolution temporelle mensuelle des superficies brûlées en 2002.....	43

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Situation des données NOAA.....	20
Tableau 2 : Superficies brûlées tardivement ou précocement en 2002 par province.....	29
Tableau 3 : Superficies totales brûlées en 2002 par province.....	31
Tableau 4 : Classification des provinces selon l'importance des superficies tardivement brûlées.....	33

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : TDR de l'étude.....	50
Annexe 2 : Listing des scènes ETM+ de Landsat utilisées	58
Annexe 3 : Fiche d'enquête sur les feux au Burkina Faso	59
Annexe 4 : Listing des images AVHRR NOAA de nuit utilisées	61

Annexe 5 : Listing des images AVHRR NOAA de jour utilisées	63
Annexe 6 : Occurrences décadaires, mensuelles et annuelle des feux.....	66
Annexe 7 : Cartes mensuelles d'occurrence de feux.....	69

SIGLES ET ABREVIATIONS

μm	micromètre
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
ETM+ de Landsat	Enhanced Thematic Mapper Plus de Landsat
Ha	hectare
LAC	<i>Local Area Coverage</i>
MLC	Maximum Likelihood Classification (classification par maximum de vraisemblance)
NOAA 16	National Oceanic and Atmospheric Administration
$^{\circ}\text{K}$	degré Kelvin
PNGT II	deuxième Programme National de Gestion des Terroirs
TDR	Termes de référence
UTM	Universal Transverse Mercator (projection universelle transverse de Mercator)

REMERCIEMENTS

Nous voudrions qu'il nous soit permis d'adresser nos remerciements à certaines personnes qui ont contribué à la réalisation ou à l'amélioration du présent travail. Derechef, nous remercions le PNGT2 pour la confiance qu'elle a placée en nous pour la réalisation de l'étude.

Par ailleurs, nous disons particulièrement merci à Mme Séraphine SAWADOGO, PhD pour sa participation active tout au long de l'exécution du travail entre autres dans l'élaboration de la méthodologie et la rédaction du rapport.

Nous disons également merci à toutes les personnes qui étaient présentes lors de l'atelier de restitution de l'étude, pour leurs critiques et leurs apports techniques.

I CONTEXTE DE L'ETUDE

Dans la zone intertropicale en général, le feu apparaît comme l'un des facteurs les plus actifs de la transformation des paysages. Il a ainsi été montré que le feu contribue à une augmentation des gaz à effet de serre et constitue une menace pour la diversité biologique.

Au Burkina Faso, les feux de brousse ont toujours constitué un phénomène récurrent et contribuent à la dégradation des ressources naturelles, notamment lorsqu'ils interviennent pendant la période sèche. En effet, cette période correspond déjà à un moment de stress de la végétation et les feux qui y surviennent se révèlent destructeurs. Les feux qui ont lieu à cette période sont qualifiés de feux tardifs, contrairement aux feux précoces qui interviennent en début de saison sèche pendant que les herbacées sont encore vertes. Les feux précoces sont souvent allumés à des fins d'aménagement forestier ou pastoral. Ils ont lieu généralement entre octobre et décembre selon la durée de la pluviométrie. De manière générale, les feux tardifs sont importants au Burkina Faso et contribuent à la dégradation du milieu. C'est ce qui justifie entre autres, le choix de ce facteur dans le dispositif de suivi environnemental élaboré par le PNGT2 en 2002.

Ainsi, pour mieux appréhender ce facteur négatif d'impact environnemental, une cartographie des feux à l'échelle nationale apparaît incontournable. Selon le dispositif de suivi environnemental, la cartographie des feux devrait faire ressortir les occurrences de feux et les superficies brûlées que année au Burkina Faso. L'année 2002 est l'année de référence.

L'imagerie satellitale AVHRR de NOAA (LAC) est l'outil de base pour la cartographie des feux (Rasmussen *et al*, 2002).

Le présent rapport répond aux TDR (annexe 1) et présente les résultats des traitements des différentes images NOAA. Il est structuré en quatre parties essentielles :

- après une brève description du type d'images utilisées, la méthodologie est présentée ;
- ensuite, les résultats des traitements sont présentés par décade, par mois, par an et par province ;
- par la suite, une analyse des résultats est faite ;
- enfin le dernier point du rapport aborde les conclusions et recommandations pour le suivi et la gestion des feux de brousse au Burkina Faso.

Il convient également de mentionner que :

- l'ensemble des résultats de traitement d'images AVHRR de NOAA (LAC) sont synthétisés de façon journalière, décadaire, mensuelle puis annuelle et contenus dans un CD ROM accompagnant le présent rapport ;
- la méthodologie présentée fait office de guide technique pour les prochains travaux de cartographie.

1.1 OBJECTIFS

L'objectif global de la présente étude est de réaliser une cartographie des feux de brousse au Burkina Faso pour l'année 2002 à partir des images AVHRR de NOAA 16 (LAC).

Les objectifs spécifiques sont :

- mettre en évidence les occurrences journalières puis mensuelles et annuelles de feux de brousse, par province et pour tout le pays au cours de l'année 2002, avec un accent sur les types de feux,

- établir les cartes journalières puis mensuelles et annuelles de l'ampleur des zones brûlées, par province et pour tout le pays au cours de l'année 2002,
- estimer les statistiques de l'occurrence des feux et des zones brûlées par mois, par année, pour chacune des provinces et pour tout le pays pour l'année 2002,
- présenter un guide technique montrant une méthodologie de cartographie des feux de brousse, qui servira pour la réédition du travail dans les années à venir.

1.2 IMAGES UTILISEES POUR L'EVALUATION SPATIO-TEMPORELLE DES FEUX EN 2002

Pour la présente évaluation des feux au Burkina, les images NOAA AVHRR ont été utilisées. Elles sont composées d'images journalières LAC de nuit d'une part et de jour d'autre part et couvrent les huit (8) mois de saison sèche 2002 :

- Janvier à Mai 2002 pour les feux tardifs;
- de la 2^{ème} décennie d'Octobre à Décembre 2002 pour les feux précoces.

Le capteur AVHRR de la série des satellites NOAA est un radiomètre à 4 ou 5 canaux de balayage qui détecte la radiation émise ou réfléchiée par la terre dans le visible, l'infrarouge moyen ou lointain du spectre électromagnétique. Ce capteur possède deux avantages majeurs pour la surveillance des feux. Il fournit tout d'abord une couverture journalière globale à une résolution moyenne qui est essentielle pour travailler en temps quasi-réel. Ensuite, il jouit d'une large couverture spectrale qui passe du visible (canal 1: 0,63 μm), au proche infrarouge (canal 2: 0,83 μm), à l'infrarouge moyen (canal 3: 3,4 μm) jusqu'à l'infrarouge thermique (canaux 4-5: 10-12 μm).

Chacun de ces 5 canaux met en relief certains paramètres des feux.

- dans le visible, la bande 1 (0.58 – 0.68 μm) est généralement utilisée pour la cartographie de la surface de la terre et celle des nuages pendant la journée. La fumée peut être discernée dans le canal visible et par conséquent, les mesures du canal 1 peuvent être employées pour déduire l'émission d'aérosols.
- la bande 2 du proche infrarouge (0.725-1.1 μm) permet de cartographier les plans d'eau et le couvert végétal;

L'extension des surfaces brûlées peut être estimée à partir de la différence de réflectance entre les canaux visible et proche infrarouge.

- la bande 3 de l'infrarouge moyen (3.55 – 3.93 μm) est utilisée pour la cartographie de la température de la surface des mers et celle des nuages en période nocturne. Ce canal est le plus sensible au nombre de feux (feux vifs) ;
- la bande 4 de l'infra rouge thermique (10.3 - 11.3 μm) sert également à la cartographie de la température de surface et celle de jour et de nuit des nuages;
- enfin, une autre bande de l'infra rouge thermique notamment la bande 5 (11.5 – 12.5 μm), est aussi utilisée pour la cartographie de la température de surface.

Les deux canaux de l'infrarouge thermique (bandes 4 et 5) peuvent aussi être utilisés pour déterminer la température du feu et son étendue dans un pixel.

De manière globale, le capteur AVHRR du satellite NOAA peut être utilisé pour détecter soit les feux actifs ou vifs (canal 3 d'images de nuit), soit les traces de ceux-ci (zones brûlées) et par conséquent leur étendue spatiale (compositions des canaux 1,2 et 3 d'images de jour).

Les images LAC (Local Area Coverage) de résolution 1km * 1km utilisées pour la présente étude sont de pleine résolution (5 bandes) et proviennent de la station de réception de NOAA 16 du centre AGRHYMET de Niamey.

Les images de jour ont été utilisées pour évaluer les superficies brûlées tandis que les images de nuit ont servi à la détermination des foyers de feux. Il faut mentionner cependant que l'heure d'acquisition des images de nuit (entre 2 H et 3 H du matin) n'a pas permis de détecter de manière très exhaustive les feux actifs.

II METHODOLOGIE DE TRAITEMENT DES IMAGES SATELLITALES POUR LA DETECTION DES FEUX DE BROUSSE

2.1 TRAITEMENTS PRELIMINAIRES DES IMAGES DE NUIT

2.1.1 Importation des images

Une première étape a consisté à importer les images brutes de nuit livrées par le Centre AGRHYMET de format QORUM quantisées en 16 bit pour les lire dans le logiciel Winchips. Le logiciel Winchips a été utilisé pour l'importation et la calibration des images.

2.1.2 Corrections atmosphériques et calibration des images de nuit

Pour les corrections atmosphériques, la méthode simple par normalisation avec l'angle zénithal solaire prenant en compte la déviation de la distance terre-solaire par rapport à la distance moyenne a été appliquée aux scènes entières importées. L'angle zénithal solaire est déduit des paramètres orbitaux de chaque scène.

Quant à la calibration des images de nuit, c'est-à-dire la transformation des valeurs de niveaux de gris en températures de brillance en degré Kelvin ($^{\circ}$ K), la méthode de transformation linéaire a été appliquée en utilisant les coefficients de calibration du pré-lancement générés à partir des paramètres orbitaux de l'image. Ces derniers sont obtenus à partir de fichiers textes générés lors des opérations d'importation. La calibration des images de nuit permet ainsi d'obtenir des images de température de brillance en degrés Kelvin à la place des niveaux de gris, les températures permettant la détection des foyers de feux actifs.

2.1.3 Redressement des images et corrections géométriques

La rectification ou redressement d'images permet de créer une nouvelle image géocodée par rééchantillonnage d'une image existante. Pour ce faire, plusieurs méthodes existent :

- utilisation d'une grille de redressement ;
- transformation de coordonnées du pixel de la scène non corrigée en coordonnées géographiques à partir de l'information orbitale de la scène (par exemple, transfert de coordonnées connues d'un élément visible (cours d'eau, ligne de cote) vers le système de coordonnées inconnues de la scène non corrigée, ou création d'une grille de coordonnées UTM à projeter sur la scène non corrigée).

Pour le présent travail, les corrections géométriques ont été réalisées en deux temps :

- dans un premier temps, des points de contrôle centrés sur la zone Afrique de l'Ouest de la scène NOAA ont été créés et appliqués à la scène toute entière pour le redressement par la méthode d'interpolation du plus proche voisin à l'aide du logiciel EASI PACE de PCI 6.2;
- ensuite, la méthode de correction image à image a été appliquée aux images découpées (sous-scènes centrées sur le Burkina) en référence à une sous-scène précédemment corrigée. La sous-scène de référence (également centrée sur le Burkina) a été corrigée en utilisant à la fois des points de contrôle sur la couche vectorielle des cours d'eau du Burkina et sur des séries de mosaïques de scènes ETM+ de Landsat géométriquement corrigées préexistantes, ces deux couches présentant des éléments détectables sur ladite sous-scène. Du point de vue algorithmique, le modèle mathématique polynomial du deuxième, troisième ou quatrième ordre et la méthode d'interpolation selon du plus proche voisin ont été appliqués, qu'il s'agisse de la rectification de la sous-scène de référence ou des autres sous-scènes.

2.2 DECOUPAGE DES IMAGES AUX LIMITES ADMINISTRATIVES DU BURKINA

Une fois les corrections géométriques effectuées, le découpage des images aux limites administratives du Burkina a été réalisé par la méthode de mosaïcage simple des images, c'est-à-dire une copie de la partie de la sous-scène corrigée correspondante aux limites du pays. Les fichiers vectoriels utilisés pour le géoréférencement de la sous-scène de référence sont ceux des plans d'eau et des cours d'eau de la BNDT.

2.3 DETECTION DES FOYERS DE FEUX ACTIFS A PARTIR DES IMAGES DE NUIT

Les méthodes de traitement des images pour la détection des feux à l'aide des données du capteur AVHRR de NOAA peuvent être regroupées en quatre catégories :

- les algorithmes de seuillage du canal 3 (Malingreau *et al.* 1985, Pereira & Setzer 1993);
- les algorithmes de seuillage multi-canaux (Kaufman *et al.* 1990a, Belward *et al.* 1993a, Kennedy *et al.* 1994, Koffi *et al.* 1995);
- les algorithmes de seuillage contextuel (Justice & Dowty 1994, Fiasse *et al.* 1995, Stuttgart *et al.* 1995a & b);
- les algorithmes de détection des sous-pixels (Dozier 1981, Langaas 1992).

L'une ou l'autre des méthodes utilise des images représentant des facteurs de réflectance bidirectionnelle et/ou des températures de brillance. L'optimisation de la détection des feux est réalisée par l'application de masques afin d'éliminer les faux pixels de feux (masque d'eau, masque de nuages ou masque de désert (aérosols)).

Pour le présent travail, l'approche par seuillage mono-canal a été utilisée pour la détection des pixels en feu (foyers de feu). Le choix de cette méthode est liée à sa simplicité d'application. Il s'agit de détecter les feux potentiels en utilisant les seuils les plus bas possibles pour garder les feux potentiels et en même temps

ces seuils doivent être suffisamment grands pour rejeter la plupart des faux pixels. Les résultats de l'approche ont été comparés aux images des zones brûlées issues de la classification des images de jour.

2.4 TRAITEMENTS DES IMAGES DE JOUR ET DETECTION DES ZONES BRULEES

Les images de jour disponibles avaient déjà subi les prétraitements de base notamment le redressement, les corrections atmosphériques, la calibration ainsi que les corrections géométriques. Aussi, les traitements apportés à ces images ont consisté principalement à éliminer les bruits sur les images susceptibles de gêner la détection des zones brûlées :

- nuages masquant la surface terrestre;
- affleurements rocheux et plans d'eau dont les réponses spectrales peuvent être similaires à celles des zones brûlées.

La détection des zones brûlées a été réalisée avec les images de jour sur la base des canaux 1, 2 et 3 de NOAA. La méthode utilisée a consisté en une combinaison de ces bandes suivie d'un rehaussement du contraste pour mieux visualiser les zones d'intérêt et d'une classification dirigée par maximum de vraisemblance (MLC). Le choix des zones d'entraînement s'est basé d'une part sur les connaissances du comportement spectral des zones brûlées. D'autre part, il fait référence à des compositions colorées 4/3/2 ou 5/4/3 de scènes ETM+ de Landsat (30m*30m de résolution spatiale) préexistantes pour différentes dates et régions du Burkina.. Le listing complet des scènes ETM+ de Landsat utilisées est fourni en annexe 2. Les figures 1 et 2 montrent respectivement une partie de scène ETM+ de Landsat (composition 4/3/2) et une image AVHRR de NOAA (LAC) composition 3/2/1 de jour, mettant en exergue les zones brûlées.

Figure 1 : Extrait ETM+ de Landsat 194_051 du 17 décembre 2002

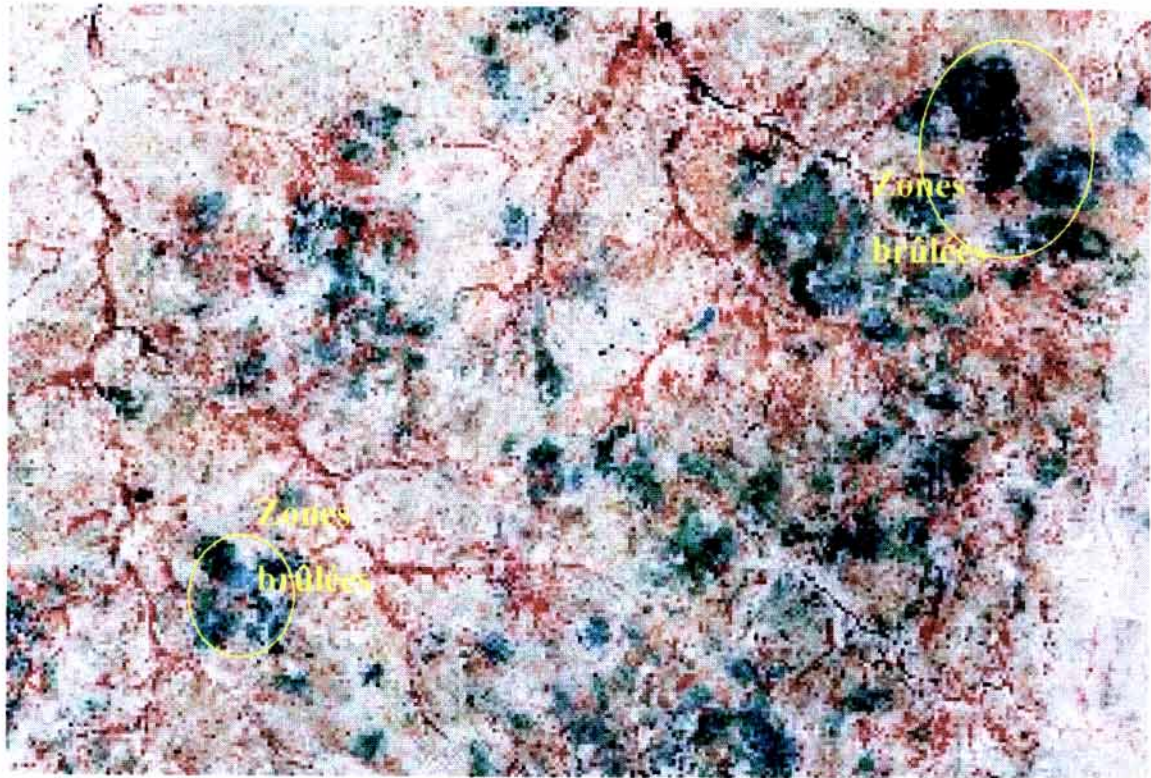


Figure 2 :Composition 3/2/1 AVHRR NOAA de jour du 29 / 11/ 2002, du Burkina



2.5 METHODES D'INTERPRETATION ET D'ANALYSE DES RESULTATS

La traduction pratique des méthodes de traitement des images décrites plus haut a été effectuée en plusieurs étapes :

1. intégration des résultats de traitement des images journalières pour établir des données décadaires (plus faciles à analyser) ;

2. détermination des zones et superficies brûlées et des foyers de feux actifs selon l'unité de temps désirée (décade, mois ou année) ;
3. vérification de la qualité des résultats.

