

11470

REPUBLIQUE DU SENEGAL

MINISTERE DE L'AGRICULTURE

SOCIETE NATIONALE D'AMENAGEMENT ET
D'EXPLOITATION DES TERRES DU DELTA
DU FLEUVE SENEGAL ET DES VALLEES DU
FLEUVE SENEGAL ET DE LA FALEME

SAED

DIRECTION DE LA PLANIFICATION ET DU
DEVELOPPEMENT RURAL

DPDR



Manuel de Procédure pour la Géoréférenciation et la Classification d'Images Satellites.

**Exemple : Etude de la Mise en Valeur du Delta du Fleuve
Sénégal en hivernage de 1992 à 1998 par Classification
d'Images Satellites**

**Programme d'appui à la consolidation et à la
valorisation du système de suivi-évaluation de la SAED**

Financement :

Kreditanstalt für Wiederaufbau (K.F.W.)
Fonds d'études et d'experts n°IV
Projet n° 90 70 228

Communautés Européennes
Programme de développement de la région de St Louis
Projet 7ACP SEO11

Fevrier 1999

Manuel de Procédure pour la Géoréférenciation et la Classification d'Images Satellites.

Exemple : Etude de la Mise en Valeur du Delta du Fleuve Sénégal de 1992 à 1998 par
Classification d'Images Satellites

Rédigé par : Johan Ceuppens, Dirk Lambrechts, Oumar Ndiaye et Landing Mane.

Table des Matières.

I. Introduction.	1
II. Correction géométrique d'images satellites.	2
1. Introduction	2
2. Correction d'image avec des GCP relevés au GPS.	2
3. Correction d'image sur la base d'une autre image.	10
III. Classification d'images satellites.	13
1. Introduction	13
2. Méthode de classification	13
L'établissement des classes de signatures	14
L'établissement des classes par voie dirigée.	15
L'établissement des classes par voie non dirigée.	16
Conclusion	17
3. Classification non dirigée avec le logiciel ERDAS	17
IV. Etude de la mise en valeur de 1992 à 1998 dans le Delta du fleuve Sénégal par classification d'images satellites.	22
1. Méthodologie.	23
Redressement des images.	23
Classification des images.	23
Tableaux	27
2. Résultats et commentaires.	28
Mise en valeur	40
Intensité culturelle	41
Dernier hivernage exploité	42
Intensité culturelle pour les trois dernières années.	43
Comparaison Banque de Données Classification.	44
V. Conclusions	45
VI. Bibliographie.	47

Liste des figures.

Figure 1 : Le menu et les boutons de commandes du Viewer.	3
Figure 2 : Choix du modèle de correction géométrique.	3
Figure 3 : La boîte de dialogue « Polynomial Model Properties » et les boutons de Geo Correction Tools.	4
Figure 4 : la fenêtre de Dialogue « Projection Chooser »	4
Figure 5 : les différentes options pour l'origine des GCP.	5
Figure 6 : Le GCP Editor et les Viewer associés.	6
Figure 7 : Les 5 points d'un croisement de route ou de toute autre infrastructure où les coordonnées peuvent être relevés au GPS.	8
Figure 8 : la fenêtre de dialogue « Resample »	8
Figure 9 : Cette figure illustre la difficulté d'associer une valeur de brillance à un pixel de l'image redressée.	9
Figure 10 : Message de Erdas demandant de cliquer dans le viewer contenant l'image déjà redressée avec les coordonnées de référence.	11
Figure 11 : Message de Erdas demandant de confirmer les paramètres de la projection.	11
Figure 12 : Le GCP editor et les Viewer associés.	12
Figure 13 : Classification par voie dirigée : schéma de procédure	15
Figure 14 : Classification par voie non dirigée : schéma de procédure	16
Figure 15 : Le menu principal du logiciel Erdas Imagine	17
Figure 16 : Le module « Classifier »	17
Figure 17 : La boîte de dialogue pour paramétrer la classification non dirigée	18
Figure 18 : La boîte de dialogue « File Statistics Options »	19
Figure 19 : La boîte de dialogue « Output Color Scheme Options »	19
Figure 20 : L'interface du volet « Signature Editor »	20
Figure 21 : Courbes des signatures spectrales de 10 classes et les statistiques associées à une signature spectrale	20
Figure 22 : Image raster des zones aménagées.	24
Figure 23 : Image satellite de 1994 masquée par la couche raster des AHA.	25
Figure 24 : Résultat de la classification avant Clump, Eliminate et recode et après cette séquence de commandes.	26

Liste des tableaux.

Tableau 1 : Images SPOT utilisées dans cette étude.	22
Tableau 2 : Evolution de la mise en valeur par type d'aménagement en hivernage déterminées par classification d'images satellites SPOT.	40
Tableau 3 : Intensité culturale en hivernage de 1992 à 1998 calculées par classification d'images et classées par type d'aménagement	42
Tableau 4 : Dernier Hivernage de mise en valeur par type d'aménagement.	42
Tableau 5 : Intensité culturale en hivernage de 1996 à 1998 classées par type d'aménagement.	43

I. Introduction.

Ce manuel de procédure entre dans le cadre du programme d'appui à la consolidation et à la valorisation du système de suivi évaluation de la SAED et est rédigé à l'intention des cadres de la division suivi-évaluation (DSE).

Il explique de manière pratique comment redresser et corriger géométriquement des images satellites avec le logiciel de traitement d'images disponible à la SAED, Erdas Imagine. Ce travail de redressement doit être effectué chaque année par la SAED puisque celle-ci acquiert des images satellites chaque hivernage pour la mise à jour du SIG et le contrôle de la Banque de Données. Ces images arrivent sur cd-rom et doivent être calées sur le référentiel cartographique en vigueur dans le SIG SAED avant de pouvoir être exploitées.

Dans une deuxième partie, les différentes procédures de classification d'images satellites sont décrites. Cette partie est également orientée vers la pratique et les commandes et menus du logiciel Erdas à utiliser pour exécuter ce type de traitement d'images sont donnés et expliqués. La classification d'images satellites est une manière de valoriser l'information contenue dans celles-ci de sorte à enrichir le SIG SAED.

La troisième et dernière partie est une étude de la mise en valeur du Delta du fleuve Sénégal en hivernage de 1992 à 1998 par classification d'images satellites SPOT et constitue donc un exemple de redressement et de classification d'images.

II. Correction géométrique d'images satellites.

1. Introduction

Avant d'exploiter des images satellites il est nécessaire de les corriger géométriquement. En effet sans correction géométrique une image satellite ne peut pas être utilisée pour mesurer des distances, des superficies, être introduite dans un Système d'Information Géographique (SIG), etc. La correction géométrique d'une image est le processus par lequel la géométrie de l'image est rendue planimétrique.

Les données brutes issues de la télédétection contiennent en général deux types d'erreurs géométriques, les erreurs systématiques (vitesse d'avancée du satellite, rotation de la terre, distorsion panoramique,...) et celles non systématiques (variation d'altitude, variation de trajectoire du satellite,...). Ces erreurs géométriques peuvent être réparties en deux classes : (1) celles qui peuvent être corrigées en utilisant, des données sur l'éphéméride du satellite ainsi que l'information relative aux distorsions provoquées par le senseur et ; (2) celles qui ne peuvent pas être corrigées avec une précision acceptable sans utiliser un nombre suffisant de points de contrôle au sol. Un point de contrôle au sol (GCP Ground Control Point)¹ est un point de la surface terrestre pour lequel les coordonnées sur l'image (colonne et rangée) ainsi que les coordonnées géographiques (en latitude et longitude ou en mètres X et Y) sont connues.

La plupart des erreurs géométriques systématiques sont en général corrigées par la société fournissant les images satellites. Ceci est le cas de SPOT image pour les niveaux de prétraitement 1B et 2A. Les erreurs non systématiques n'étant pas corrigées l'image reste non planimétrique (n'a pas de coordonnées X et Y correctes). Il faut toutefois garder en mémoire le fait qu'il n'est pas possible d'enlever toutes les erreurs géométriques et que des distorsions subsistent quel que soit le niveau de précision des GCP.

Ce chapitre décrit comment corriger géométriquement des images SPOT en utilisant le logiciel de traitement d'image disponible à la SAED, ERDAS Imagine. Deux méthodes de correction sont données, la première montre comment redresser une image en utilisant des points de contrôle au sol (GCP) dont les coordonnées ont été relevées au GPS (Global Positioning Sytem), la deuxième montre comment redresser une image en utilisant une image déjà redressée. L'avantage de la seconde méthode par rapport à la première est qu'elle est plus facile à réaliser puisqu'il ne faut pas relever des points au GPS sur le terrain. Son inconvénient réside dans le fait que les distorsions locales issues du redressement de l'image de référence ne sont pas corrigées et sont donc transférées à la seconde image.

2. Correction d'image avec des GCP relevés au GPS.

La méthode de correction géométrique décrite dans ce chapitre permet de redresser une image satellite en utilisant des points de contrôle au sol relevés au GPS.

Les différentes étapes et les commandes à utiliser pour effectuer ce travail avec le logiciel ERDAS (logiciel de traitement d'image disponible à la SAED) sont décrites dans ce qui suit.

¹ L'abréviation anglaise est utilisée puisque le logiciel de traitement d'images disponible à la SAED, Erdas Imagine, l'utilise.

Les différentes commandes sont données en italiques dans le texte. Seuls les boutons, commandes et menus rencontrés et utilisés lors des différentes étapes de la correction d'image seront décrits dans ce rapport.

Les différentes étapes pour effectuer cette correction géométrique sont :

- 1 L'image à redresser est ouverte en utilisant la commande *File/Open/Raster Layer* du Viewer (partie où les images sont visualisée figure 1). L'image est alors affiché dans la fenêtre du Viewer.

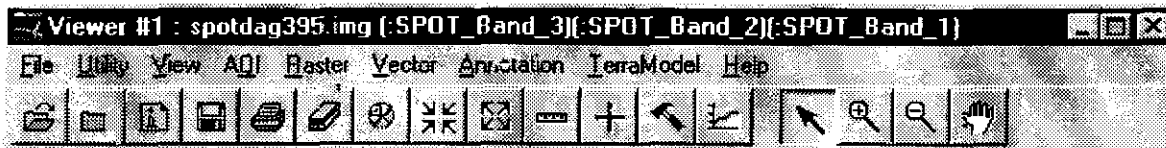


Figure 1 : Le menu et les boutons de commandes du Viewer.

- 2 Ensuite avec la commande *Raster/Géométric correction* du viewer le processus de

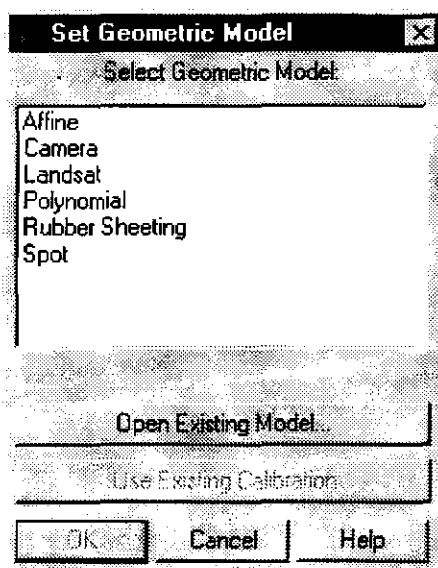


Figure 2 : Choix du modèle de correction géométrique.

correction d'image est démarré. Le logiciel demande à l'utilisateur quel modèle de correction géométrique il veut utiliser (figure 2). Le modèle de correction géométrique réfère au type d'équation que le logiciel va utiliser pour calculer les coordonnées en X et Y des pixels de l'image. Pour redresser une image SPOT un modèle de type Polynomial est choisi. La boîte de dialogue « Polynomial Model Properties » est ensuite activée par Erdas ainsi que les boutons « Geo Correction Tools » (figure3).

Cette boîte de dialogue présente 3 onglets, l'onglet Parameters, l'onglet Transformation et l'onglet Projection. L'onglet Parameters permet de choisir l'ordre de l'équation polynomiale que le logiciel doit utiliser pour redresser l'image. Pour une image SPOT au niveau de prétraitement 1A il est conseillé d'utiliser une équation polynomiale du second ordre², par contre pour une image SPOT au niveau

1B ou 2A une polynomiale d'ordre 1 est suffisante. En effet, pour éliminer de grandes distorsions il est recommandé d'utiliser une polynomiale d'ordre supérieur à 1.

Pour un polynome d'ordre 2, l'équation que le logiciel va utiliser pour redresser l'image est la suivante :

$$X' = a_1 + a_2X + a_3Y + a_4XY + a_5X^2 + a_6Y^2$$

$$Y' = b_1 + b_2X + b_3Y + b_4XY + b_5X^2 + b_6Y^2$$

Où X' et Y' sont les coordonnées redressées

X et Y les coordonnées des pixels dans l'image (colonne et rangée)

a_1, a_2, \dots, b_6 les paramètres à déterminer.