2.5.1 Intégration décadaire des données

2.5.1.1 Occurrences décadaires de feux et surfaces brûlées décadaires cumulatives

Les images journalières d'occurrence des feux actifs et celles des surfaces brûlées ont été respectivement intégrées sur 10 jours pour obtenir des images décadaires en vue de faciliter l'interprétation et l'analyse des données. La méthode utilisée est la simple addition des données sur 10 jours (modèle1) suivie d'une assignation de la valeur 1 aux pixels d'intérêt et de 0 pour le reste (modèle 2).

$$\text{ImgDec}(i_{\text{int}}) = \text{imgJr1} + \text{imgJr2} + \dots + \text{imgJr10} \text{ (modèle 1)}$$

$\text{ImgDec}(i_{\text{int}})$ = image intégrée de la décade (i)

imgJr1 = image du jour 1 de la décade (i)

imgJr10 = image du jour 10 de la décade (i)

$$\text{ImgDec}(i) = \text{if } (\text{ImgDec}(i_{\text{int}}) = 0 \text{ then } \text{ImgDec}(i) = 0 ; \text{ else } \text{ImgDec}(i) = 1; \text{ endif} ;$$

(modèle 2)

$\text{ImgDec}(i)$ = Image décadaire dans le domaine des valeurs 0 et 1

Cette méthode d'intégration décadaire des données est valable aussi bien pour les images de jour que celles de nuit. Toutefois, si elle permet d'obtenir les occurrences (foyers de feux) décadaires définitives dérivant des traitements des images de nuit, elle donne en revanche les zones brûlées décadaires cumulées

dérivées des images de jour. Il va sans dire que la détermination des zones brûlées strictement décadaires va au delà de l'application de ces deux modèles.

2.5.1.2 Détermination des surfaces brûlées décadaires définitives

La méthode de détermination des zones brûlées strictement valables pour une décennie donnée s'est essentiellement basée sur un certain nombre d'hypothèses qui ont été vérifiées par des enquêtes menées sur le terrain :

1. dans le domaine du visible, les traces d'un feu sont détectables sur plusieurs jours voire plusieurs décades. Cependant, la durée de la présence des traces sur l'image varie selon le type de feux (précoces ou tardifs) ;
2. du fait des repousses, un feu précoce n'est plus détectable au bout de 2 décades. Par contre, le feu tardif peut être détecté durant 2 à 4 décades;
3. une zone peut être brûlée une seconde fois si et seulement si elle avait été précocement brûlée notamment en Octobre, Novembre ou pendant la première décennie de décembre. Cependant cette hypothèse n'est valable que pour les zones sud soudanaises.
4. Les notions de feux précoces et tardifs sont très relatives. La durée de chacun de ces feux dépend étroitement de la pluviométrie de la saison. Dans le cas des feux précoces, ils ont lieu au moment où le tapis herbacé n'est pas encore complètement sec et la végétation ligneuse n'a pas encore entamé sa période de stress. Ces feux ne sont pas dangereux et sont même conseillés en prévention des feux tardifs. Ces derniers interviennent en pleine période de stress de la végétation et pendant que le tapis herbacé complètement sec constitue un combustible potentiel. Ils se révèlent très destructeurs. Comme énoncé plus haut, nous avons considéré pour la présente étude avec le soutien technique des structures spécialisées, un feu

précoce comme allant de octobre à décembre et il est tardif lorsqu'il a lieu entre janvier et mai.

Ces hypothèses permettent de définir les modèles suivants pour détecter les zones et superficies réellement brûlées par décade, considérant que les données décadaires obtenues jusqu'au modèle 2 sont des résultats cumulés :

$\% (i_F) = \text{if } (\%(i-1) = 1) \text{ or } (\%(i-2) = 1) \text{ then } \% (i_F) = 0; \text{ else } \% (i) ; \text{ endif ;}$

(modèle 3)

$\% (i_F) = \text{if } (\%(i-1) = 1) \text{ or } (\%(i-2) = 1) \text{ or } (\%(i-3)=1) \text{ or } (\%(i-...n) \text{ then } \% (i) = 0;$
 $\text{else } \% (i); \text{ endif ; (modèle 4)}$

$\% (i_F) = \text{carte des superficies brûlés au cours de la décade } i$

$\% (i) = \text{image de la décade } i$

$\%(i-1) = \text{image de la décade } i-1$

$\%(i-2) = \text{image de la décade } i-2$

$\%(i-3) = \text{image de la décade } i-3$

$\%(i-...n) = \text{image de la décade «tardive» } i-...n$

Par exemple, si (i) est l'image de la décade 3 de Janvier, l'application du modèle 4 impliquerait les intrants suivants :

$\% (i_F) = \text{carte des superficies brûlés au cours de la décade 3 de janvier ;}$

$\%(i) = \text{image de la décade 3 de janvier}$

$\%(i-1) = \text{image de la décade 2 de janvier}$

$\%(i-2) = \text{image de la décade 1 de janvier}$

$\%(i-3) = \text{image de la décade 3 de décembre}$

$\%(i-4) = \text{image de la décade 2 de décembre}$

Le modèle 3 a été appliqué pour les périodes de feux précoces (Octobre à la 3^{ème} décade de Décembre 2002) et le modèle 4 aux images des périodes de feux

tardifs c'est-à-dire la période allant de la 1^{ère} Décade de janvier à Mai 2002. Notons toutefois que par manque d'images d'octobre, novembre et décembre 2001, les surfaces brûlées des première et deuxième décade de janvier 2002, ont été calculées en utilisant le modèle 3. Il aurait été important d'avoir ces images de 2001 pour y appliquer les modèles et en déduire correctement les superficies brûlées de janvier 2002, ce mois comportant en effet, les zones brûlées en novembre, surtout décembre 2001 selon nos hypothèses. Il va sans dire qu'une prise en compte ultérieure de ces images de 2001 est indispensable pour une estimation correcte des superficies brûlées en janvier 2002.

2.5.2 Intégrations mensuelles et annuelles des données

La méthode utilisée est la simple addition des données décadaires définitives sur trois (3) décades pour le mois et pour huit (8) mois pour l'année 2002 (modèles 5 et 7 respectivement) suivie d'une assignation de la valeur 1 aux pixels d'intérêt et de 0 pour le reste (modèles 6 et 8 respectivement). Ces modèles s'appliquent aussi bien pour les occurrences des feux déduites des images AVHRR de nuit que pour les zones brûlées mensuelles et annuelles.

$$\text{ImgMois}(i_{\text{int}}) = \text{imgDeca1} + \text{ImgDeca2} + \text{ImgDeca3}$$

(modèle 5)

$\text{ImgMois}(i_{\text{int}})$ = image intégrée du mois (i)

ImgDeca1 = image de la décade 1 du mois (i)

$\text{ImgMois}(i) = \text{if } (\text{ImgMois}(i_{\text{int}}) = 0 \text{ then } \text{ImgMois}(i) = 0 ; \text{ else } \text{ImgMois}(i) = 1; \text{ endif} ;$

(modèle 6)

$\text{ImgMois}(i)$ = Image mensuelle dans le domaine des valeurs 0 et 1

$$\text{ImgAnnuelle}(i_{\text{int}}) = \text{imgMois1} + \text{ImgMois2} + \dots + \text{ImgMois8}$$

(modèle 7)

$ImgAnnuelle(i_{int}) = \text{image intégrée de l'année 2002 (i)}$

$ImgMois1 = \text{image du mois 1 de l'année 2002 (i)}$

$ImgMois8 = \text{image du mois 8 de l'année 2002 (i)}$

$ImgAnnuelle(i) = \text{if (ImgAnnuelle}(i_{int})=0 \text{ then } ImgAnnuelle(i) =0 ; \text{ else } ImgAnnuelle(i) =1; \text{ endif ;}$

(modèle 8)

$ImgAnnuelle(i) = \text{Image annuelle pour l'année 2002 dans le domaine desvaleurs 0 et 1}$

2.5.3 Superficies brûlées (en Ha) et occurrences de feux (nombre de foyers) par province

Un des objectifs de la présente étude était de déterminer les statistiques des superficies brûlées (en Ha) déductibles des traitements des images AVHRR de jour et les occurrences des feux (fréquences des foyers) issues des images de nuit et ce, pour chacune des provinces du pays. Ces statistiques sont produites pour chacune des décades, par mois et pour toute l'année 2002. Pour ce faire, une analyse spatiale par croisement de chacune des images décadaires, mensuelles ou annuelles avec la carte rasterisée des provinces du Burkina, grâce au logiciel ARCVIEW 3.2.

2.6 COMPARAISON DES RESULTATS DES TRAITEMENTS DES IMAGES DE NUIT AVEC CELLES DE JOUR

L'approche utilisée pour tester la qualité des résultats s'appuie essentiellement sur le fait que si le pixel de feu actif apparaît dans une zone brûlée, alors les résultats peuvent être estimés corrects.

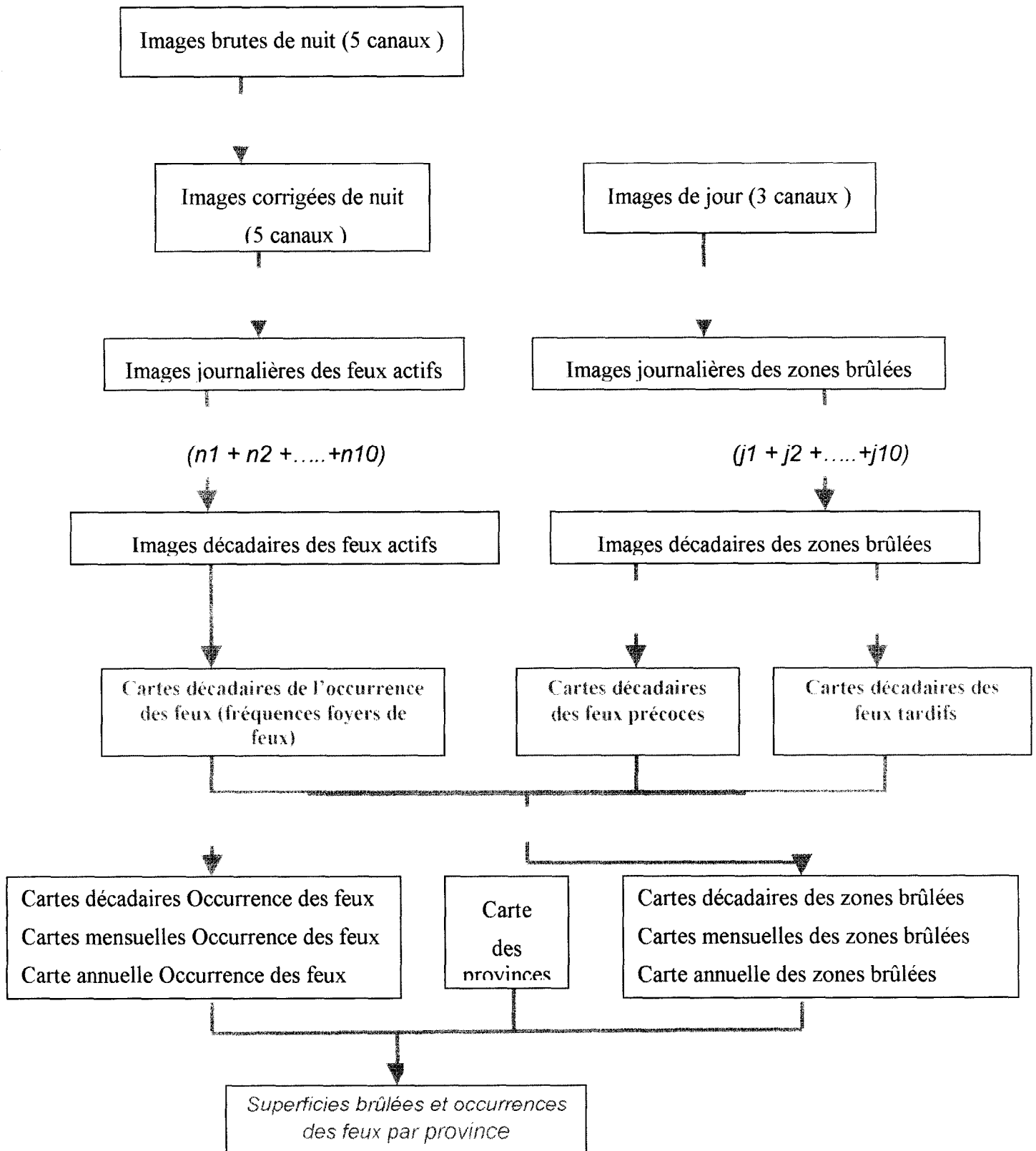
Cependant, une zone brûlée visible dans la journée peut n'avoir pas été détectée la nuit précédente compte tenu de l'heure tardive d'acquisition des images utilisées (entre 2H et 3H du matin). En effet, les enquêtes terrain ont montré que

les feux de nuit intervenaient généralement entre 18H et 21H. Ce qui signifie que la surface brûlée s'est déjà plus ou moins refroidie lors du passage du satellite.

De plus, la qualité de certaines images de jour, notamment le taux élevé de la couverture nuageuse pouvait constituer une limite à cette hypothèse. Mais l'intégration décadaire permet de la lever.

De manière globale, la figure 3 schématise la méthodologie générale de détection des superficies brûlées au cours de l'année 2002.

Figure 3 : Méthodologie de détermination des zones brûlées et d'occurrences des feux par province



2.7 ENQUETES SUR LE TERRAIN

Des enquêtes ont été menées sur le terrain afin de vérifier les hypothèses émises lors des traitements d'images satellitaires. Pour ce faire, différents services de l'environnement, de la recherche, des associations paysannes, des ONG et des Projets de développement ont été visités et soumis à un questionnaire contenu dans une fiche d'enquête (annexe 3). Ceci a permis de déceler la périodicité, la régularité et l'importance des feux dans certaines régions du pays et a aussi servi lors de l'interprétation des résultats.

III RÉSULTATS DES TRAITEMENTS D'IMAGES

3.1 LES FOYERS DE FEUX ET LES ZONES BRULEES

Les résultats des traitements des images de nuit et de jour pour la détection respective des feux actifs et des zones brûlées sont contenus dans le CD ROM qui accompagnent le présent rapport. Les images n(i) sont issues du seuillage mono-canal des images de nuit tandis que les images J(i) résultent de la classification des images de jour pour la détection des zones brûlées. Le nombre d'images n(i) et J(i) a été considérablement réduit du fait de la qualité des images initiales. En effet, plusieurs images présentaient un taux élevé de couverture nuageuse ou ne couvraient pas entièrement le Burkina. Ainsi par exemple, sur les 474 images brutes de nuit reçues du centre AGRHYMET et traitées, seules **97 images** étaient utiles pour le seuillage. Le tableau 1 donne la situation de l'ensemble des images NOAA exploitées dans le cadre de ce travail. Les détails sont fournis par les annexes 4 et 5.

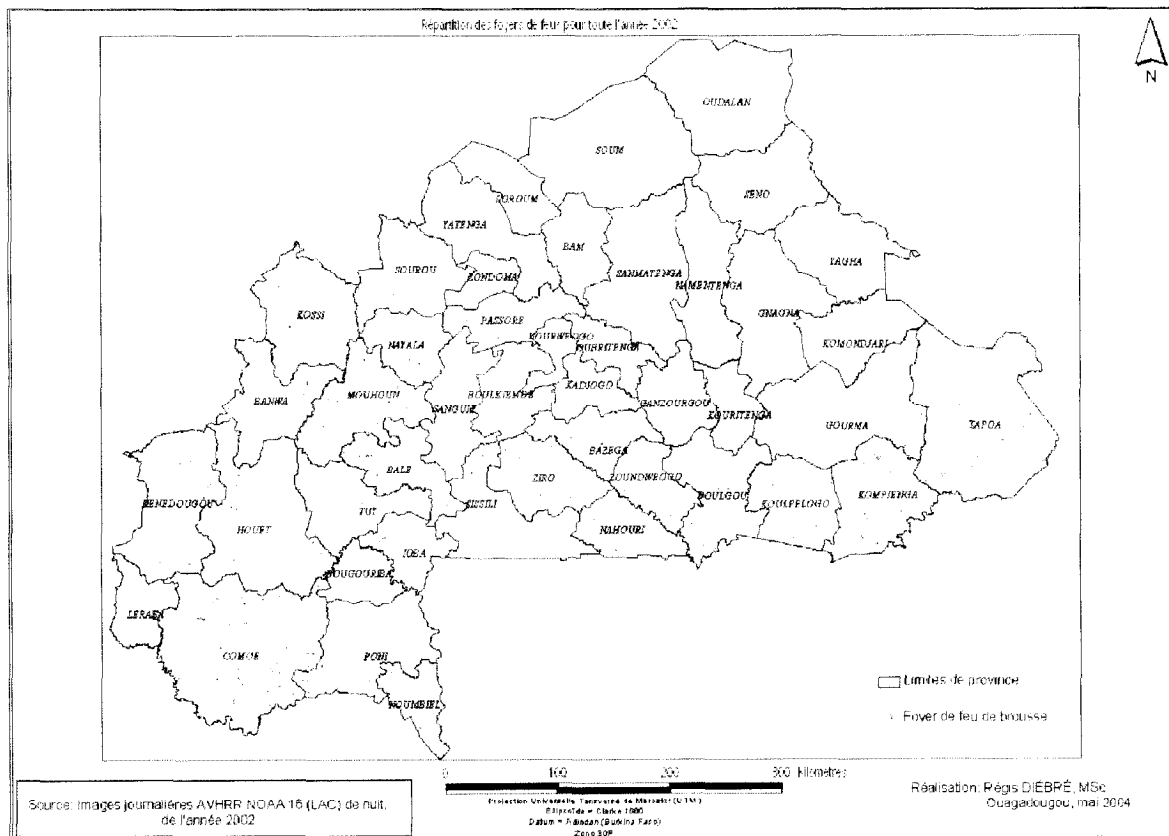
Tableau 1 : Situation des données NOAA

Mois	Images Brutes de nuit		Images de jour
	traitées	utilisées pour le seuillage	utilisées pour la classification
Janvier	60	15	21
Février	45	15	18
Mars	44	16	20
Avril	63	6	17
Mai	77	1	20
Octobre	67	12	4
Novembre	62	16	19
Décembre	56	16	20
Total	474	97	139

3.1.1 Les foyers de feux

Les foyers de feux pour l'année 2002 se dénombrent à 379 (annexe 6). Ils sont représentés pour toute l'année 2002, par la carte 1. Un foyer de feux actif est formé par un pixel isolé ou un groupe compact de plusieurs pixels sur la carte d'occurrence. Dans ce dernier cas, il va sans dire que le foyer est important et s'étend sur plusieurs kilomètres. Du point de vue temporel, l'occurrence mensuelle des foyers est exprimée sur les cartes a à h en annexe 7. L'ensemble des cartes d'occurrence selon des périodicités décadaires, mensuelles ou annuelle, est rangé dans le CD ROM accompagnant le rapport.