² Le logiciel Erdas présente également un modèle de correction géométrique nommé SPOT. Etant donné que très peu d'information a été trouvé sur son fonctionnement il n'a pas encore été utilisé. Cependant il est possible qu'il soit plus performant qu'un modèle de type polynomiale.

Pour déterminer les différents paramètres de ces deux équations le logiciel utilise les coordonnées des GCP. Il faut donc au minimum 6 points de contrôle au sol (3 pour une polynomiale d'ordre 1) pour que le modèle ait une solution. Mais pour obtenir une précision adéquate il est recommandé d'utiliser au moins deux fois plus de points de contrôle que le nombre requis par le modèle.

L'onglet Transformation permet de consulter la valeur des différents paramètres des deux équations. Pour le moment il ne donne aucune information puisque aucun GCP n'a encore été donné.

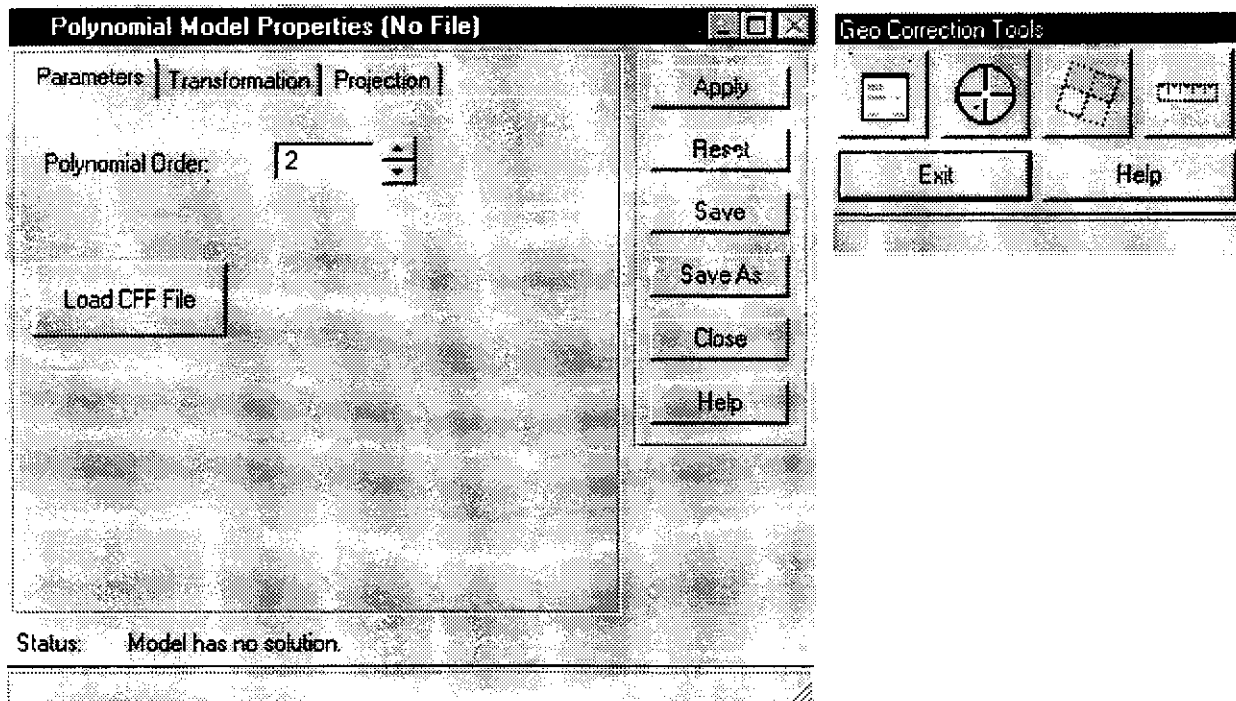


Figure 3 : La boîte de dialogue « Polynomial Model Properties » et les boutons de Geo Correction Tools.

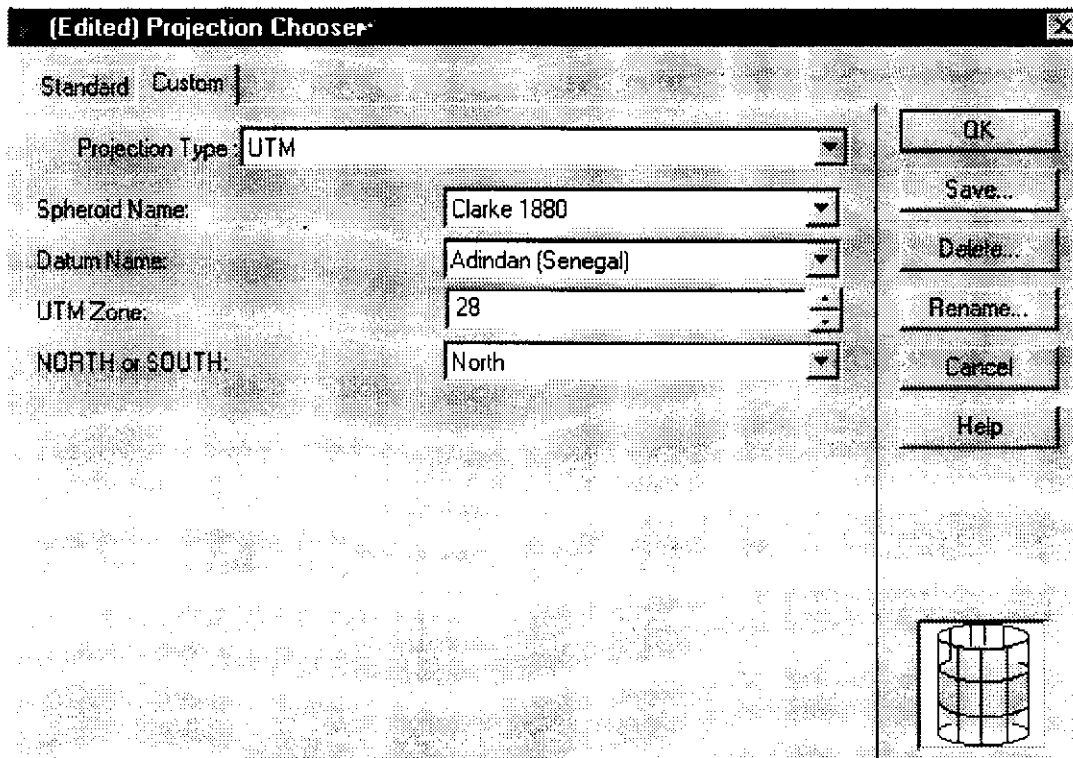


Figure 4 : la fenêtre de Dialogue « Projection Chooser ».

Sous l'onglet Projection, la boîte de dialogue présente les commandes à utiliser pour paramétrer le système de projection cartographique vers lequel l'utilisateur veut redresser l'image. Au Sénégal, le système de projection le plus adapté est le système de projection UTM avec pour sphéroïde celui de Clarke 1880 et pour datum celui d'Adindan (Sénégal). Au niveau du fleuve Sénégal la zone UTM est la numéro 28. Les unités des coordonnées des GCP relevés au GPS doivent également être données à ce niveau. Pour une projection de type UTM les unités sont en mètres.

Pour donner ces informations il suffit de cliquer sur le bouton *Add/Change Projection* se trouvant sous l'onglet Projection. Ceci active la fenêtre de Dialogue « Projection Chooser » qui est équipée de deux onglets, l'onglet Standard et l'onglet Custom (figure 4). Sous l'onglet standard, comme son nom l'indique l'utilisateur peut choisir une projection standard du type UTM WGS 84. Sous l'onglet Custom il peut paramétrer de manière plus précise la projection désirée (figure 4) par le biais de boîtes d'options déroulantes. La projection désirée pour les images SPOT à la SAED est configurée en utilisant ces boîtes déroulantes.

3 A ce stade la projection et le type de modèle géométrique à utiliser ont été définis. En cliquant sur le bouton représenté par un curseur des « Geo correction tools » le processus d'identification des points de contrôle au sol démarre.

Le logiciel demande d'abord comment l'utilisateur compte donner les points de contrôle (figure 5).

Lorsque une image est redressée en utilisant une autre image, l'option *Existing Viewer* est choisie. Cette option sera décrite au chapitre suivant.

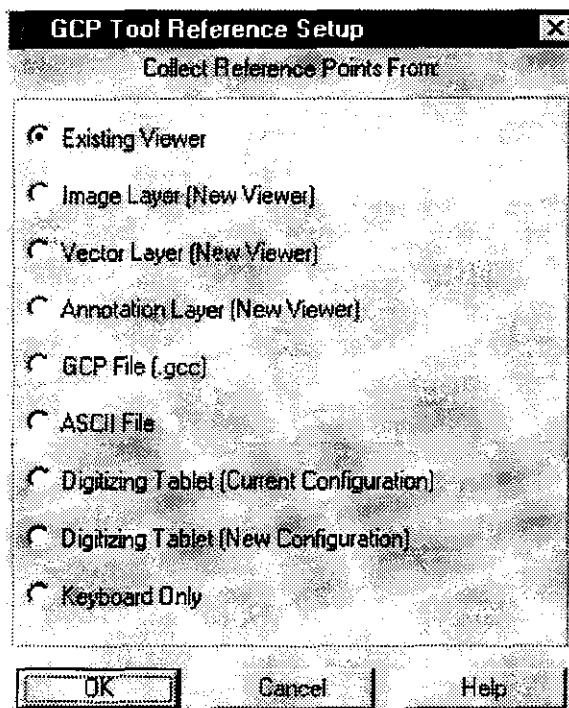


Figure 5 : les différentes options pour l'origine des GCP.

Lorsque les GCP sont données par des relevés GPS il faut choisir l'option *Keyboard Only*.

Une fois que l'option voulue est choisie, l'option *Keyboard Only* en l'occurrence, Erdas active le GCP editor et un deuxième Viewer donnant une partie de l'image à une échelle plus petite (figure 6).

Ce deuxième viewer est lié au premier et la zone de l'image qu'il affiche est représenté par un carré dans le premier Viewer. Ce carré est modifiable et peut être déplacé avec l'outil représenté par une flèche du Viewer ou du GCP editor.

Le tableau, donné par le GCP editor est équipé d'un menu de commande et de boutons de commande, et présente 14 colonnes d'informations.

Les actions exécutées après un clic sur les boutons de commande et l'utilisation de l'outil ainsi activé du GCP editor sont décrits dans ce qui suit.

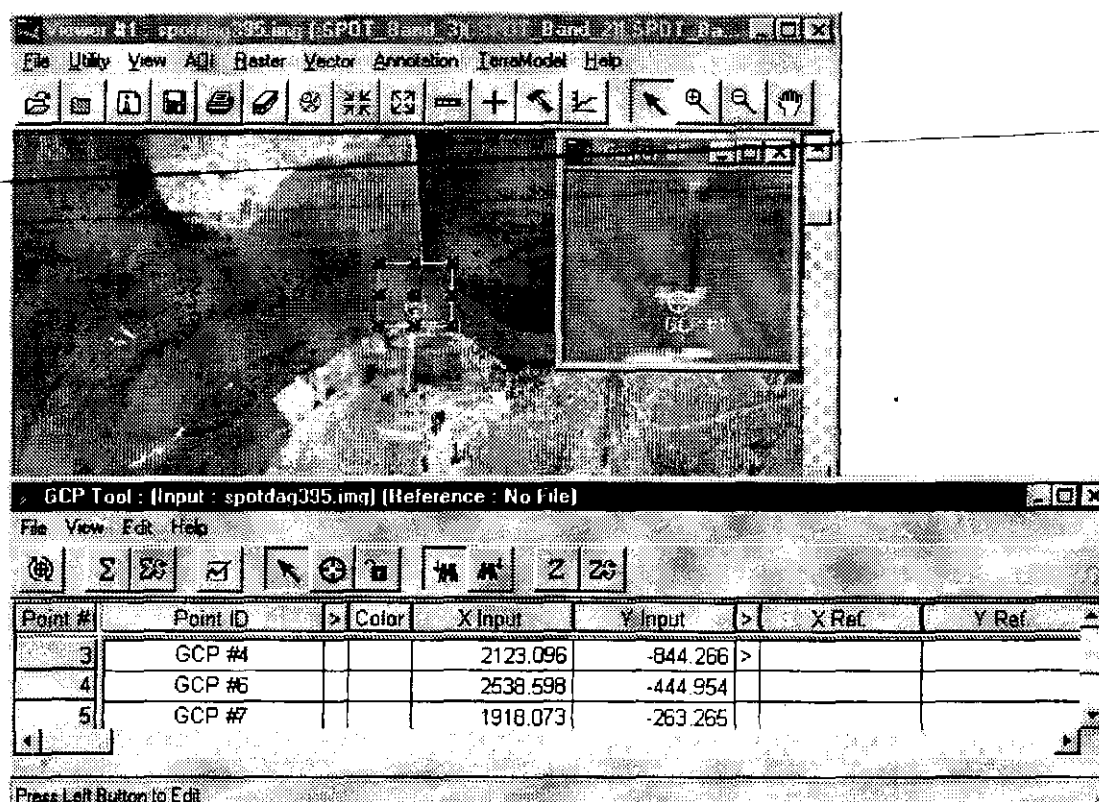



Figure 6 : Le GCP Editor et les Viewer associés.