Carte 1 : Répartition des foyers de feux au cours de l'année 2002

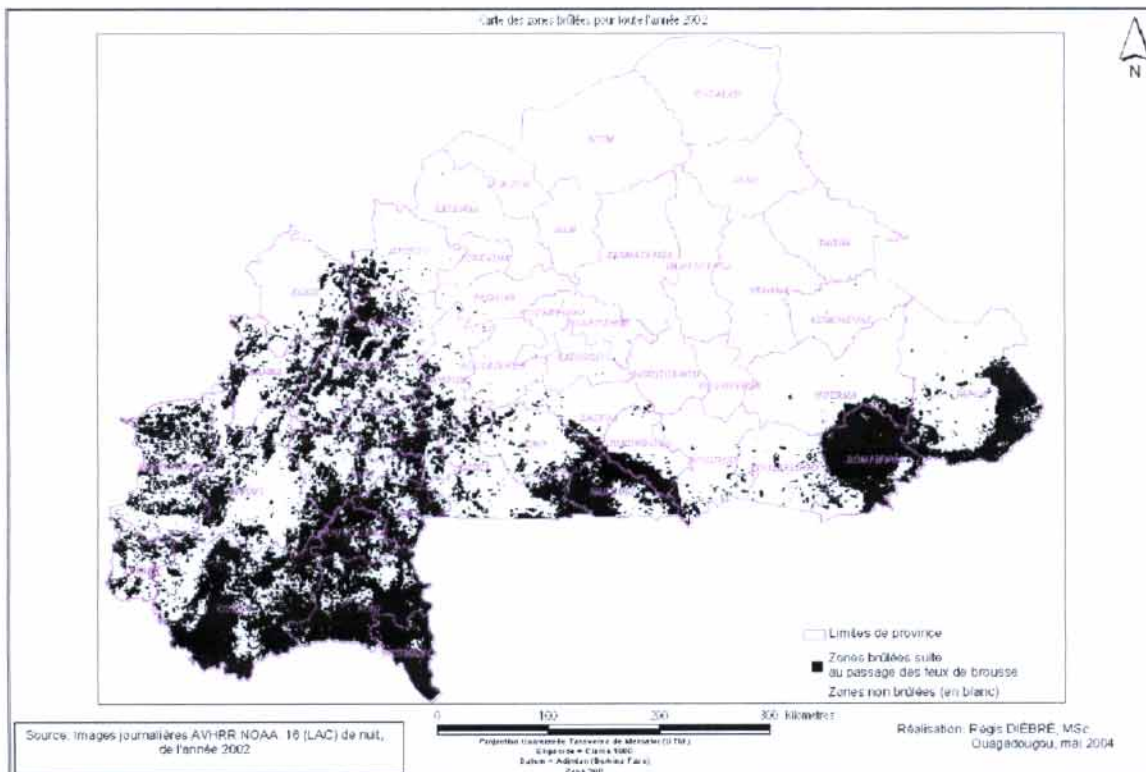


3.1.2 Les zones brûlées

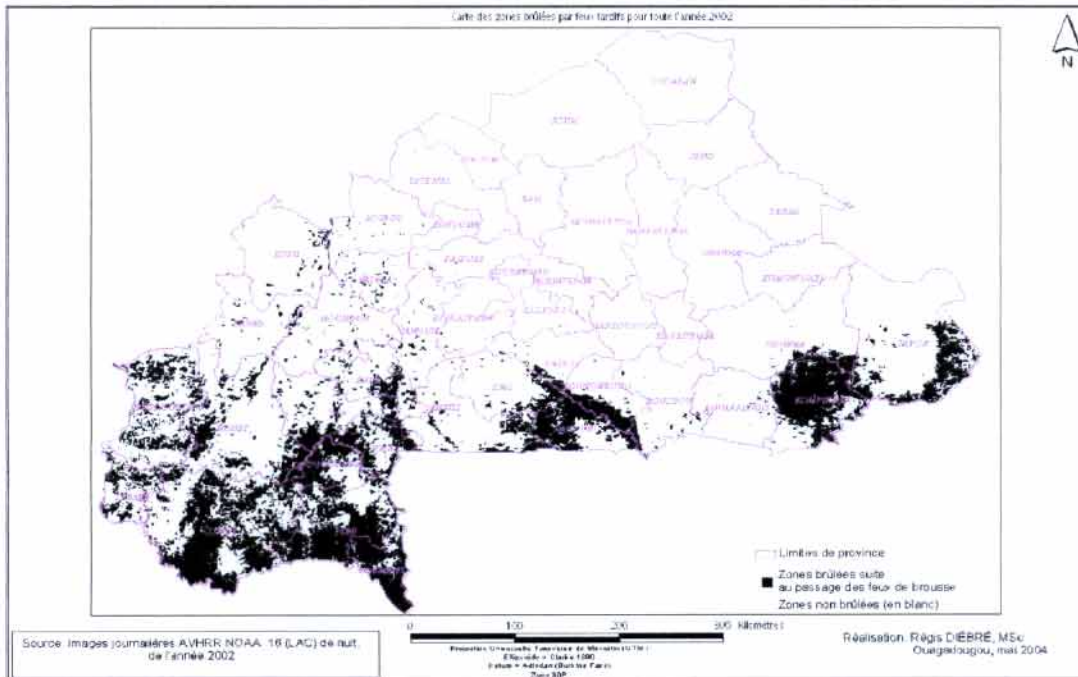
L'application des modèles 1 et 2 a permis d'obtenir les images décadaires des feux de jours tandis que les modèles 3 et 4 ont permis les résultats définitifs de la répartition spatiale des zones brûlées par décade. Les cartes mensuelles sont les résultats de l'addition des cartes décadaires (modèles 5 et 6) tandis que la carte annuelle résulte de la sommation des cartes mensuelles (modèles 7 et 8).

Les zones brûlées pour l'année 2002 sont représentées par la carte 2. Les zones tardivement et précocement brûlées pour l'année 2002 sont représentées respectivement par les cartes 3 et 9. Du point de vue temporelle, les zones mensuellement brûlées sont représentées sur les cartes 4 à 8 pour les feux tardifs et 10 à 12 pour les feux précoces. L'ensemble des cartes de zones brûlées selon des périodicités décadaires, mensuelles ou annuelle, sont rangées dans le CD ROM accompagnant le rapport. L'annexe 8 en donne les résultats détaillés.

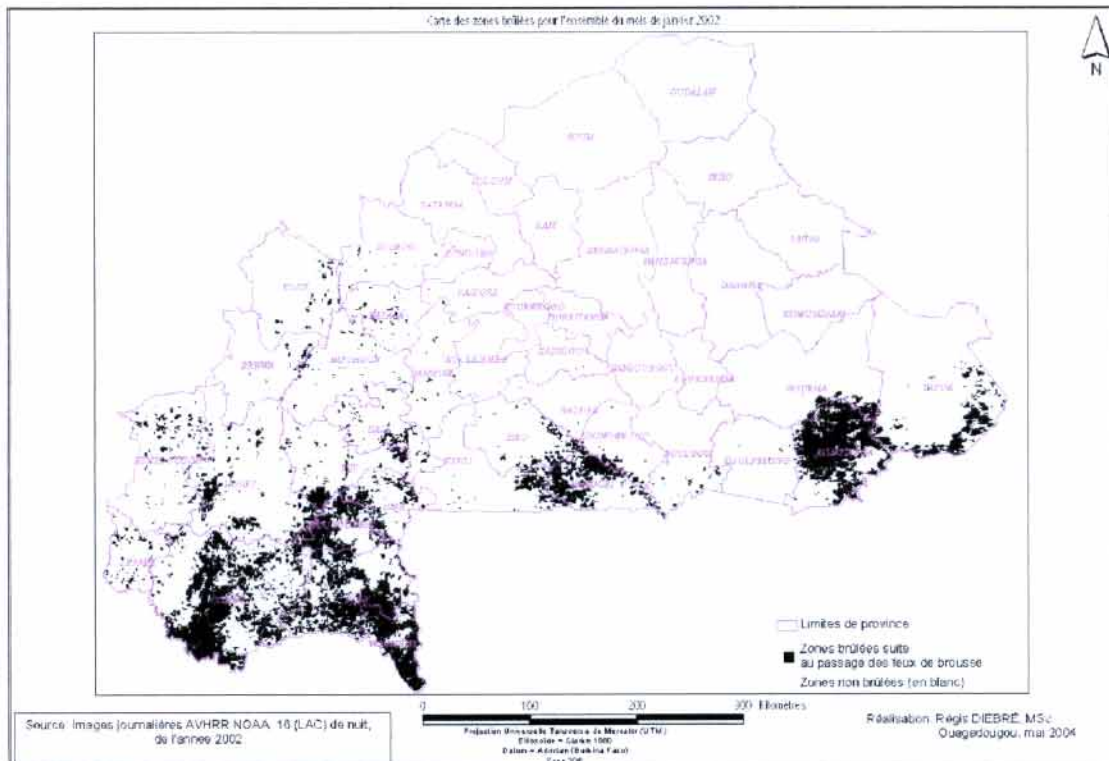
Carte 2 : Zones brûlées en 2002 (feux précoces et feux tardifs)



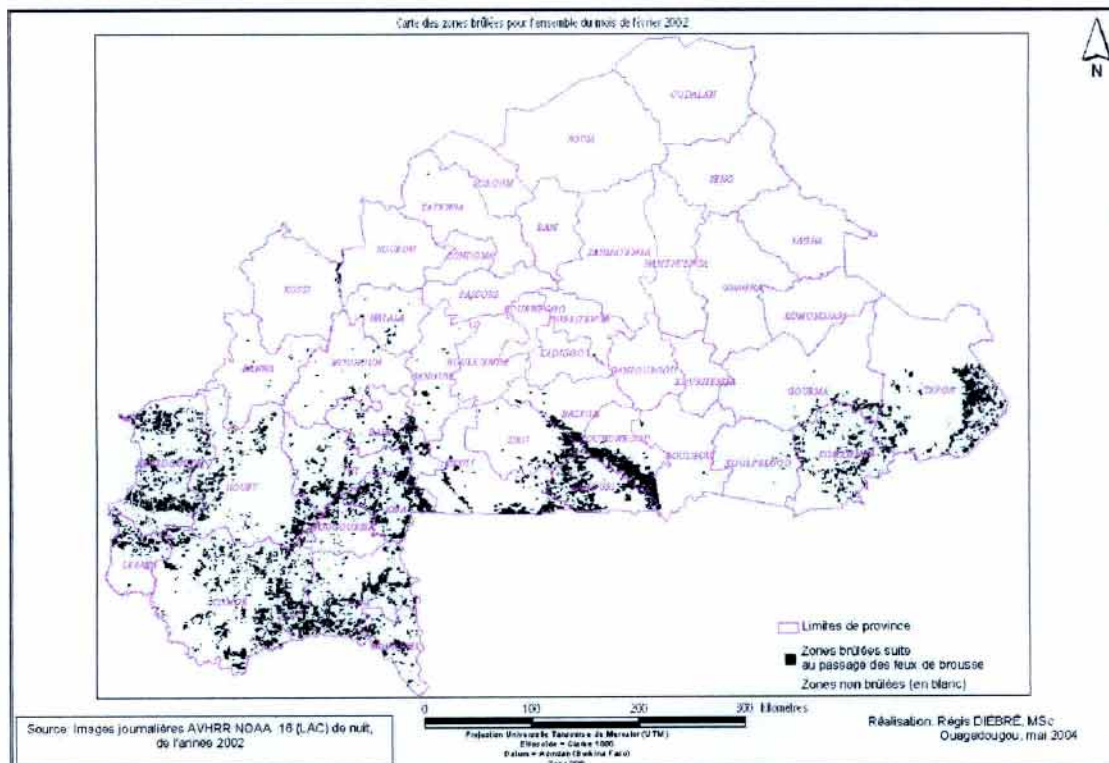
Carte 3 : Zones tardivement brûlées en 2002



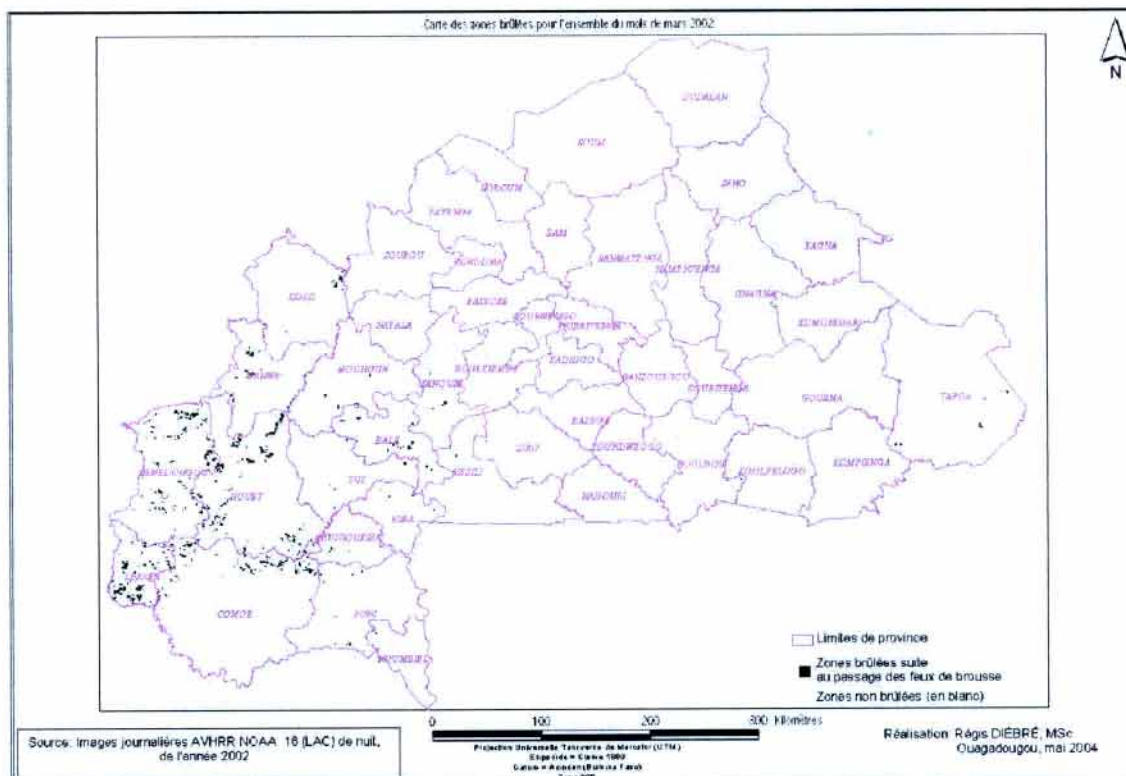
Carte 4 : Zones brûlées en janvier 2002 (incluant décembre 2001)