 Ce bouton permet de placer à la souris un GCP sur l'image à géoréférencer. C'est à ce stade que l'utilisateur utilise le deuxième Viewer pour placer le point de contrôle en question au niveau du pixel en choisissant l'échelle appropriée dans ce Viewer tout en gardant une vue d'ensemble de l'image dans le Viewer principal. Après avoir placé le GCP sur l'image, ces coordonnées en X et Y (colonne et rangée) apparaissent dans les colonnes Xinput et Yinput du GCP editor. Le GCP reçoit aussi un numéro stocké dans la colonne Point ID. Le GCP placé par l'utilisateur sur l'image prend la même forme que le curseur dessiné sur le bouton en question. La couleur du curseur est donnée par la colonne Color. Pour changer la couleur d'affichage d'un GCP, placez le curseur de la souris dans cette colonne au niveau du GCP concerné et après un double clic avec le bouton droit de la souris le choix d'une nouvelle couleur est intuitif. Les coordonnées au sol du GCP, relevé au GPS, sont ensuite entré avec le clavier dans les colonnes Xref et Yref.



Ce bouton permet de déplacer avec la souris un GCP déjà dessiné sur l'image ou de déplacer/redimensionner la zone d'affichage du deuxième Viewer.



Ce bouton permet de garder actif un des deux outils décrits ci-dessus.



Ce bouton résout les deux équations polynomiales de redressement d'image. Les paramètres calculés de l'équation peuvent alors être consultés en activant la fenêtre de dialogue « Polynomial model properties » (figure 3) sur l'onglet Projection. Bien entendu avant d'utiliser ce bouton il faut qu'un nombre suffisant de GCP soit donné (6 pour une polynomiale de second ordre et 3 pour une polynomiale de premier ordre). Après un clic sur ce bouton, si le nombre de GCP est suffisant, Erdas calcule également :

- L'erreur en X et Y de chaque GCP par inversion des deux équations et stocke le résultat respectivement dans les colonnes X Residual et Y Residual du GCP editor. Comme Erdas

inverse les deux équations, l'erreur est donnée dans l'unité de l'image à géoréférencer. Dans le cas du redressement d'une image SPOT cette erreur est donc exprimée en pixels.

- L'erreur RMS (Root Mean Square³) de chaque point. Ceci correspond à la distance entre le point donné et le point calculé après inversion des équations de redressement d'image. Cette valeur est affichée dans la colonne RMS error et est exprimée dans les unités de l'image à redressée. Pour une image SPOT cette distance est donc donnée en pixels.
- Les erreurs RMS totale ainsi que en X et en Y sont calculées par la racine carrée de la moyenne des carrés respectivement des RMS, des erreurs en X et en Y de chaque point. Cette erreur RMS est affichée dans la barre de menu du GCP editor après les différents boutons de commande.
- La contribution de chaque point à l'erreur RMS totale. Cette valeur correspond à l'erreur RMS du point en question divisée par l'erreur RMS totale. Le résultat de ce calcul est donné par la colonne Contribution.



Ce bouton par un simple clic avec la souris est enfoncé ou non. Lorsqu'il est enfoncé, à chaque nouveau GCP donné par l'utilisateur, Erdas résout automatiquement les équations de redressement et calcule les différentes valeurs décrites ci-dessus. Bien entendu, il faut que le nombre de point GCP donné soit suffisant pour pouvoir résoudre les équations.



Ce bouton permet d'allumer ou d'éteindre le mode automatique complet du GCP editor. Ce mode n'est pas différent du bouton décrit ci-dessous lorsque les coordonnées de référence des GCP proviennent de relevés au GPS et sont par conséquent entrées au clavier. Par contre lorsque une image est redressée sur la base d'une autre image, lorsque ce mode est allumé, dès qu'un GCP est placé dans l'une des deux images, Erdas le place automatiquement dans l'autre en se basant sur les équations de redressement de l'image.



Ce bouton permet de centrer l'affichage de l'image satellite à redresser et ce pour les deux Viewer sur le point GCP sélectionné. Pour sélectionner un GCP cliquez dans la colonne Point # du GCP editor sur le numéro de ligne du GCP en question. Lorsqu'une image est redressée sur la base d'une autre image, ce bouton a un homologue qui permet d'effectuer la même opération sur cette image de référence.

En utilisant ces outils, l'utilisateur peut donc placer les différents GCP et vérifier la précision à laquelle l'image sera redressée en analysant les différentes valeurs calculées par Erdas. En effet, pour redresser correctement une image, l'erreur RMS totale ne doit pas dépasser 0.5 pixels (correspondant à 10 mètres sur le terrain pour une image SPOT du type XS). L'erreur RMS par GCP donne alors une indication sur le point en question. Si cette erreur est grande et donc la contribution à l'erreur RMS totale élevée, il faut soit déplacer le point de sorte à réduire l'erreur RMS totale et individuelle, soit éliminer ce point.

Pour éliminer un point de contrôle au sol, il faut le sélectionner dans le GCP editor. Ensuite après un clic avec le bouton gauche de la souris un menu apparaît comprenant la commande *Delete selection* qui procède à l'élimination du ou des GCP sélectionnés.

Pour le redressement d'image sur base de point de contrôle relevés au GPS les GCP doivent avoir les propriétés suivantes :

- Facilement identifiables sur le terrain.
- Visibles sur l'image à redresser.

³ Root Mean Square traduit donne Racine moyenne carrée.

- Stables, ils ne doivent pas changer de forme et de taille dans le temps.
- Etre répartis le plus uniformément possible autour et dans la zone d'intérêt sur l'image à redresser.

Comme la précision recherchée est de 0.5 pixels, il faut veiller à renseigner correctement et commenter la prise de coordonnées au GPS des points de contrôle sur le terrain. Par exemple un point GPS pris à l'intersection de deux routes peut être pris au centre de l'intersection ou sur un des coins de l'intersection (figure 7). En indiquant où le point GPS a été pris à l'aide d'un croquis l'utilisateur peut choisir le bon pixel sur l'image.