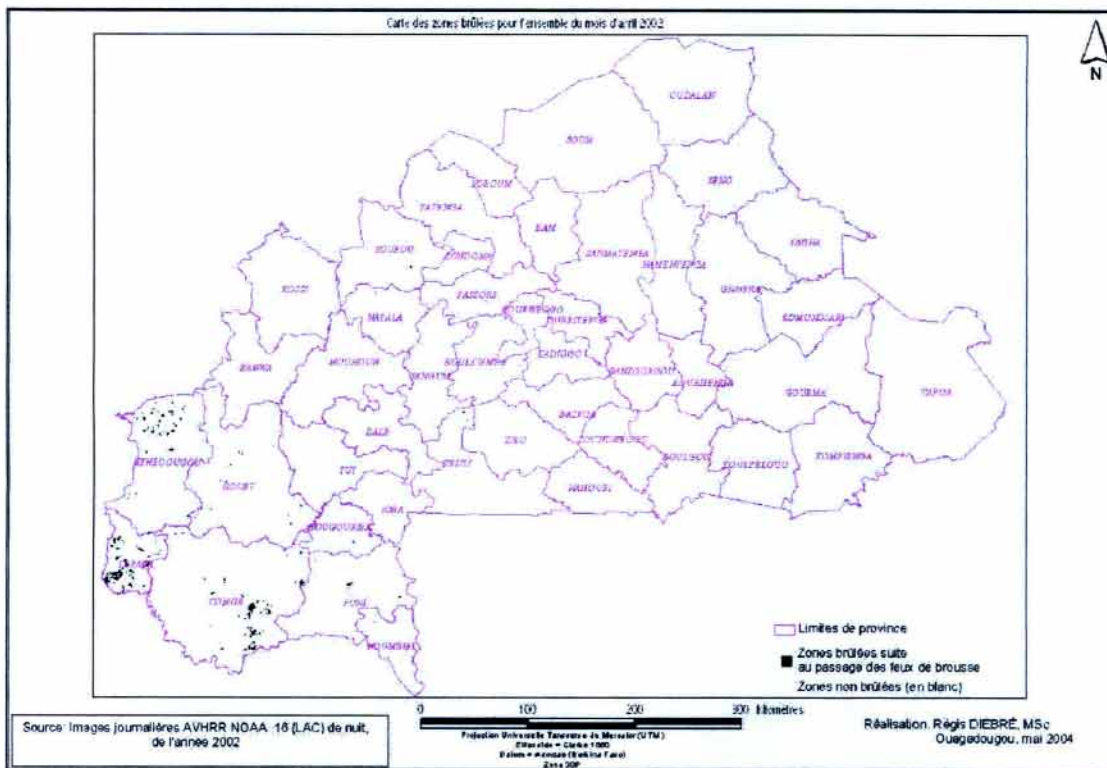
Carte 5 :Zones brûlées en février 2002



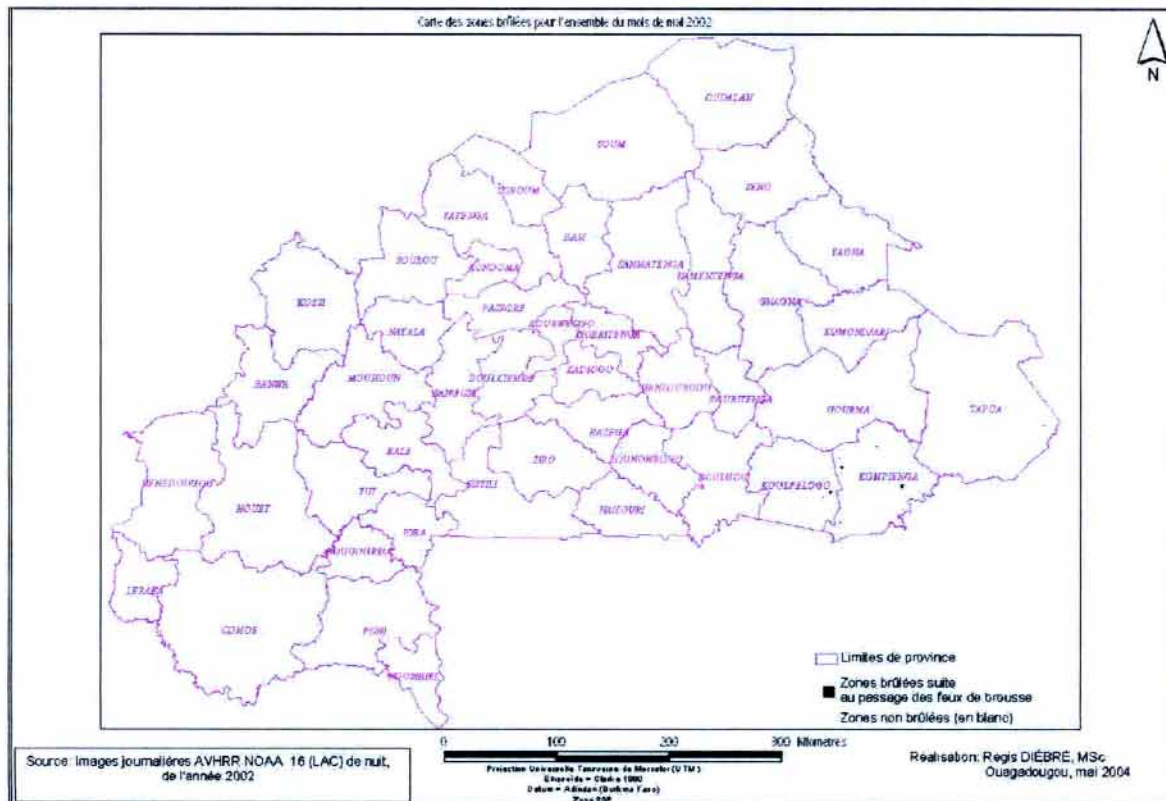
Carte 6 :Zones brûlées en mars 2002



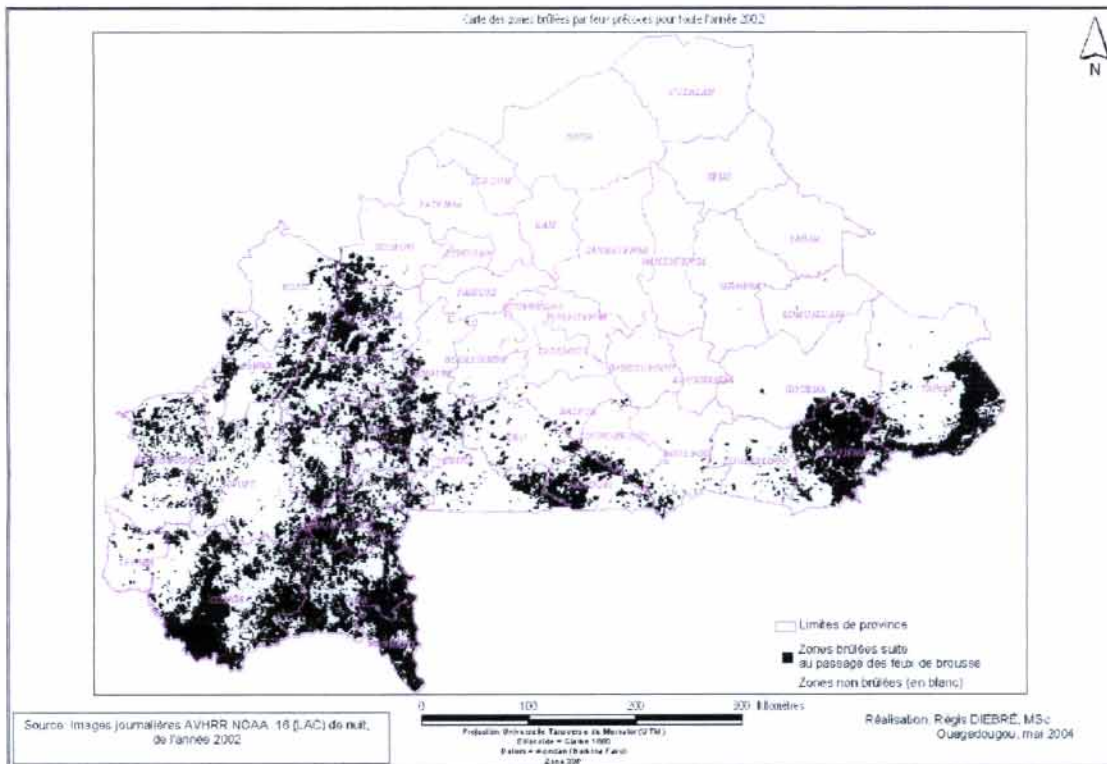
Carte 7 :Zones brûlées en avril 2002



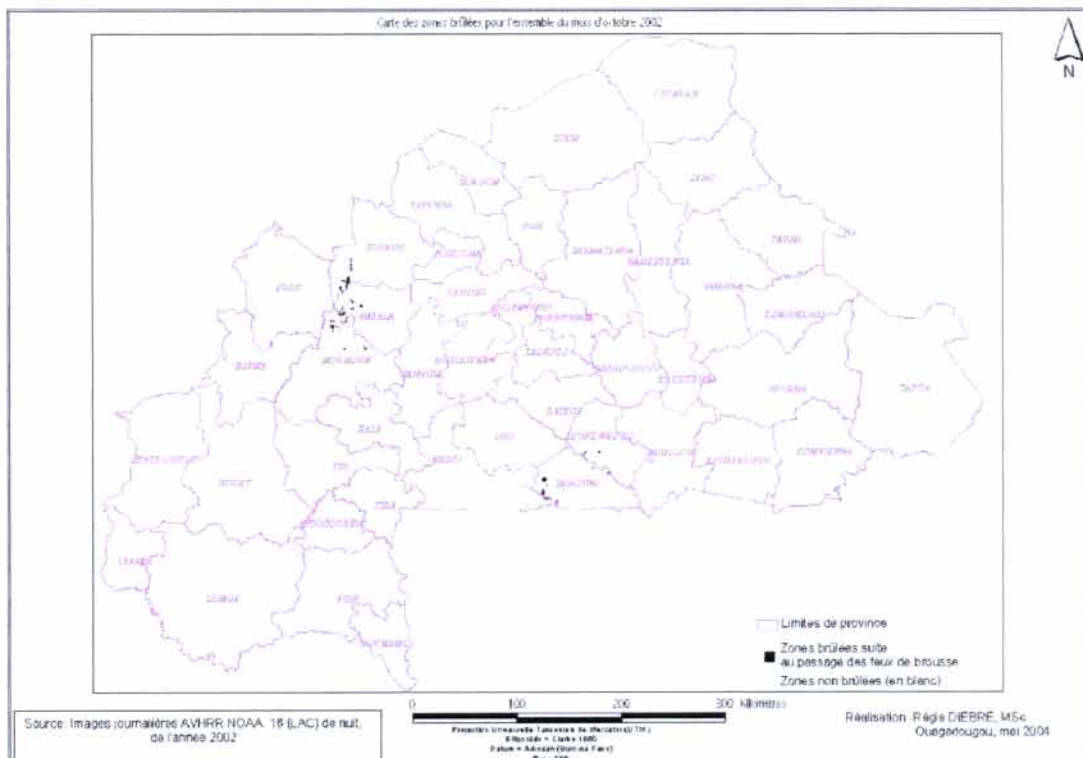
Carte 8 :Zones brûlées en mai 2002



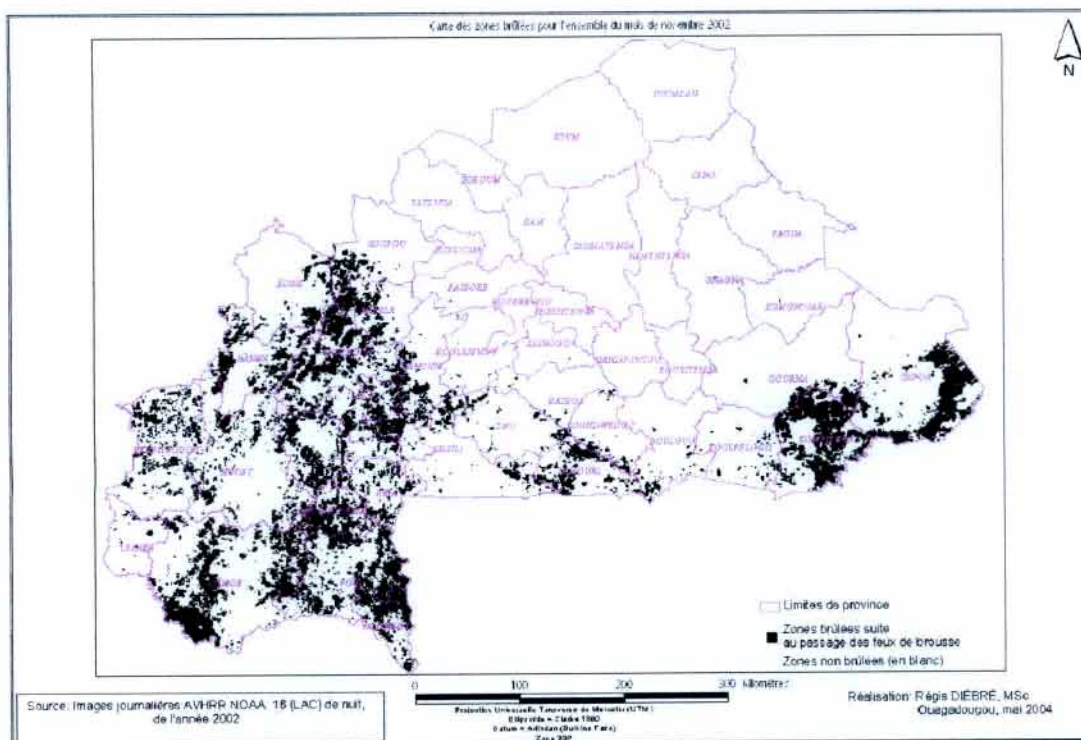
Carte 9 : Carte des zones précocement brûlées en 2002



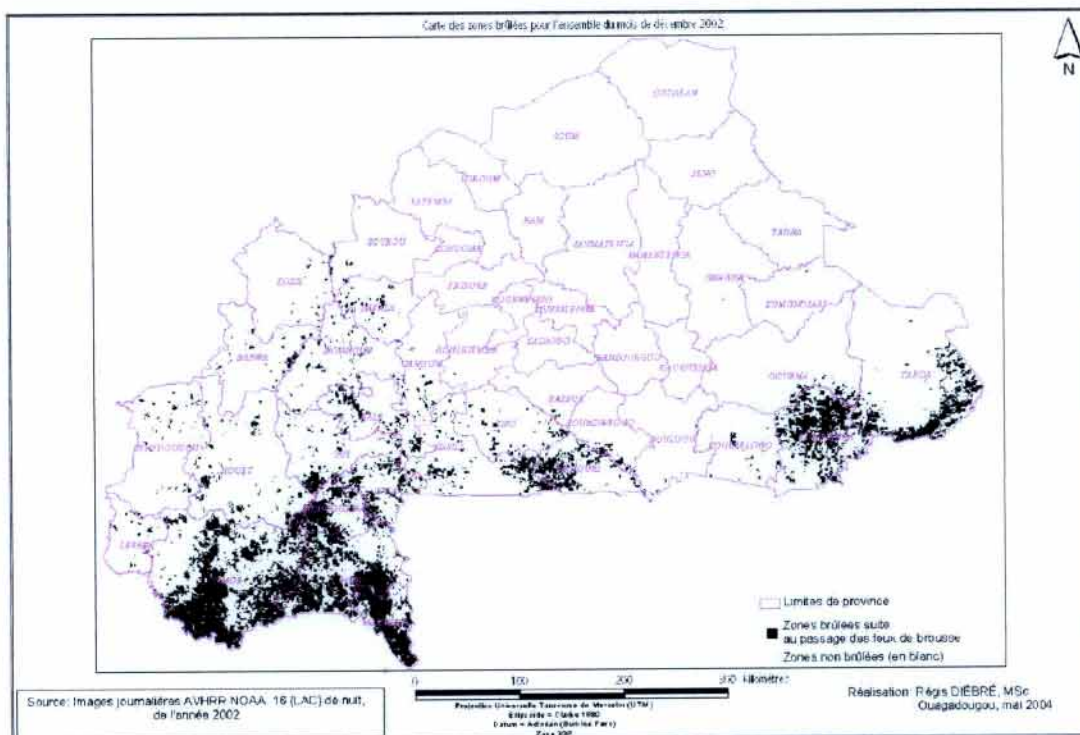
Carte 10 : Carte des zones brûlées en octobre 2002



Carte 11 : carte des zones brûlées en novembre 2002



Carte 12 : carte des zones brûlées en décembre 2002



3.2 SUPERFICIES BRULEES ET OCCURRENCES DES FEUX PAR PROVINCE

Les superficies brûlées et les occurrences de feux par province, déduites par croisement respectif des cartes de zones brûlées et des cartes des foyers de feux avec la carte des provinces du Burkina sont contenues dans les tableaux 2 et 3.

Du point de vue spatiale, l'importance des feux au Burkina peut être exprimée en termes de classes définies sur la base de l'ampleur des superficies tardivement brûlées par province. Pour la présente étude, tout feu intervenant à partir de la première décade de janvier est considéré comme feu tardif. Ces types de feux se révèlent en effet dangereux pour la végétation. Cinq classes ont ainsi été définies comme suit :

- *Classe 1* : provinces peu concernées (superficie brûlée < 1%) ;
- *Classe 2* : provinces moyennement concernées (1 à 15% de la superficie brûlée) ;
- *Classe 3* : provinces concernées (16 à 40 % de la superficie brûlée) ;
- *Classe 4* : provinces fortement concernées (41 à 60% de la superficie brûlée);
- *Classe 5* : provinces très fortement concernées (plus de 60 % de la superficie brûlée).

Les figures 4 et 5 décrivent les provinces en termes d'occurrence des feux et d'importance de zones brûlées par province tandis que les regroupements de provinces selon cette classification sont représentées par le tableau 4. Les résultats sont spatialisés sur la carte 13.

Un autre regroupement pourrait être fait sur la base des superficies brûlées aussi bien par feux précoces que par feux tardifs, selon les critères ci-après et synthétisés par la carte 14.

- *Classe 1* : provinces peu concernées (superficie brûlée <1%) ;

- Classe 2 : provinces moyennement concernées (1 à 25% de la superficie brûlée) ;
- Classe 3 : provinces concernées (26 à 50 % de la superficie brûlée) ;
- Classe 4 : provinces fortement concernées (51 à 75% de la superficie brûlée);
- Classe 5 : provinces très fortement concernées (plus de 75 % de la superficie brûlée).

Tableau 2 : Superficies brûlées tardivement ou précocement en 2002 par province

Provinces	Superficies tardivement brûlées en Ha	% brûlée tardivement	Superficies précocement brûlées en Ha	% brûlée précocement
BAM	0	0,00	0	0,00
BANWA	17 700	3,05	149 900	25,84
BAZEGA	23 900	6,06	9 000	2,28
BOUGOURIBA	153 300	55,20	180 800	65,11
BOULGOU	27 600	4,00	25 800	3,74
BOULKIEMDE	800	0,19	2 000	0,47
COMOE	759 600	49,29	750 400	48,69
GANZOURGOU	0	0,00	0	0,00
GNAGNA	0	0,00	500	0,06
GOURMA	57 400	5,13	64 000	5,71
HOUET	219 100	18,98	181 500	15,72
IOBA	150 300	46,03	129 600	39,69
KADIOGO	300	0,10	300	0,10
KENEDOUGOU	208 800	24,81	154 700	18,38
KOMONJDJARI	0	0,00	500	0,10
KOMPIENGA	457 700	65,67	446 800	64,10
KOSSI	21 100	2,85	65 600	8,85
KOULPELOGO	7 100	1,32	29 000	5,38

Provinces	Superficies tardivement brûlées en Ha	% brûlée tardivement	Superficies précocement brûlées en Ha	% brûlée précocement
KOURWEOGO	0	0,00	300	0,19
LERABA	88 600	29,32	17 000	5,63
LES BALES	81 900	18,07	189 200	41,74
LOROUM	0	0,00	0	0,00
MOUHOUN	20 200	2,94	283 000	41,13
NAHOURI	225 800	58,74	153 900	40,04
NAMENTENGA	0	0,00	0	0,00
NAYALA	14 800	3,98	105 700	28,41
NOUMBIEL	220 900	78,67	217 800	77,56
OUBRITENGA	400	0,14	0	0,00
OUDALAN	0	0,00	0	0,00
PASSORE	700	0,18	400	0,10
PONI	444 200	59,49	436 600	58,47
SANGUIE	18 000	3,52	93 700	18,33
SANMATENGA	300	0,03	0	0,00
SOUROU	7 500	1,25	62 100	10,38
SOUM	0	0,00	0	0,00
ZOUNDWEOGO	99 700	27,23	34 500	9,42
ZONDOMA	0	0,00	0	0,00
ZIRO	70 400	13,33	51 200	9,69
YATENGA	200	0,03	0	0,00
YAGHA	0	0,00	0	0,00
SENO	0	0,00	0	0,00
SISSILI	102 800	14,48	129 000	18,17
TUY	126 400	22,50	194 600	34,64
KOURITENGA	0	0,00	0	0,00
TAPOA	247 000	16,62	362 200	24,38
Total	3 874 500	14,19/Burkina	4 521 600	16,56/Burkina

Tableau 3 : Superficies totales brûlées en 2002 par province

Provinces	Superficies totales brûlées en Ha	% brûlée
BAM	0	0.00
BANWA	159 600	27.51
BAZEGA	30 200	7.65
BOUGOURIBA	216 000	77.78
BOULGOU	47 100	6.82
BOULKIEMDE	2 600	0.61
COMOE	962 200	62.44
GANZOURGOU	0	0.00
GNAGNA	500	0.06
GOURMA	79 100	7.06
HOUET	321 300	27.83
IOBA	201 400	61.68
KADIOGO	500	0.17
KENEDOUGOU	300 200	35.67
KOMONJDJARI	500	0.10
KOMPIENGA	535 600	76.84
KOSSI	80 500	10.86
KOULPELOGO	34 000	6.31
KOURWEOGO	300	0.19
LERABA	94 900	31.40
LES BALES	216 900	47.85
LOROUM	0	0.00
MOUHOUN	290 600	42.23
NAHOURI	252 500	65.69
NAMENTENGA	0	0.00
NAYALA	113 900	30.61
NOUMBIEL	249 500	88.85
OUBRITENGA	400	0.14
OUDALAN	0	0.00
PASSORE	1 100	0.28
PONI	566 600	75.88
SANGUIE	102 000	19.95
		0.03

Provinces	Superficies totales brûlées en Ha	% brûlée
SOUROU	64 800	10.84
SOUM	0	0.00
ZOUNDWEOGO	101 600	27.74
ZONDOMA	0	0.00
ZIRO	102 300	19.37
YATENGA	200	0.03
YAGHA	0	0.00
SENO	0	0.00
SISSILI	186 600	26.28
TUY	243 100	43.27
KOURITENGA	0	0.00
TAPOA	410 000	27.59
Total	5 968 900	21,86/Burkina

Tableau 4 : Classification des provinces selon l'importance des superficies tardivement brûlées

Classe /province	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
	Bam	Banwa	Houet	Bougouriba	Kompienga
	Boulkiemdé	Bazéga	KénéDougou	Comoé	Noumbiel
	Ganzourgou	Boulgou	Leraba	Ioba	
	Gnagna	Gourma	Les Balés	Nahouri	
	Kadiogo	Kossi	Zoundwéogo	Poni	
	Komondjari	Koumpelogo	Tuy		
	Kourwéogo	Mouhoun	Tapoa		
	Lorum	Nayala			
	Namentenga	Sanguié			
	Oubritenga	Sourou			
	Oudalan	Ziro			
	Passoré	Sissili			
	Sanmatenga				
	Soum				
	Zonoma				
	Yatenga				
	Yagha				
	Séno				
	Kouritenga				
Total	19	12	7	5	2