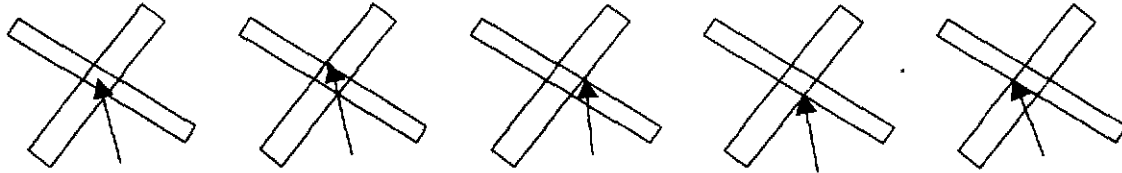


Figure 7 : Les 5 points d'un croisement de route ou de toute autre infrastructure où les coordonnées peuvent être relevés au GPS.

4 Dès qu'un nombre suffisant de GCP ont été placé et que la précision atteinte est satisfaisante (RMS total inférieur à 0.5) le redressement de l'image peut être lancé en cliquant sur le bouton représenté par une grille des « Geo correction Tools » (figure 3). Ce bouton active la fenêtre de dialogue « Resample » (figure 8)

Figure 8 : la fenêtre de dialogue « Resample »

Cette boîte de dialogue permet :

1. Sous le texte Output File (*.img) de donner le nom du fichier qui contiendra l'image redressée .

2. De choisir la méthode de rééchantillonnage des pixels (Resample Method). En effet, avec les équations de redressement d'image, un pixel de l'image redressée ne provient pas forcément d'un pixel de l'image source (figure 9). Le logiciel est pourtant obligé d'associer à chaque pixel une valeur digitale représentant la brillance de ce pixel. Pour calculer cette brillance il faut donc définir une méthode de rééchantillonnage des pixels. Le logiciel Erdas propose trois méthodes de rééchantillonnage :

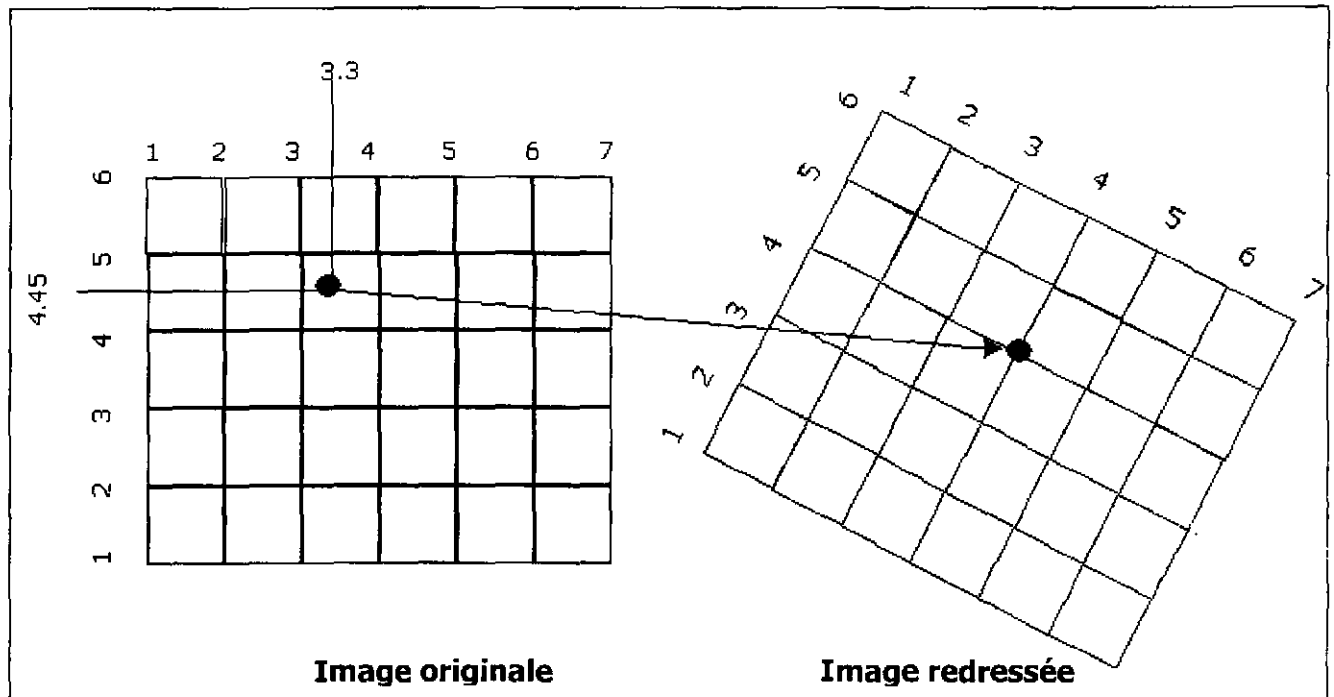


Figure 9 : Cette figure illustre la difficulté d'associer une valeur de brillance à un pixel de l'image redressée. Dans cet exemple le pixel (4 , 4) provient de la position (3.3 , 4.45) qui n'a pas de valeur de brillance bien précise.

- La méthode Nearest Neighbour (voisin le plus proche) qui associe la valeur de brillance du pixel le plus proche. En reprenant l'exemple de la figure 9 la méthode Nearest Neighbour aurait donné la valeur du pixel (3 , 4) de l'image originale au pixel (4 , 4) de l'image redressée. L'avantage de cette méthode est qu'elle n'altère pas les valeurs de brillance contenues dans l'image originale. Cette méthode est recommandée lorsque l'image satellite est utilisée pour des études où les valeurs de brillance sont importantes (classification,...).
- La méthode Bilinear Interpolation qui utilise la brillance des 4 pixels environnent le point trouvé pour calculer par interpolation linéaire la valeur de brillance du pixel de l'image redressé. La formule utilisée pour calculer la nouvelle brillance est :

$$B = \frac{\sum_{k=1}^4 \frac{Z_k}{D_k^2}}{\sum_{k=1}^4 \frac{1}{D_k^2}}$$

Avec Z_k la valeur de brillance d'un des 4 pixels

et D_k la distance de ce pixel au point trouvé.

Cette méthode modifie la valeur des brillances de l'image originale et est donc déconseillée pour des études où celles-ci sont importantes. De plus elle agit

comme un filtre spatial de basse fréquence et réduit par conséquence l'influence des valeurs de brillance extrêmes.

- La méthode Cubic Convolution calcule également la valeur de brillance du pixel de l'image redressée par interpolation. Elle utilise la brillance des 16 pixels environnant le point trouvé et une fonction de type cubique pour effectuer l'interpolation. Cette méthode a un certain intérêt lorsque l'utilisateur modifie la taille des pixels.

Pour le redressement des images SPOT, utilisées à la SAED, il est conseillé d'utiliser la méthode Nearest Neighbour puisque celle-ci ne modifie pas les valeurs de brillance de sorte à pouvoir utiliser par la suite ces images pour des études de classification..

3. Montre la projection géographique choisie ainsi que le nombre de rangées et de colonnes de l'image redressée.
4. Donne les coordonnées des coins supérieur gauche et inférieur droit de l'image redressée (Output Corners). L'utilisateur peut ici modifier ces coordonnées. Cette modification n'influence pas le calcul de redressement d'image, mais permet de définir une zone à redresser au lieu de redresser toute l'image.
5. Donne la taille des pixels en X et Y dans l'unité choisie pour la projection vers laquelle l'image est redressée (Output Cell Sizes). Pour redresser une image SPOT cette valeur doit être de 20 mètres⁴ en X et Y.
6. Montre une case à cocher permettant d'ignorer les valeurs nulles dans le calculs des statistiques de l'image (Ignore Zero in Stats). Il est conseiller de la cocher lorsqu'une image SPOT est redressée puisque le pourtour de l'image est composée de valeur nulle.

La procédure de rééchantillonnage et de redressement de l'image est finalement lancée en cliquant sur le bouton OK.

3. Correction d'image sur la base d'une autre image.

Lorsqu'une image déjà redressée couvre la même étendue géographique que celle qu'il faut redresser, il est possible d'utiliser cette première image comme base pour la géoréférenciation.

Les différentes étapes à suivre pour effectuer ce redressement d'image vers image avec le logiciel Erdas sont décrites dans ce chapitre. La plupart des étapes sont similaires à celles décrites pour le redressement d'une image sur base de points relevés au GPS.

1 Avec la commande *File/Open/Raster Layer* du Viewer actif (Viewer 1) ouvrez l'image à redresser. Ensuite activez un deuxième Viewer (Viewer 2) avec le bouton Viewer du menu principal de Erdas. Déplacer Viewer 2 de sorte à rendre le premier visible. Dans ce deuxième Viewer ouvrez avec la commande *File/Open/Raster Layer* l'image déjà géoréférencée.

2 Ensuite avec la commande *Raster/Geometric correction* du Viewer 1 (Viewer contenant l'image à redresser) le processus de correction d'image est démarré. Comme au chapitre précédent Erdas demande quel type de modèle de correction géométrique il doit utiliser. Les mêmes remarques que celles données au chapitre précédant sont d'application. Dès que le

⁴ Lorsque les images SPOT à redresser sont au niveau de prétraitement 1A, le logiciel Erdas trouve par défaut une taille de pixel de 23 mètres. Ceci est dû à la non prise en compte lors du prétraitement de la courbure et de la rotation de la terre et donc les pixels du centre de l'image ont une résolution de 20 mètres et ceux en bordure de 27 mètres. Pour les images SPOT au niveau 1B et 2A Erdas trouve par défaut une valeur de 20 mètres puisque les deux erreurs systématiques décrites ci-dessus ont été corrigées. Il est fort possible qu'il faille utiliser le modèle SPOT de Erdas pour corriger des images SPOT au niveau 1A puisque celui-ci tient compte de la courbure de la terre et de l'angle d'incidence du capteur.

modèle est choisi, Erdas active la boîte de dialogue « Polynomial Model Properties » et les boutons de Geo Correction Tools (Figure 3).

Lorsque une image est redressée en utilisant une image déjà géoréférencée, le type de projection géographique est définie par l'image de référence. Pour définir les paramètres de la projection Il faut alors utiliser le bouton de commande *Set Projection from GCP tool*. Un clic sur ce bouton active la fenêtre de dialogue « GCP tool Reference Setup » (figure 5)

Cette boîte de dialogue présente différentes options et l'option qu'il faut choisir est l'option Existing Viewer. Ce choix est validé par un clic sur le bouton OK. Ensuite le logiciel Erdas demande de cliquer avec le bouton gauche de la souris dans le Viewer contenant l'image déjà redressée.

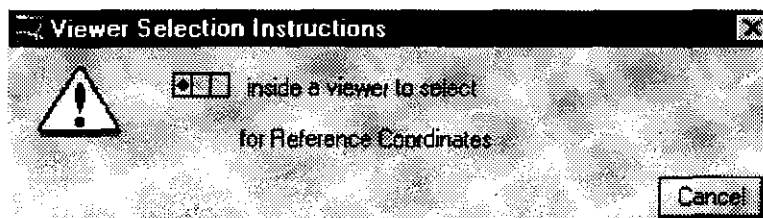


Figure 10 : Message de Erdas demandant de cliquer dans le viewer contenant l'image déjà redressée avec les coordonnées de référence.

Puis Erdas demande à l'utilisateur de confirmer les paramètres de la projection qu'il a extrait de l'image géoréférencée (figure 11).

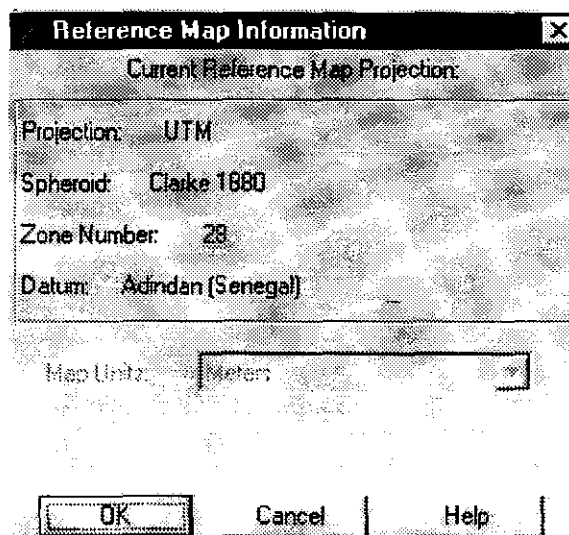


Figure 11 : Message de Erdas demandant de confirmer les paramètres de la projection.

3 A ce stade la projection et le type de modèle géométrique à utiliser ont été définis. Erdas active alors le « GCP editor » ainsi que deux Viewer liés respectivement à l'image à redresser et à l'image de référence (figure 12). Les mêmes commandes que celles décrites au chapitre précédant sont disponibles et permettent de placer les différents points de contrôle.

Le seul bouton de commande du GCP editor agissant de manière différente lorsqu'une image est redressée en se référant à une image déjà redressée est le bouton de mode automatique complet. En effet, lorsque ce mode est allumé et que Erdas dispose de suffisamment de points pour résoudre les équations de redressement, les différents GCP placés dans une image sont automatiquement placés dans l'autre image. L'utilisateur peut alors juger que ce placement automatique est erroné et déplacer le GCP dans une des deux images. Erdas

recalcule alors automatiquement les équations de correction géométrique ainsi que les différentes erreurs RMS.