Figure 4 : Distribution spatiale des foyers de feux en 2002

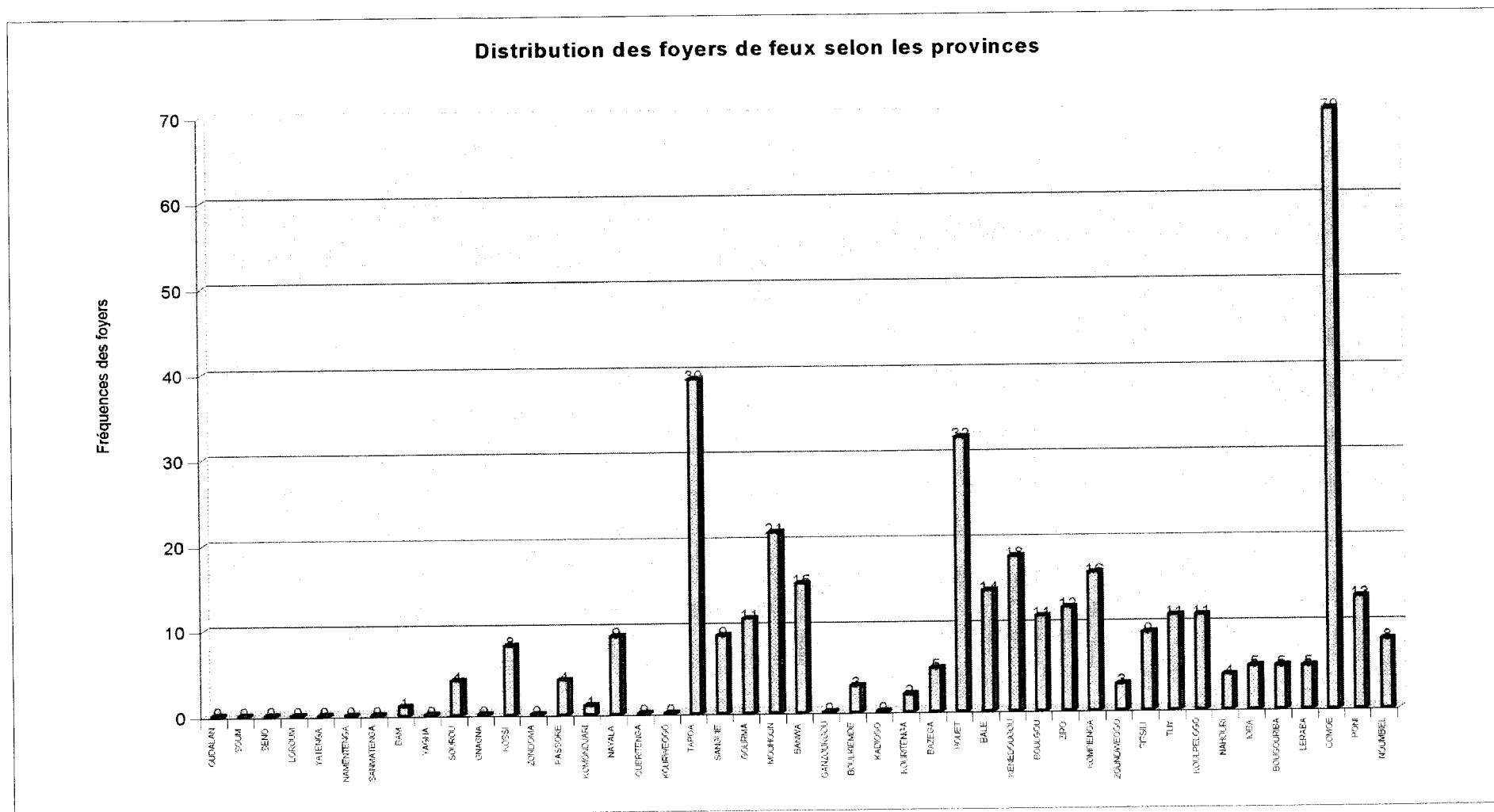
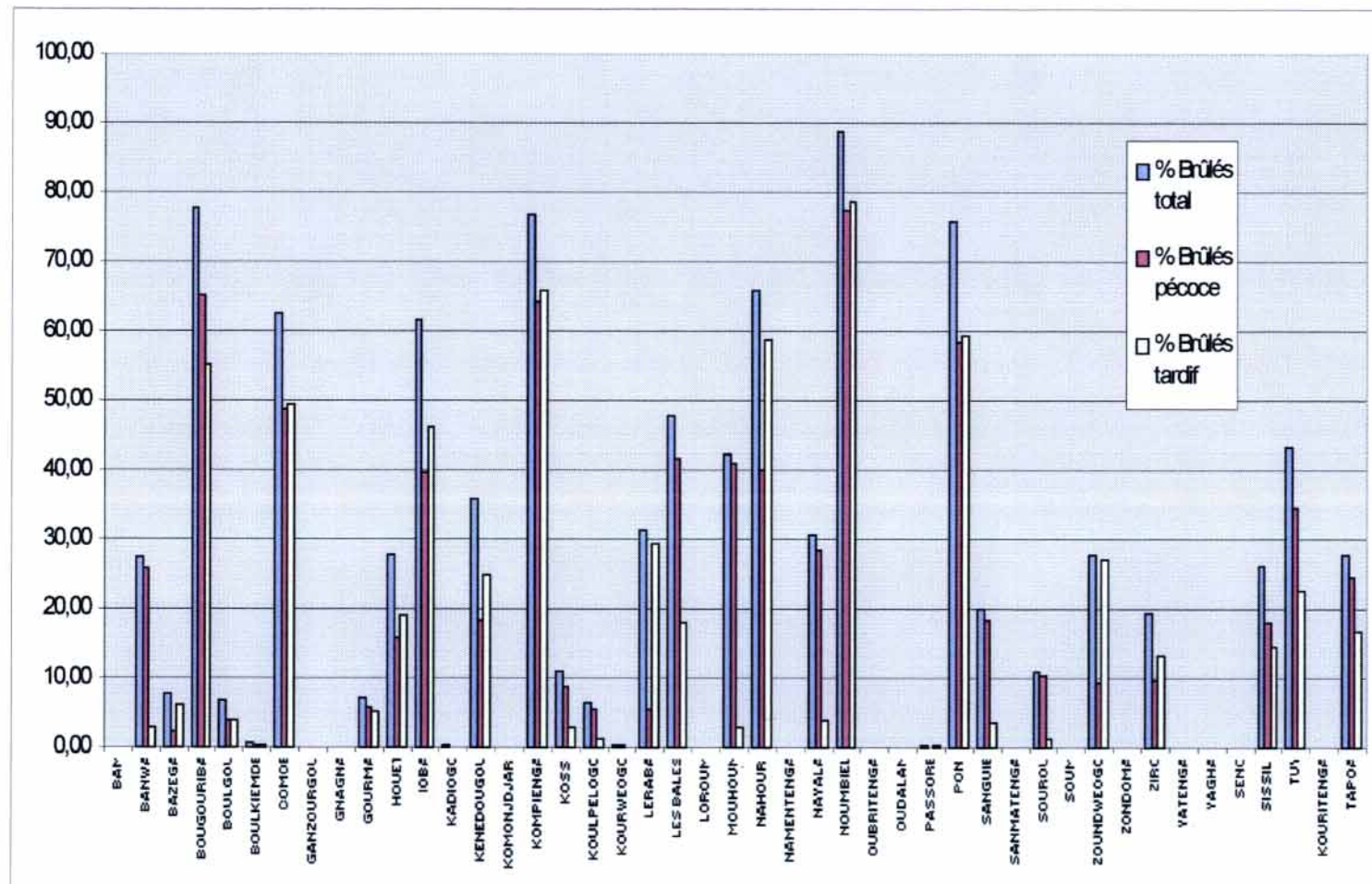
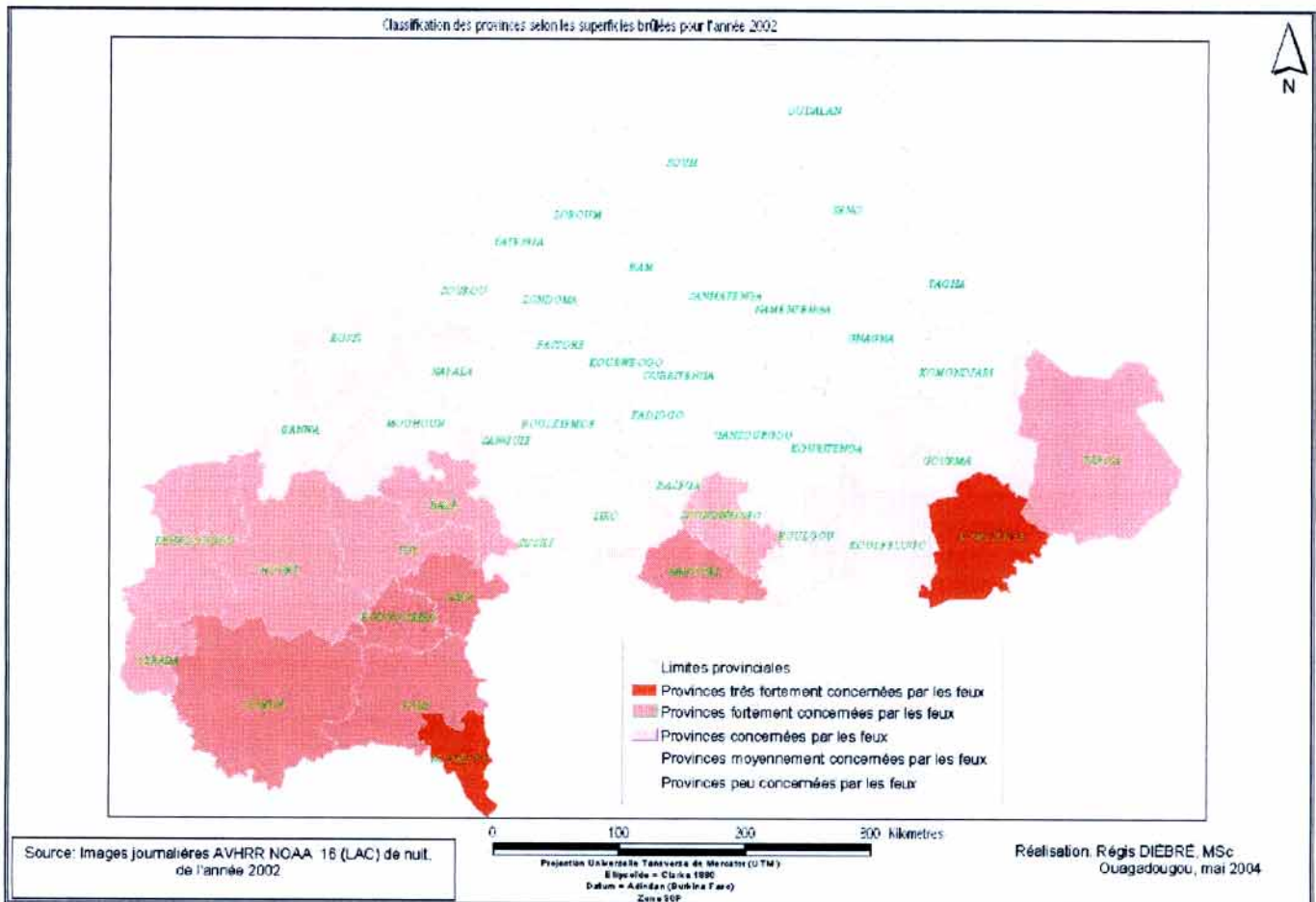


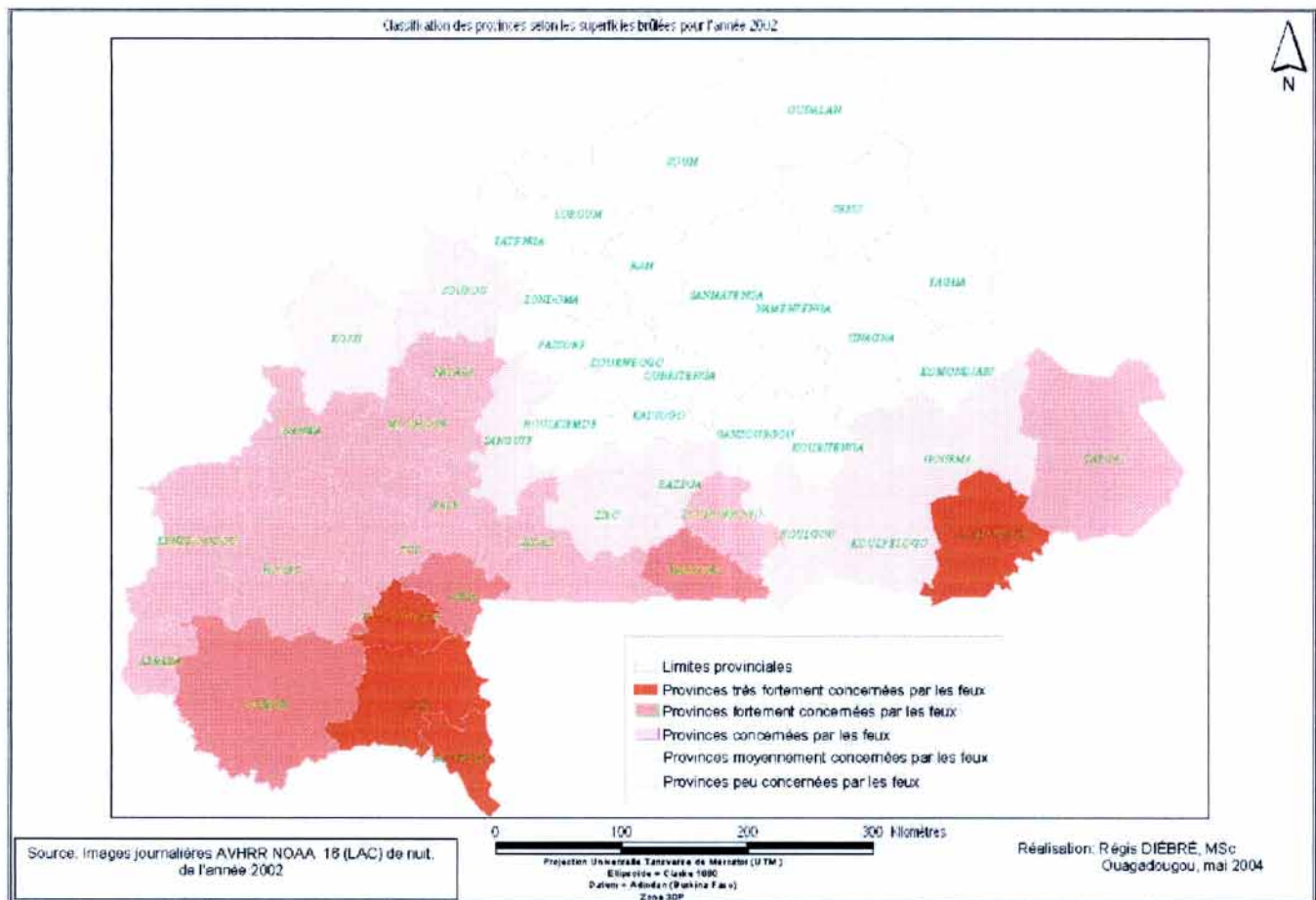
Figure 5 : Proportion des superficies brûlées par province



Carte 13 : Importance des feux tardifs par province



Carte 14 : Importance des feux tardifs ou précoces par province



En faisant une représentation spatiale des types de feux, l'on obtient la carte 15. Les différentes proportions de types de feux pour le Burkina sont représentées par la figure 6.

Carte 15 : Zones précocement, tardivement et doublement brûlées en 2002

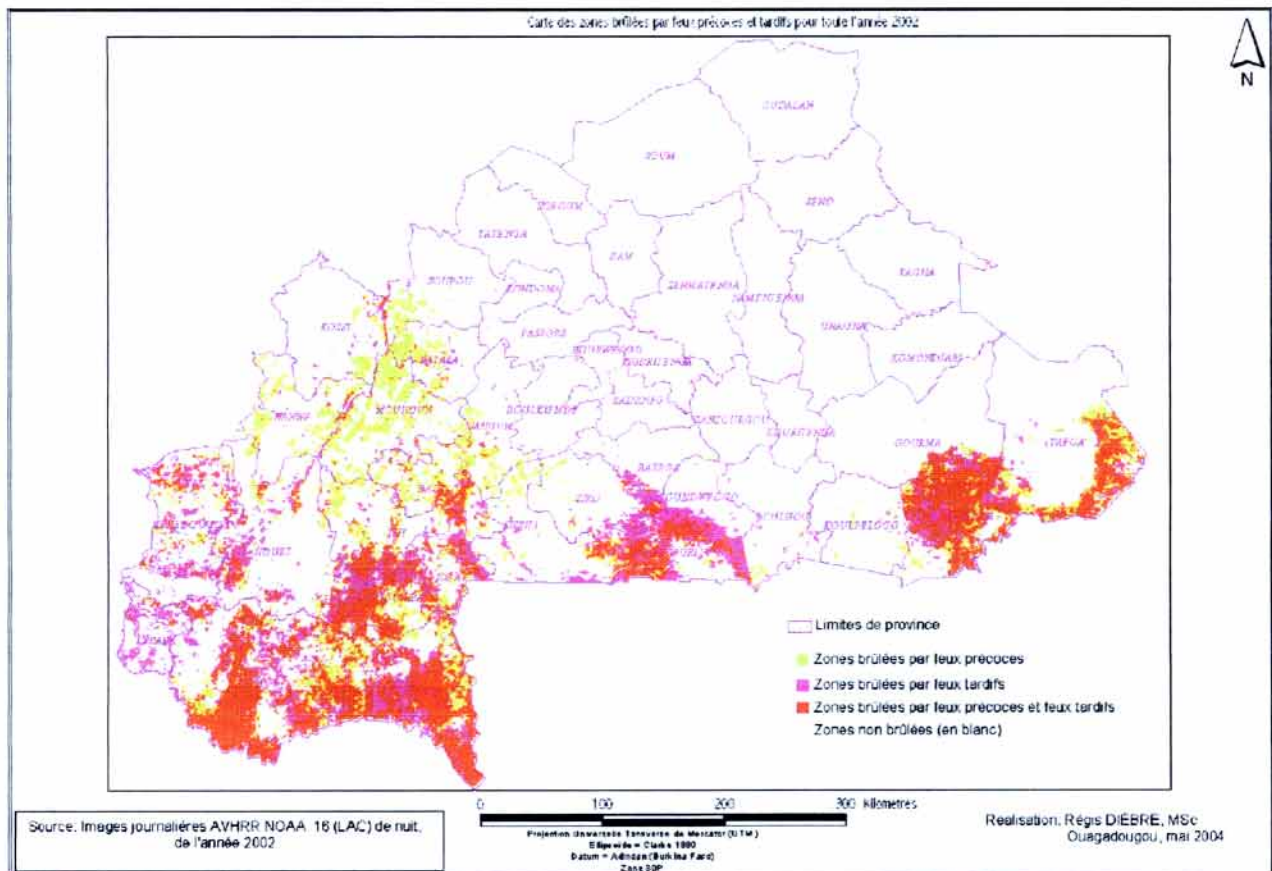
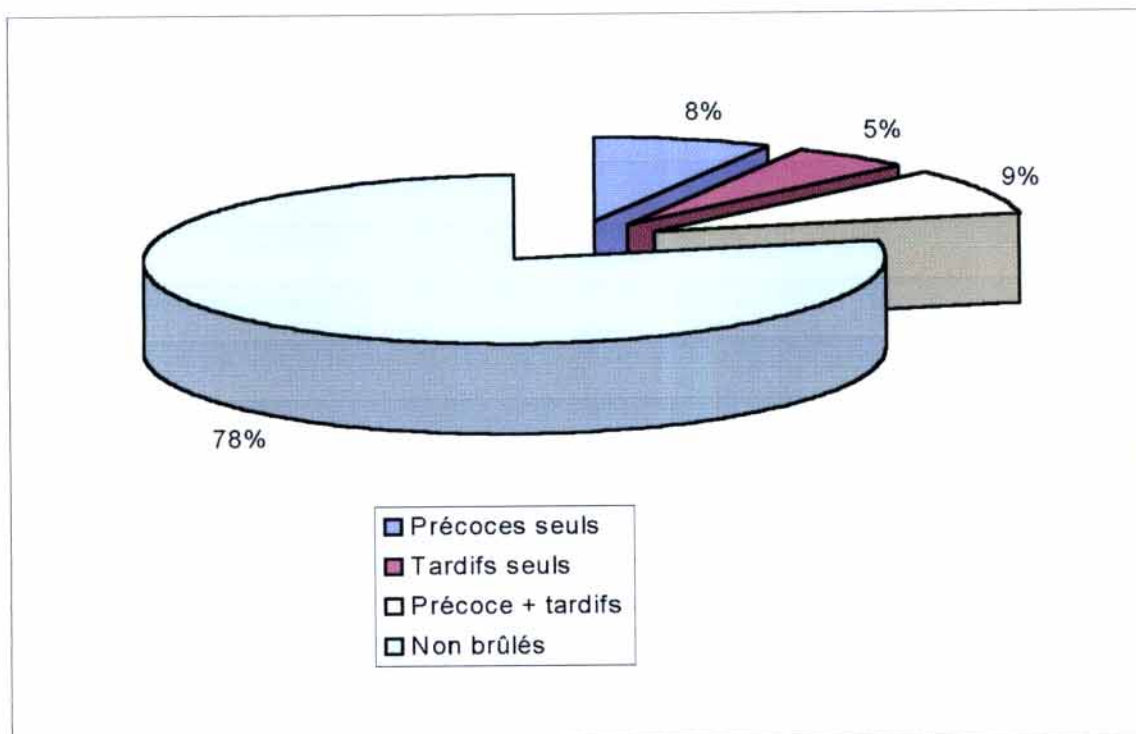


Figure 6 : Proportions des superficies précocement, tardivement et doublement brûlées en 2002



IV ANALYSE DES RESULTATS

En prélude à l'analyse des résultats, il apparaît important de définir les significations des chiffres obtenus sur les occurrences de feux et les foyers de feux de brousse. En effet, ces chiffres sont bien entendu issus des traitements d'images AVHRR de NOAA LAC. Cependant, leur signification est liée aux caractéristiques physiques de ce type d'imagerie, aux conditions de prises de vue et à la disponibilité des images.

En ce qui concerne les caractéristiques physiques des images, la taille de pixel (résolution spatiale) de 1 Km * 1 Km, constitue un élément prépondérant dans la signification des chiffres. En effet, cette taille de pixel est adaptée à des études à grande échelle régionale, mais minimise quelque peu les foyers de feux actifs et les zones brûlées. Cela découle du fait que les «petits feux» et «petites zones brûlées» de taille au sol nettement inférieures à 1 Km * 1 Km, ne sont pas perçus. Cette limite entraîne une minimisation des occurrences de feux et des zones brûlées. En raison également de cette taille de pixel, l'on pourrait à certains endroits, assister à une majoration des superficies brûlées au dépend de certaines entités comme les zones de cultures. À titre d'exemple, pour un champ de taille inférieure à 1 Km * 1 Km au milieu d'une plus grande zone brûlée, les pixels apparaîtront comme étant brûlés. Ceci découle du principe de diffuseurs dominants dans l'acquisition de l'imagerie satellitale en général. Selon ce principe, un pixel donné a une valeur unique représentant celle du diffuseur terrestre dominant, quand bien même dans la réalité, il est la résultante de plusieurs éléments au sol. En somme, les chiffres d'occurrences de foyers de feux et de superficies brûlées se trouvent majorés ou minorés. Des images de plus haute résolution (MODIS de résolution spatiale de 250 m * 250 m par exemple) devraient permettre de faire des estimations beaucoup plus détaillées.

Par rapport aux conditions de prises de vues, elles tendent à minimiser les occurrences de foyers de feux et les superficies brûlées. En effet, les images de jour comme de nuit ne couvrent pas toujours entièrement le Burkina et ce, pour deux raisons. D'une part, compte tenu de l'orbite du satellite NOAA, les images fournies par le Centre AGRHYMET ne couvrent parfois qu'une partie du Burkina. D'autre part, en raison de la couverture nuageuse à certaines périodes de l'année, ces parties restent masquées et n'interviennent pas dans les estimations d'occurrences de foyers et de surfaces brûlées.

Pour ce qui est de la disponibilité des images, il n'en a pas été pour tous les jours de l'année 2002 et les images de la fin de l'année 2001 qui se sont révélées indispensables pour une estimation correcte des superficies brûlées pour le mois de janvier 2002, n'avaient pas été commandées. Dans le premier cas, l'on assiste naturellement à une majoration et une minoration des occurrences de foyers de feux et de superficies brûlées. Dans le second cas, compte tenu de la non disponibilité des images de jour pour octobre, novembre et décembre 2001, les superficies brûlées de janvier 2002 sont cumulées. Il serait alors impératif de disposer de ces images pour mieux estimer les zones brûlées de janvier 2002. Ce fait nous amène à suggérer une acquisition des images de la fin de la précédente année et d'estimer les occurrences de foyers de feux et les superficies brûlées, de façon saisonnière (saison 2001- 2002 par exemple) plutôt que annuelle.

Il faut cependant noter que malgré les limites liées à la répétitivité des images et leur résolution spatiale, les chiffres ne sont pas moins valides. En effet, les estimations ont été faites à l'échelle nationale et la minimisation des occurrences de feux et des superficies brûlées est normale. Même une utilisation d'images de moyenne résolution tel que MODIS (250 m*250 m de résolution) serait toujours entravée de ces limites, même si elles seront moindres. Des images de plus haute résolution tel que ETM+ de Landsat ou HRV de SPOT

auraient permis de faire des estimations plus détaillées mais sont peu adaptées du fait de l'échelle nationale de travail et surtout en raison de leur répétitivité (pas moins de 10 jours). Les résultats corroborent la réalité terrain, même si une meilleure répétitivité aurait permis d'améliorer les résultats.

4.1 ÉVOLUTION TEMPORELLE DES FEUX EN 2002

Du point de vue temporelle, les feux interviennent principalement entre de la 2^{ème} décade de Novembre et la 2^{ème} décade de Décembre. Autrement dit, ce sont les mois de Novembre et de Décembre qui enregistrent le maximum de zones brûlées (figures 7 et 8). Cette période correspond au début de la saison sèche, période des feux précoces destinés entre autres à l'aménagement des forêts et à la création des conditions d'amélioration des réserves fourragères (repousses).

Toutefois, l'on observe également un pic dans la deuxième décade de février qui se situe en pleine période de feux tardifs. L'observation des résultats montrent que ceux-ci interviennent surtout dans les mois de Janvier et Février et concernent davantage les zones nord soudaniennes. Ce sont généralement des feux sauvages non contrôlés pour la plupart. Cependant, le pic de la 1^{ère} décade de janvier trouve son explication dans le fait qu'il cumule en plus les feux des décades de décembre 2001, qui n'ont pas été soustraits.

On compte aussi parmi ces feux, des feux de cultures qui interviennent aux mois d'Avril et de Mai. Cependant, les foyers de ces feux de culture ne sont pas détectables *in life* du fait de l'heure d'acquisition des images de nuit (entre 2H et 3H du matin). En effet, ce type de feux sont contrôlés et allumés en début de soirée. Néanmoins, leurs traces sont détectables sur les images de jour.

Figure 7 : Evolution temporelle decadaire des superficies brûlées en 2002

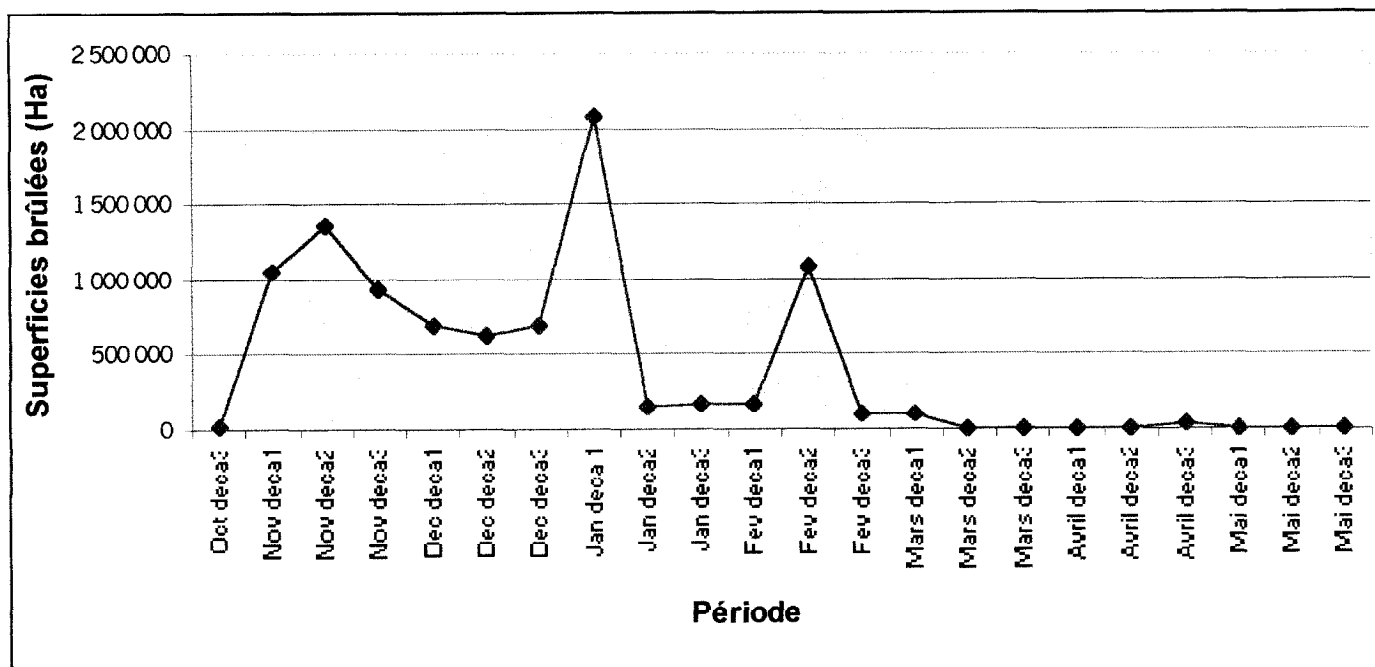
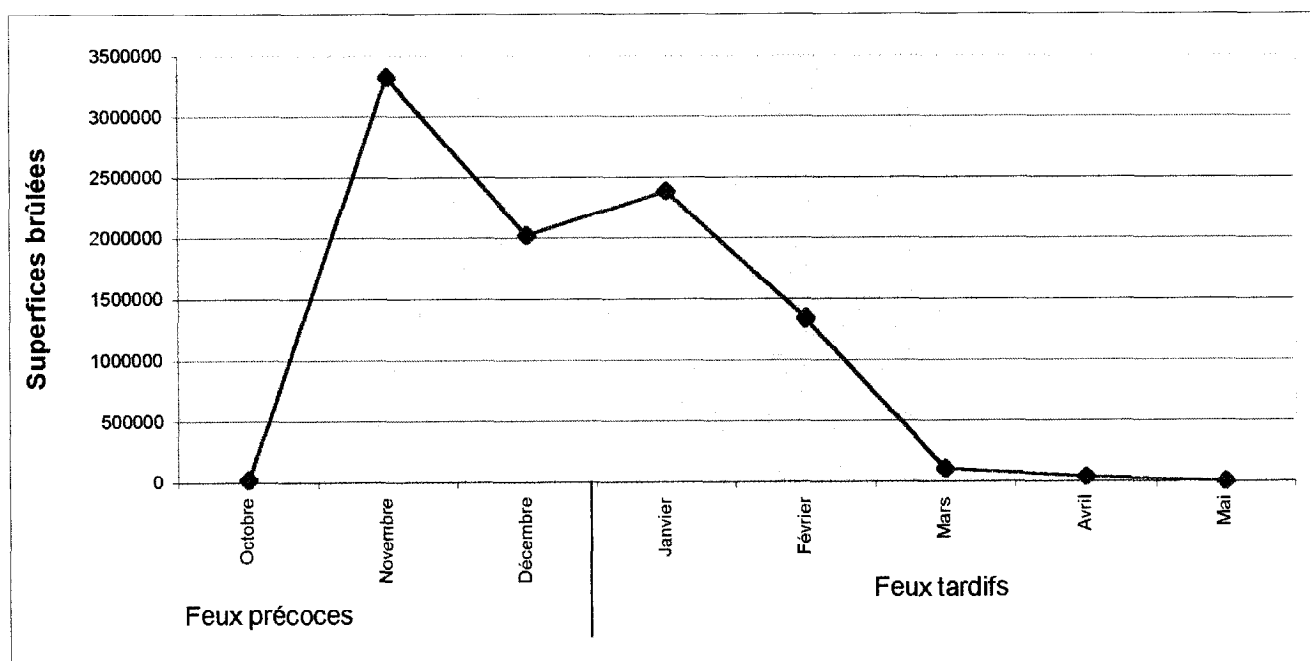


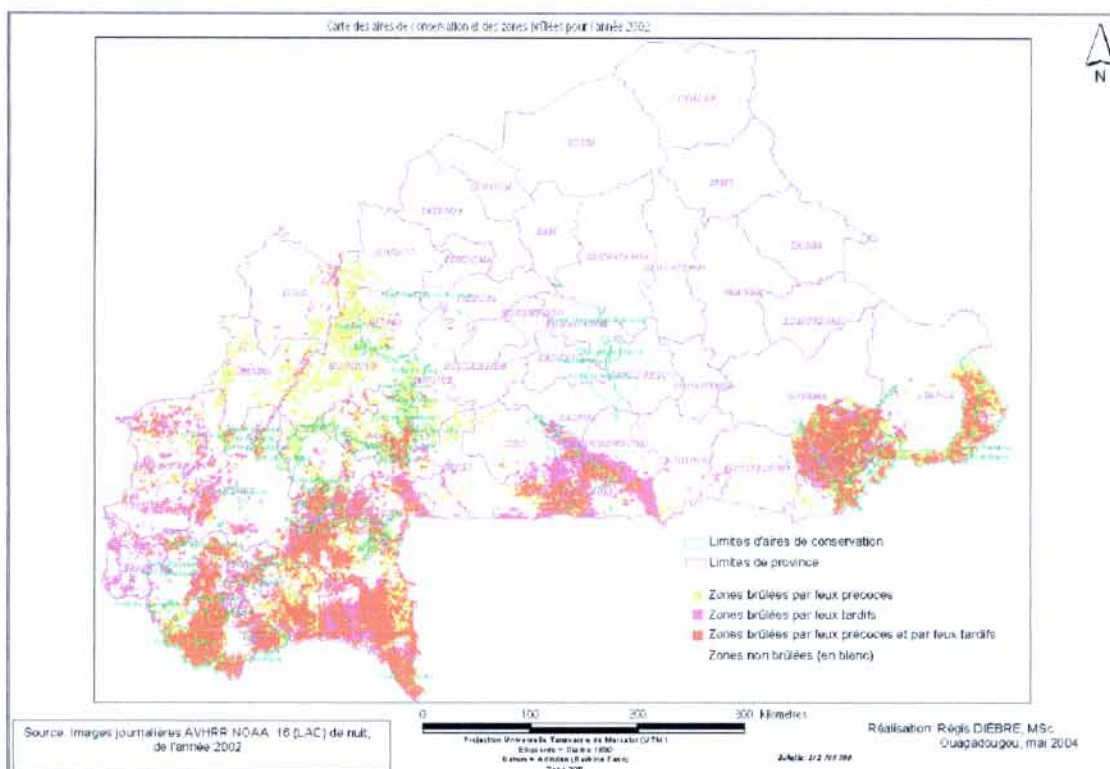
Figure 8 : Evolution temporelle mensuelle des superficies brûlées en 2002



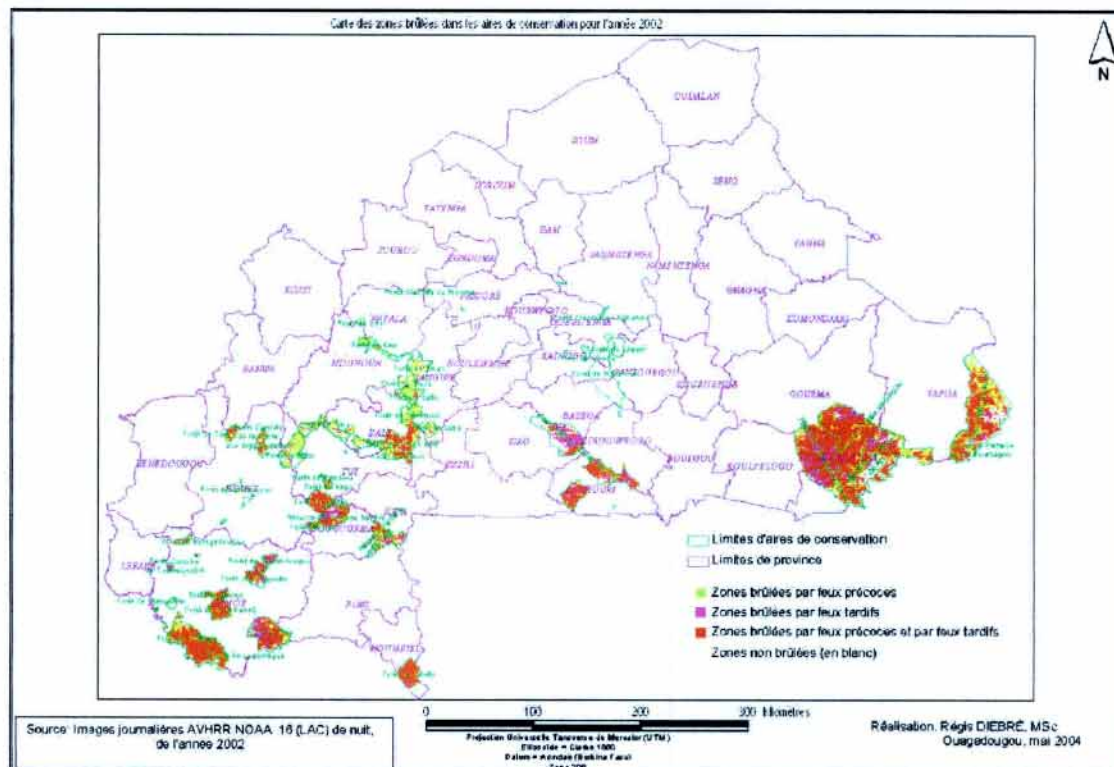
4.2 DISTRIBUTION SPATIALE DES FEUX EN 2002 POUR LE BURKINA

La carte 2 montre la distribution spatiale des zones brûlées globalement au cours de l'année 2002 et la carte 15 en distingue les zones brûlées précocement, tardivement ou doublement pour la même année. L'analyse de ces deux cartes montre que la grande majorité des feux se situe en zone soudanienne qui abrite la plupart des grands parcs et forêts classées du pays (carte 16).

Carte 16 : Aires de conservations et zones brûlées en 2002



Carte 17 : Zones brûlées en 2002 dans les aires de conservations



Ces zones classées ou protégées connaissent aussi bien les feux précoces que les tardifs (carte 17).

Dans ces zones, les feux précoces sont volontaires et contrôlés à des fins d'aménagement par les services du ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie. Les feux d'aménagement débutent dès Novembre et corroborent ainsi les résultats obtenus : le maximum des feux dans ces zones interviennent en Novembre/ Décembre. Cependant, parmi ces feux précoces il faut également considérer les feux accidentels ou criminels des braconniers qui, d'après les enquêtes menées sur le terrain, interviennent de manière incontrôlée.

Par contre, les feux tardifs seraient soit accidentels ou soit l'œuvre de braconniers ou d'agriculteurs à la recherche de nouvelles défriches.

L'on constate par ailleurs que les provinces du Nord et du Sahel sont relativement épargnées par les feux. Cela correspond également à la réalité terrain. En effet, les zones phyto-géographiques sahélienne et sub sahélienne sont généralement exemptes de feux, notamment de grands feux. Il en est de même pour les zones centrales du pays. Cette quasi absence de feux pourrait être liée d'une part à des considérations ancestrales et d'une certaine prise de conscience des populations au regard du manque de fourrage. D'autre part, certains organismes de développement (Projet Gestion des Feux de Brousses par exemple) pourraient y avoir notablement contribué et les limites précitées (résolution spatiale notamment) de la l'imagerie AVHRR de NOAA y sont pour beaucoup. En effet, les zones précitées ne disposent pas de grandes «zones combustibles», les «petits feux» peuvent ne pas être perceptibles. En termes de prise de conscience des populations, l'on peut citer en exemple le cas dans le Soum où un pyromane pris en flagrant délit pourrait être passible de corrections corporelles.

4.3 AMPLEUR DES FEUX NEFASTES EN 2002 POUR LE BURKINA

La figure 6 montre les proportions brûlées par type de feux et la carte 3 (à laquelle il faut soustraire les zones précocement brûlées en 2001) montre la distribution spatiale des feux tardifs pour l'année 2002. Au regard de ces deux éléments, l'on pourrait dire que les feux de brousse constituent un réel phénomène de dégradation du milieu. Ils méritent par ailleurs une attention particulière compte tenu de la grande proportion de feux tardifs et de leurs effets très néfastes sur le couvert végétal. Les provinces des classes 4 et 5 méritent une attention plus spéciale.

Une répétitivité annuelle de cette étude comme l'a entrepris le PNGT 2, permettra de distinguer convenablement les zones à risque et d'y engager des actions conséquentes.

V CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Au total, près de 6 millions d'ha soit environ 28% de la superficie du pays ont été brûlés en 2002. Ces résultats montrent ainsi l'importance des feux au Burkina Faso. On y remarque une légère prédominance des feux précoces. Les feux tardifs ne demeurent pas moins nombreux et sont néfastes pour la végétation et les micro organismes, d'autant plus qu'ils surviennent à une période de stress pour celle-ci. Aussi, la régénération naturelle s'en trouve largement compromise, les jeunes plants étant facilement brûlés avec le combustible herbacé disponible.

Le capteur AVHRR à bord du satellite NOAA permet une cartographie des feux.

Cependant, il faut garder toujours à l'esprit qu'il souffre encore de quelques limites parmi lesquelles l'insuffisance de l'échantillonnage diurne, la couverture nuageuse, et la saturation rapide du canal 3. En effet, elles sont initialement conçues pour des applications météorologiques et océaniques.

Ainsi, certaines provinces telles que le Boulkiemdé ou la Komondjari classées dans cette étude comme étant des provinces peu concernées par les feux le sont dans la pratique. Ce type d'erreurs sont attribuables aux limites précitées des images.

Par ailleurs, compte tenu de la résolution spatiale (1 km*1 km) des images AVHRR NOAA, les «petits» feux ne sont pas perceptibles. Ainsi, hormis le fait que la couverture des images utilisées n'a pas toujours été bonne, cette résolution conduit à une sous-estimation des surfaces brûlées.

Au regard de des résultats et analyses de cette étude ainsi que les limites relevées sur les supports satellitaires utilisés, nous recommandons que:

- il soit testé l'usage d'images comme MODIS qui ont des résolutions spatiales pouvant aller jusqu'à 250 m, si l'on veut avoir une estimation beaucoup plus détaillée des superficies brûlées,

- les images de nuit utilisées pour la détermination de l'occurrence des feux soient celles acquises à partir de 18 heures, heure à partir de laquelle la plupart des feux de nuit sévissent,
- les prochaines phases de l'étude s'appuient sur des supports au moins couvrant la totalité du territoire et l'intégralité des jours de l'année,
- des images AVHRR de NOAA LAC d'octobre, novembre et décembre 2001 soient acquises et traitées pour rectifier les données de surfaces brûlées en janvier 2002,
- les résultats futurs ne soient pas présentés de façon annuelle mais plutôt saisonnière qui est plus logique,
- le PNGT2 puisse poursuivre la répétition de l'étude dans le temps afin de cerner efficacement les zones à risque de feux et de dégradation, en relation avec les cartes d'évolution du couvert végétal (cartes de tendance).

Pour les répétitions subséquentes de l'étude, il serait souhaitable d'y allouer un temps d'exécution plus long (6 à 7 mois par exemple), compte tenu du nombre impressionnant d'images à traiter et des nombreux travaux préalables de prétraitement à y effectuer.

Cette étude constitue un aspect novateur en ce sens qu'elle a permis de spatialiser et d'estimer les foyers de feux et les zones brûlées. Sa répétitivité permettra de mieux cerner le phénomène de feux de brousse et d'y engager des actions conséquentes.

Annexe 1 : TDR de l'étude

**TERMES DE REFERENCE
POUR LE RECRUTEMENT DE PRESTATAIRE
POUR LA REALISATION D'UNE CARTE DE FEUX DE BROUSSE**

SOMMAIRE

<u>I) CONTEXTE</u>	52
<u>II) OBJECTIF DE LA PRESTATION</u>	54
<u>III) RESULTATS ATTENDUS</u>	54
<u>IV) DUREE DE LA MISSION ET CONDITIONS GENERALES</u>	56
<u>V) PROFIL ET MISSIONS DES PRESTATAIRES</u>	56
<u>VI) FINANCEMENT DE LA PRESTATION</u>	57

I) CONTEXTE

L'objectif global du PNGT 2 est de combattre la pauvreté et de promouvoir le développement durable.

Pour atteindre l'objectif global ci-dessus, le programme poursuivra les objectifs spécifiques suivants :

Le développement des capacités organisationnelles et de gestion des villages et groupes de villages.

L'amélioration des conditions de vie par des investissements productifs et des infrastructures socio-économiques dans les campagnes du Burkina.

La préservation et la restauration des ressources naturelles (eau, sol, végétation, faune).

Les activités du PNGT 2 sont articulées autour des composantes suivantes :

le développement des capacités locales qui vise à doter les communautés rurales de bonnes compétences techniques et des capacités à mieux s'organiser pour assurer les multiples fonctions du développement local ;

le Fonds d'Investissement Local (FIL), servira au financement des projets à la base :

Le renforcement des capacités institutionnelles aux échelons local, provincial et national dans la perspective de la décentralisation rurale.

Les Opérations Pilotes de Sécurisation Foncière (OPSF) qui visent à améliorer la stabilité et l'équité du régime d'occupation des terres afin d'encourager les investissements productifs et la préservation des ressources naturelles.

Enfin la coordination, l'administration et le suivi et l'évaluation du programme.

Pour l'exécution de ce programme, un accent particulier a été mis sur la sous composante suivi-évaluation avec le concours financier du Royaume du Danemark. Le document de projet élaboré à cet effet, précise les éléments essentiels du dispositif du suivi-évaluation.

L'objectif de développement de la sous-composante est formulé comme suit : «le suivi de l'exécution du PNGT2 et l'évaluation de sa contribution à la réalisation des objectifs du PNDRD et du CSLP sont assurés».

Ses objectifs spécifiques sont :

Le dispositif de suivi des performances du PNGT2 est appliqué avec efficacité et s'adapte à son mode d'intervention.

La sous composante s'intéresse au suivi et à l'évaluation des domaines suivants:

les conditions de vie, les revenus et la pauvreté,

le domaine environnemental,

les capacités institutionnelles déconcentrées.

La présente prestation concernera le domaine d'impact environnemental pour lequel un dispositif et une méthodologie de suivi de l'impact environnemental a été élaboré.

Le suivi de l'impact environnemental concernera les volets suivants : les sols, le couvert végétal, les ressources ligneuses, les ressources en eau, l'occupation des terres, la biodiversité etc.

Pour chacun d'eux, il s'agit de choisir un ou plusieurs indicateurs pour suivre l'évolution du phénomène dans le temps et dans l'espace. Pour ce faire, l'imagerie satellitaire a été choisie comme principal outil de collecte et de suivi de l'évolution des ressources naturelles.

Les feux de brousse constituent un des indicateurs retenus par le dispositif technique mis en place par le PNGT2 dans le cadre du suivi de l'impact environnemental. Les données relatives aux zones brûlées qui seront collectées par l'imagerie satellitaire permettront d'évaluer dans le court terme l'effet de la sensibilisation sur le phénomène, l'importance du stock fourrager détruit et à long terme développer des modèles permettant d'identifier les zones à risque. D'où la nécessité d'élaborer des cartes de feux de brousse tous les ans, qui permettront d'avoir une vue synoptique du phénomène à travers tout le pays, et partant de son évolution spatio-temporelle.

II) OBJECTIF DE LA PRESTATION

L'objectif de la présente prestation est de réaliser une carte de feux de brousse pour le Burkina Faso à partir des images satellitaires de type NOAA AVHRR LAC de l'année 2002.

III) RESULTATS ATTENDUS

Une base de données à référence spatiale pour les feux de brousse de l'année 2002 comprenant :

Une carte de feux de brousse couvrant toute la période (la campagne) des feux de brousse pour l'année 2002 ;

La carte fera ressortir l'état mensuel, annuel, l'intensité et les types des feux de brousse (tardif ou précoce) ou toute autre information utile pouvant être obtenues des données satellitaires de l'ensemble du Burkina Faso.

Les statistiques des superficies mensuelles et annuelles brûlées par province devront être fournies.

Les résultats obtenus après classification numérique des images devront être transformés en une base de données unique permettant d'appréhender la dynamique mensuelle des feux ; Cette base de données doit être exploitable avec le logiciel Arcview 3.1.

Les résultats des classifications et autres données à référence spatiale devront être retournés au PNGT2 dans des supports CD ROM au format standard d'un distributeur d'images (TIF) et intégrables dans les logiciels Erdas, Ilwis, Idrisi, PCI, Winships, Arcview3.1 et plus.

Les images devront être calées par rapport au même référentiel géographique (BNDT 1:1 000 000 de l'IGB) afin de permettre l'élaboration de carte de feux et aussi une superposition des zones brûlées à la carte de tendance en vue de permettre des analyses spatiales.

Un rapport technique présentant la méthodologie, les outils, les résultats et les recommandations pour la réédition de l'exercice les années à venir ;

IV) DUREE DE LA MISSION ET CONDITIONS GENERALES

Le prestataire a un délai de quatre (4) mois pour déposer les résultats auprès du PNGT 2 dès notification par un ordre de service;

Les images satellitaires de base seront fournies au prestataire par le PNGT2;

Les résultats des travaux seront exposés devant le comité de pilotage qui appréciera la qualité du travail.

V) PROFIL ET MISSIONS DES PRESTATAIRES

Compte tenu de l'importance du travail, il est nécessaire que les éventuels prestataires fassent des regroupements en vue de postuler à la présente consultation. Les membres des éventuels groupes doivent être titulaires d'un MSC, DESS, PHD ou une maîtrise en géographie, foresterie etc. ou d'un diplôme équivalent. Ils devront en outre avoir au minimum cinq années d'expérience en traitement d'images satellitaires et avoir des connaissances en S.I.G. Avoir une expérience dans la détection et le suivi des phénomènes liés à la végétation dont les feux de brousse, constitue un atout.

Aussi les groupes prestataires fourniront des offres techniques et financières expliquant la méthodologie qui sera utilisée pour la réalisation de la carte.

VI) FINANCEMENT DE LA PRESTATION

Le coût de la prestation sera imputé sur les fonds alloués par la coopération danoise dans le cadre du suivi de l'impact environnemental de la sous-composante « Appui au Suivi Evaluation du PNGT 2 ».

Annexe 2 : Listing des scènes ETM+ de Landsat utilisées

- 1- Scène ETM+ de Landsat 195_051 du 22 janvier 2002,
- 2- Scène ETM+ de Landsat 195_052 du 22 janvier 2002,
- 3- Scène ETM+ de Landsat 195_053 du 22 janvier 2002,
- 4- Scène ETM+ de Landsat 196_051 du 14 février 2002,
- 5- Scène ETM+ de Landsat 193_051 du 26 décembre 2002,
- 6- Scène ETM+ de Landsat 194_051 du 17 décembre 2002,
- 7- Scène ETM+ de Landsat 193_051 du 24 novembre 2002,
- 8- Scène ETM+ de Landsat 194_051 du 15 novembre 2002.

Annexe 3 : Fiche d'enquête sur les feux au Burkina Faso

Date :

I - ProvinceVillage

Nom Prénom

II - Fonction :

Service Environnement

ONG préciser

Agriculteur

Agropasteur

Eleveur

Autre préciser

III - Avez-vous déjà observé des feux de nuit ?

Oui

Non

IV - Quelle est l'heure d'occurrence (passage) des feux de nuit ?

1) la journée

2) la soirée et la nuit

préciser l'heure ou la période

17h – 19 h

20 h – 23

avant minuit

après minuit

au petit matin

V - La population est-elle organisée pour la lutte contre les feux :

oui

non

VI - La population arrive –t-elle à maîtriser les feux

oui

non

VII - La population arrive –t-elle à éteindre les feux

oui

non

VIII - en majorité les feux sont éteints :

avant de se coucher

avant minuit

entre minuit et 3h du matin

entre 3 h et 6 h du matin

les feux brûlent toute la nuit

IX - Rythme de passage des feux

les feux sont plus fréquents au mois de :

Mois	(Cocher la case)	Nombre de passage des feux
Octobre		
Novembre		
Décembre		
Janvier		
Février		
Mars		
Avril		
Mai		

Annexe 4 : Listing des images AVHRR NOAA de nuit utilisées

Mois	Noms images	Nb d'images	Mois	Noms images	Nb d'images
Avril	4170253*	6	Janvier	1030310	15
	4180243			1040301	
	4200222			1050251	
	4260253			1060242	
	4270245			1080220	
	4280234			1140255	
Décembre	12090305	16		1150245	
	12100256			1160234	
	12110247			1190202	
	12120235			1220308	
	12140212			1230258	
	12150200			1240250	
	12170315			1250239	
	12180306			1260228	
	12190257			1270217	
	12200246		Mai	5160239	1
	12210235		Mars	3020251	16
	12220224			3030241	
	12230213			3040230	
	12240201			3050219	
	12270305			3060207	
	12310223			3070157	
Février	2020252	15		3110252	
	2040232			3120245	
	2050222			3130234	
	2060210			3140223	
	2140224		3150210		
	2150213		3160158		
	2160201		3200255		
	2170151		3230225		
	2190307		3240214		

	2200259			3300247	
	2210249			Novembre 11020313	16
	2220238			11110314	
	2230228			11120304	
	2250205			11130254	
	2280317			11140245	
Octobre	10010229	12		11160221	
	10150321			11170210	
	10210209			11180200	
	10220157			11200315	
	10240313			11220256	
	10250302			11230245	
	10260254			11240234	
	10270244			11250223	
	10280232			11260211	
	10290221			11290327	
	10300209			11300312	
	10310200				
Année 2002	97				

* Nomenclature des images: le premier ou les 2 premiers chiffres pour le mois, les 2 chiffres suivants pour le jour, les 2 autres chiffres qui les suivent pour l'heure et les 2 derniers pour la minute d'acquisition. Cette image ainsi été acquise le 17 avril à 02 H 53 mn du matin.

Annexe 5 : Listing des images AVHRR NOAA de jour utilisées

Mois	Noms images	Nb images	Mois	Noms images	Nb images
Avril	bk040302*	17	Février	bk020202	18
	bk040402			bk020402	
	bk040502			bk070202	
	bk040602			bk080202	
	bk040702			bk090202	
	bk040802			bk021002	
	bk040902			bk021102	
	bk041202			bk021202	
	bk041502			bk021302	
	bk041602			bk021602	
	bk041702			bk021802	
	bk041802			bk021902	
	bk042102			bk022002	
	bk042202			bk022102	
	bk042302			bk022202	
	bk042602			bk022502	
	bk042702			bk022602	
Décembre	bk120102	20	Janvier	bk022702	21
	bk120202			bk010102	
	bk120502			bk010202	
	bk120702			bk010302	
	bk120802			bk010402	
	bk120902			bk010502	
	bk121002			bk010602	
	bk121102			bk011102	
	bk121402			bk011202	
	bk121502			bk011302	
	bk121602			bk011402	
	bk121702			bk011502	
	bk121802			bk011602	
	bk121902			bk011902	
	bk122002			bk012002	
bk122402	bk012102				

Mois	Noms images	Nb images	Mois	Noms images	Nb images
	bk122502			bk012202	
	bk122602			bk012302	
	bk122702			bk012402	
	bk122802			bk012502	
Mai	bk050202	20		bk012802	
	bk050302			bk013102	
	bk050402		Novembre	bk110202	19
	bk050502			bk110302	
	bk050602			bk110802	
	bk050702			bk110902	
	bk051002			bk111002	
	bk051102			bk111102	
	bk051202			bk111202	
	bk051302			bk111302	
	bk051402			bk111402	
	bk051502			bk111802	
	bk051602			bk111902	
	bk051902			bk112002	
	bk052102			bk112102	
	bk052402			bk112202	
	bk052502			bk112302	
	bk052802			bk112702	
	bk053002			bk112802	
	bk053102			bk112902	
Mars	bk030202	20		bk113002	
	bk030302		Octobre	bk102602	4
	bk030602			bk102702	
	bk030702			bk103002	
	bk030902		bk103102		
	bk031002				
	bk031202				
	bk031302				
	bk031602				
	bk031702				

Mois	Noms images	Nb images	Mois	Noms images	Nb images
	bk031802				
	bk031902				
	bk032202				
	bk032502				
	bk032602				
	bk032702				
	bk032802				
	bk032902				
	bk033002				
	bk033102				
Année 2002	139				

* Nomenclature des images: *bk* pour Burkina Faso, les 2 premiers chiffres pour le mois, les 2 chiffres suivants pour le jour et les 2 derniers pour l'année d'acquisition. Cette image a par exemple été acquise le 03 avril 2002.

Annexe 6 : Occurrences décadaires, mensuelles et annuelle des feux

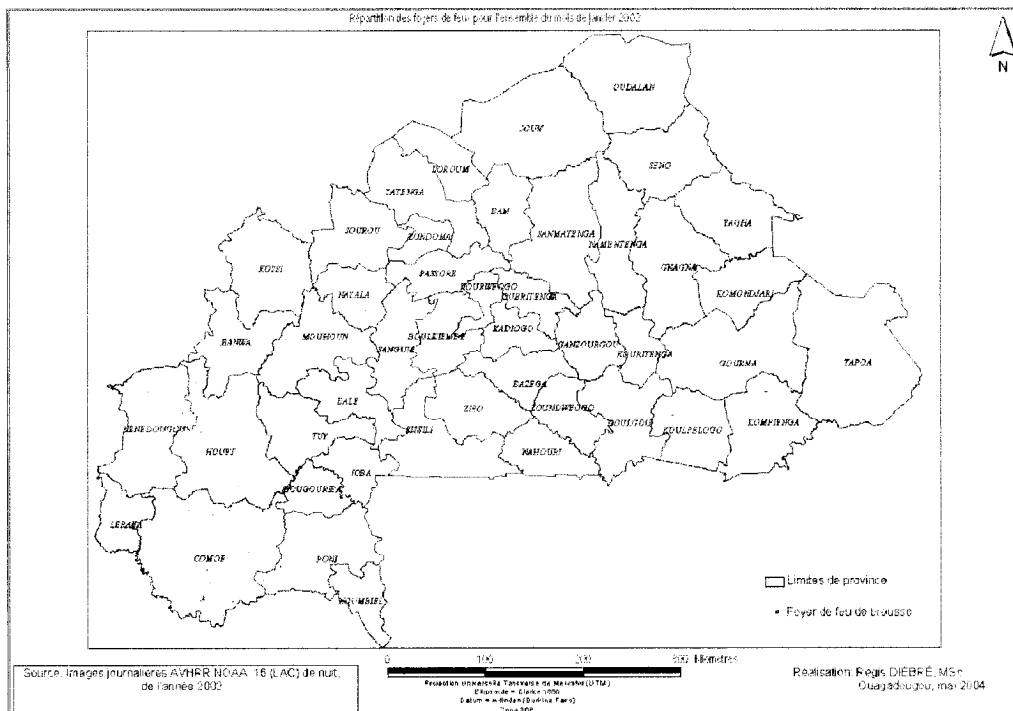
Provinces	Octobre				Novembre				Decembre				Janvier				Fevrier				Mars				Avri				Ma	2002					
	dec 1	dec 2	dec 3	Mois	dec 1	dec2	dec3	Mois	dec1	dec 2	dec 3	Moi s	dec 1	dec 2	dec 3	Moi s	dec 1	dec 2	dec 3	Mois	dec 1	dec 2	dec3	Mois	dec 1	dec2	dec 3	Mois	dec2	Mois					
OULDALAN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SOUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SENO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LOROUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
YATENGA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NAMENTENGA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SANMATENGA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BAM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1
YAGHA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SOUROU	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
GNAGNA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KOSSI	0	0	0	0	0	1	1	2	0	0	1	1	0	2	1	3	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
ZONDOMA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PASSORE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	4		
KOMONDJARI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1			

NAYALA	0	0	0	0	0	3	2	5	1	0	0	1	0	2	0	2	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	9
OUBRITENGA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KOURWEOGO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TAPOA	0	0	0	0	0	2	3	5	0	4	8	12	2	0	3	5	4	1	6	11	2	1	2	5	0	0	1	1	0	0	39	
SANGUIE	0	0	0	0	0	2	3	5	1	1	1	3	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	
GOURMA	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2	2	1	1	1	3	0	1	1	2	1	1	0	2	0	1	0	1	0	0	11	
MOUHOUN	0	0	4	4	0	7	3	10	2	1	1	4	1	1	0	2	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	
BANWA	0	0	1	1	0	2	4	6	0	1	1	2	0	2	1	3	2	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	
GANZOURGOU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
BOULKIEMDE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
KADIOGO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
KOURITENGA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
BAZEGA	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	3	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	5	
HOUET	0	0	0	0	0	3	1	4	2	6	7	15	3	8	1	12	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	
BALE	0	0	0	0	0	1	1	2	2	8	2	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	
KENEDOUGOU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	3	8	11	3	1	0	4	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	18	
BOULGOU	0	0	0	0	0	3	0	3	0	0	2	2	1	1	0	2	1	0	1	2	1	0	1	2	0	0	0	0	0	0	11	
ZIRO	0	0	0	0	0	0	4	4	1	2	3	6	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	
KOMPIENGA	0	0	0	0	0	2	1	3	0	4	4	8	0	2	0	2	1	0	1	2	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	16	
ZOUNDWEOGO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
SISSILI	0	0	0	0	0	2	0	2	0	5	1	6	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	

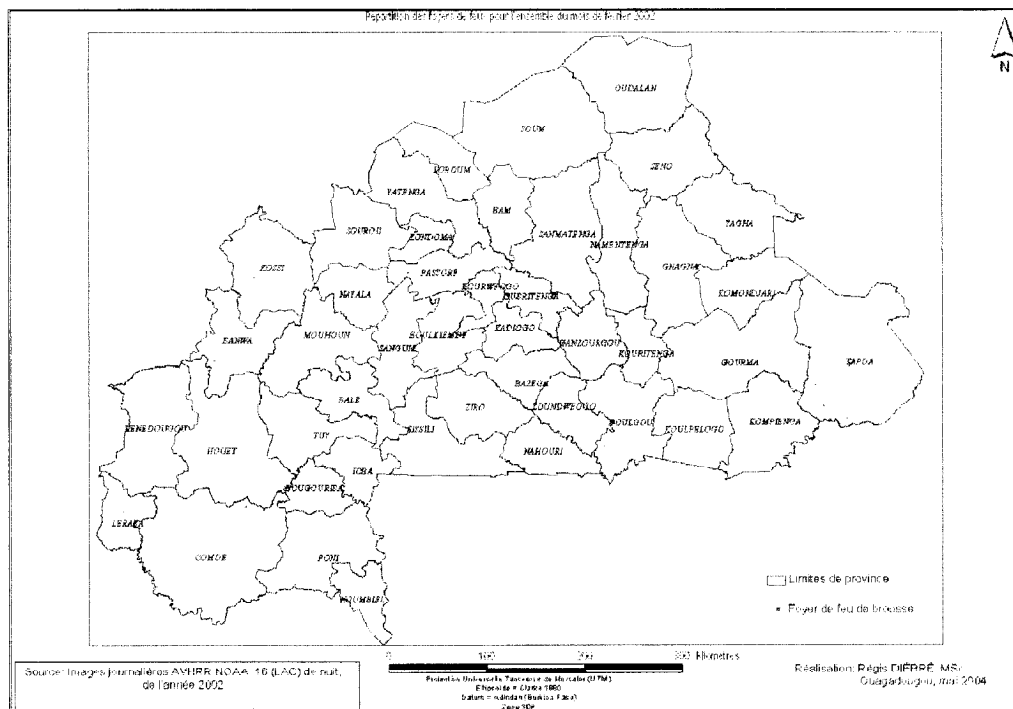
TUY	0	0	0	0	0	0	1	1	0	3	0	3	2	2	3	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11		
KOULPELOGO	0	0	0	0	0	2	1	3	0	1	1	2	0	0	2	2	3	0	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	11		
NAHOURI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	4		
IOBA	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5		
BOUGOURIBA	0	0	0	0	0	2	0	2	0	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5		
LERABA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	3	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5		
COMOE	0	0	0	0	0	1	2	3	1	25	4	30	7	13	12	32	3	1	0	4	0	1	0	1	0	0	0	0	70		
PONI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	5	2	3	1	6	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	13		
NOUMBIEL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	6	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	8		
Total Burkina	0	0	6	6	0	34	28	62	13	77	48	138	23	42	37	102	27	7	12	47	4	11	3	18	0	1	4	5	1	1	379

Annexe 7 : Cartes mensuelles d'occurrence de feux

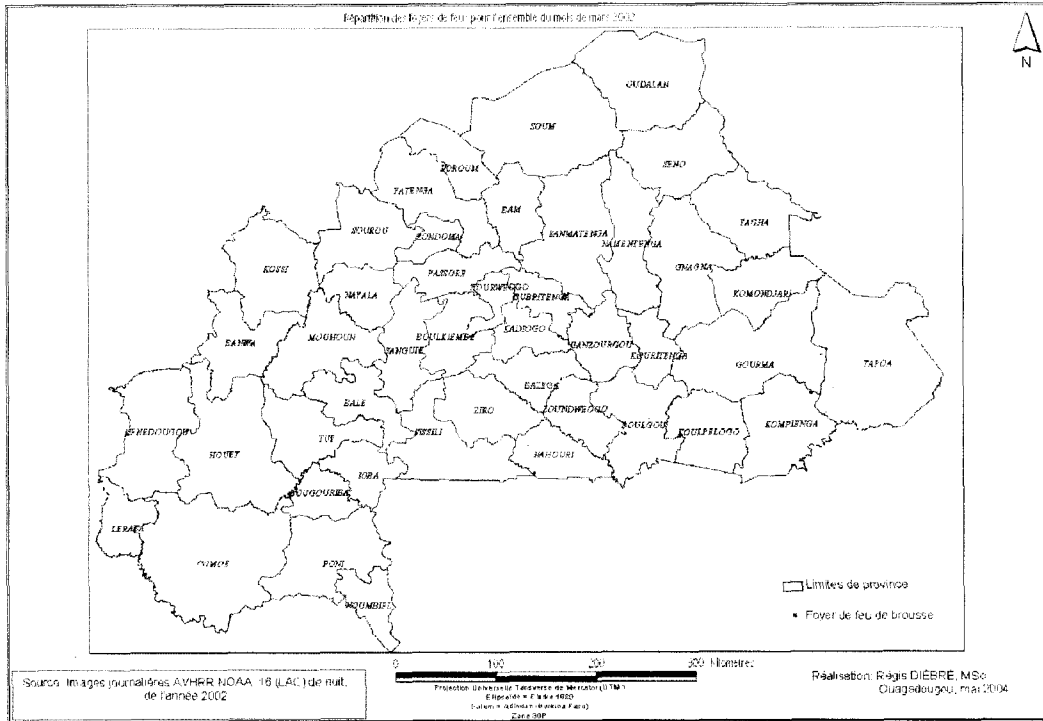
Carte a : Répartition mensuelle des foyers de feux en janvier 2002



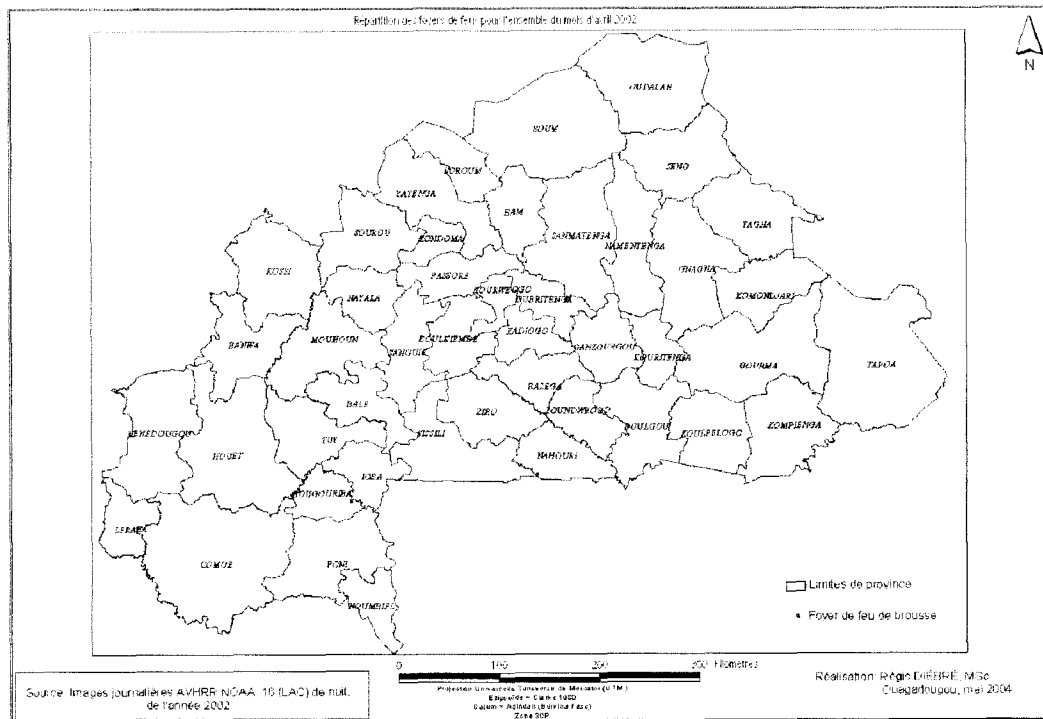
Carte b : Répartition des foyers de feux en février 2002



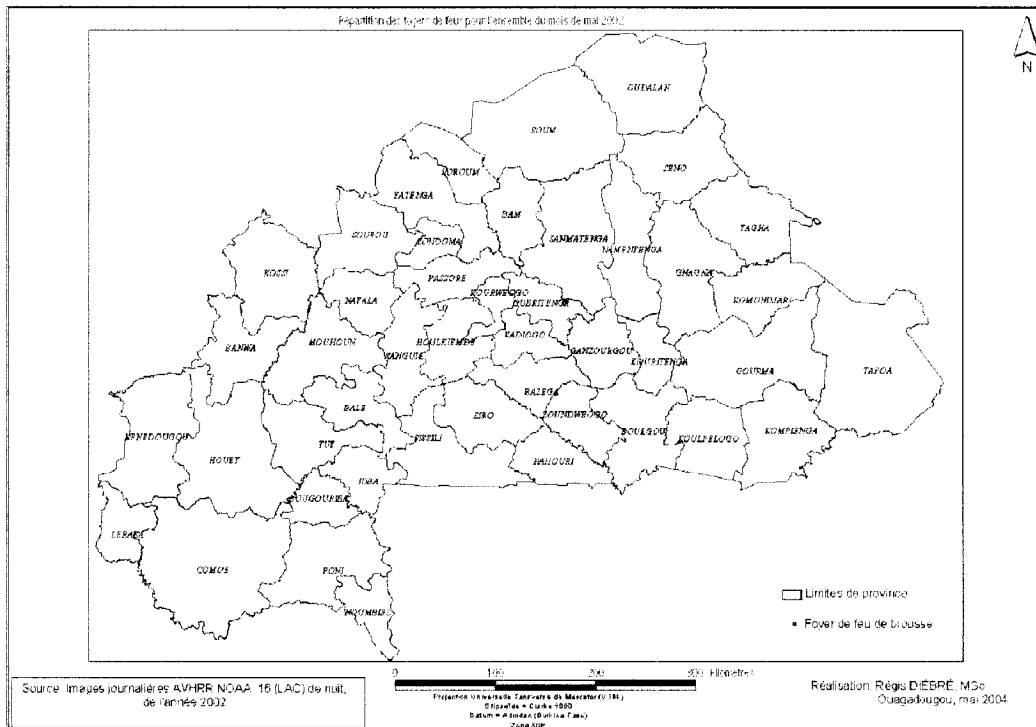
Carte c : Répartition des foyers de feux en mars 2002



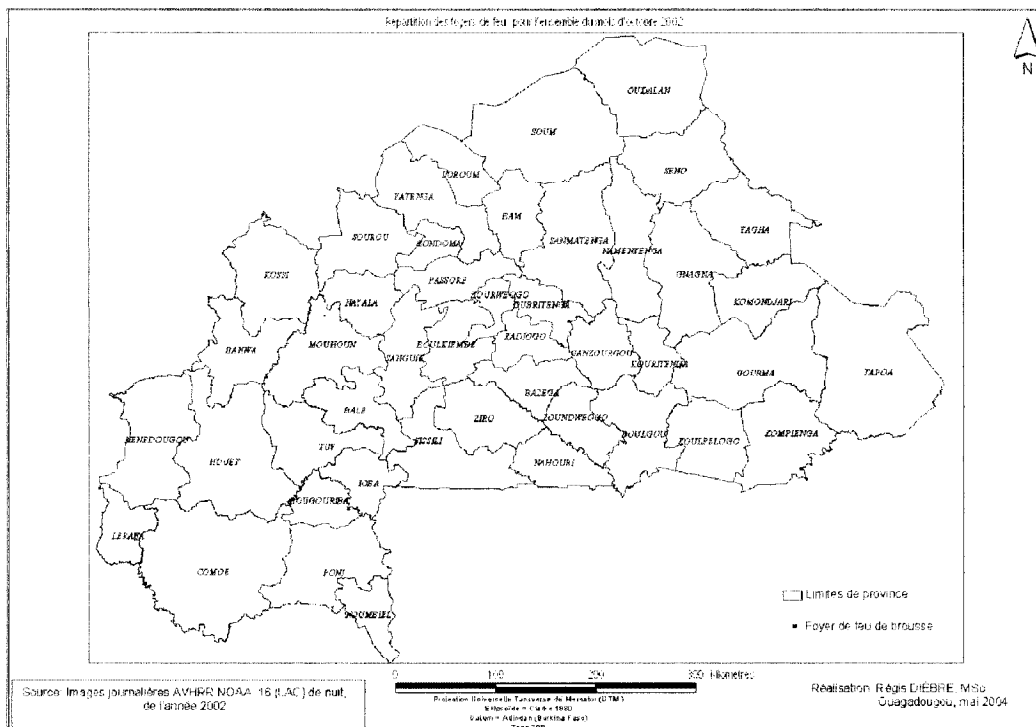
Carte d : Répartition des foyers de feux en avril 2002



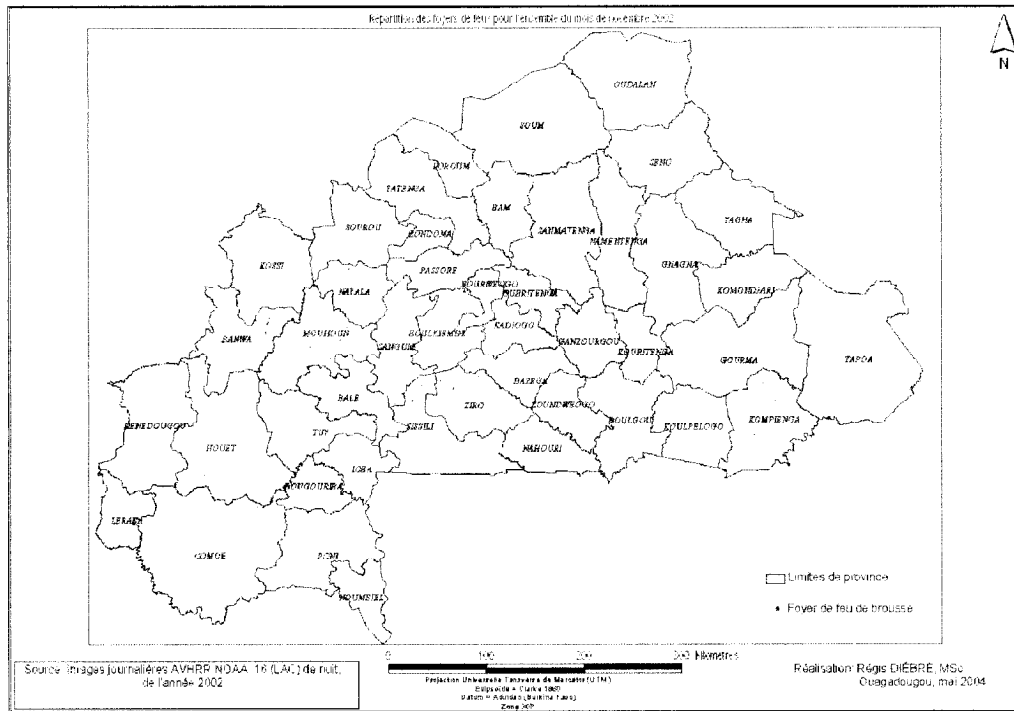
Carte e : Répartition des foyers de feux en mai 2002



Carte f : Répartition des foyers de feux en octobre 2002



Carte g : Répartition des foyers de feux en novembre 2002



Carte h : Répartition des foyers de feux pour le mois de décembre 2002