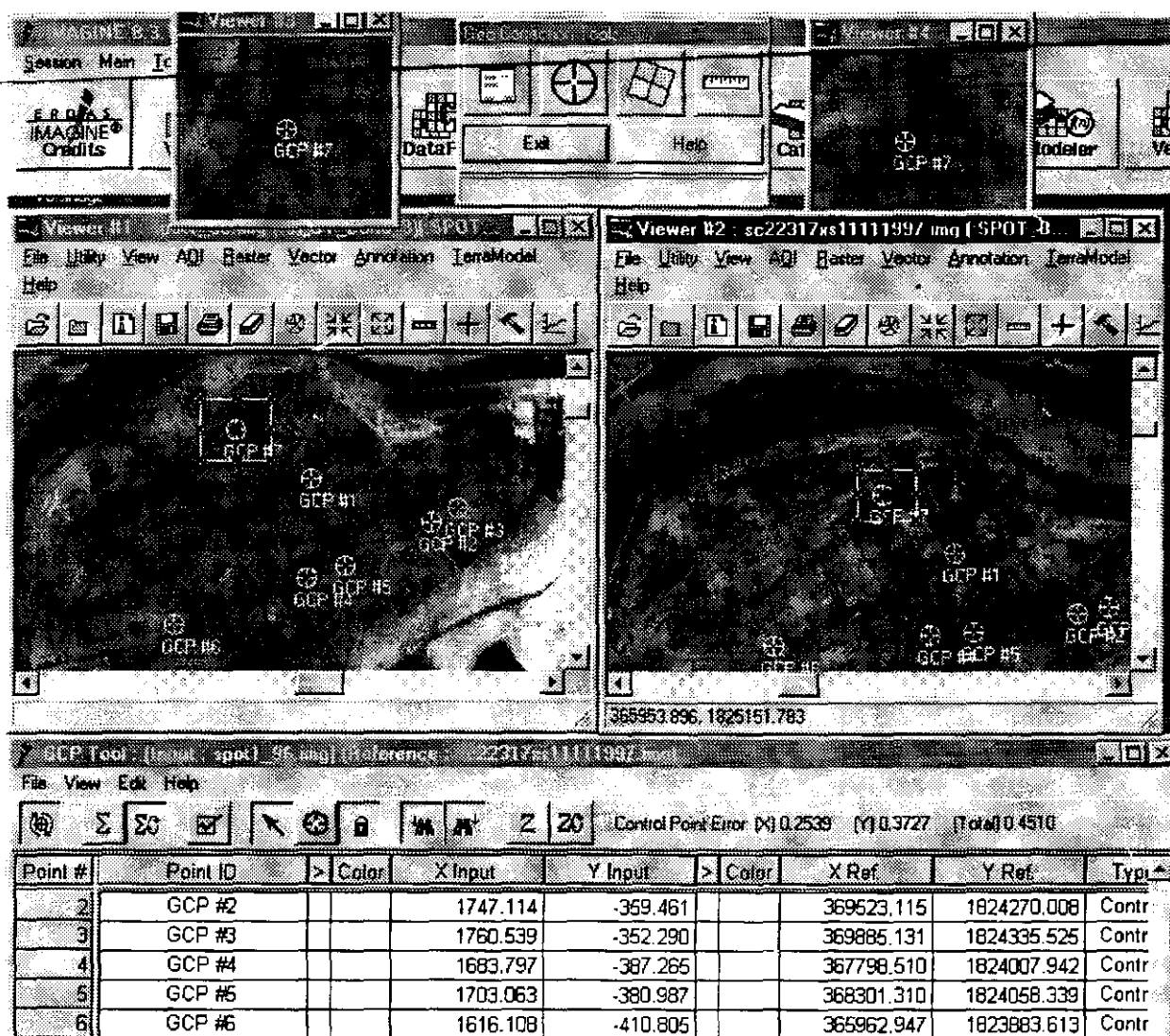


Figure 12 : Le GCP editor et les Viewer associés.

Lorsqu'une image est redressée en se basant sur une autre image, les GCP doivent avoir les propriétés suivantes:

- Visibles et identifiables sur les deux images.
- Répartis le plus uniformément possible autour de la zone d'intérêt sur l'image à redresser.

4 Dès qu'un nombre suffisant de GCP a été placés et que la précision atteinte est satisfaisante (RMS total inférieur à 0.5) le redressement de l'image est lancé de la même manière qu'au chapitre précédent. Il faut donc à nouveau choisir une méthode de rééchantillonnage en tenant compte de l'utilisation ultérieure de l'image.

III. Classification d'images satellites.

1. Introduction

Dans ce chapitre la théorie de la classification d'images satellites est présentée, suivie d'une partie pratique qui montre comment exécuter cette opération avec le logiciel « Erdas Imagine ».

Une définition du terme classification pourrait être « le traitement et l'analyse des données satellitaires brutes afin d'en extraire des informations utiles pour une bonne caractérisation de la zone couverte ». Il faut remarquer que cette définition touche le cœur de la procédure de classification, notamment transformer des données brutes en informations.

Plus précisément, une classification tente de grouper les données d'une image satellite en des thèmes représentant la même sorte d'information. Ceci peut être très large, par exemple classer une région en zones végétatives et non végétatives, ou plus spécifique, classer par exemple une zone végétative en des classes représentant les différentes espèces de végétation présentes.

Les données brutes d'une image satellite représentent des enregistrements de la quantité de rayonnement électromagnétique réfléctée par un objet. Ces enregistrements sont faits dans plusieurs longueurs d'ondes du spectre électromagnétique. Globalement un objet est caractérisé par ses enregistrements dans les différentes longueurs d'ondes et l'ensemble de ces enregistrements constituent, ce qu'on appelle, la signature spectrale d'un objet. Cette signature peut être unique, auquel cas il sera facile de reconnaître l'objet, la classe ou le pixel qui s'y rattache. Le plus souvent, cependant, elle recoupe partiellement d'autres signatures. Il est alors plus difficile de choisir l'objet qui correspond le mieux en minimisant autant que possible les risques d'erreurs.

Une classification essaie, en utilisant les signatures spectrales, de grouper une région en différentes classes représentant chacune le même type d'objet. Les différents objets considérés forment toute la région observée et contenue dans l'image satellite. Une classe d'objet est définie à partir de n'importe quel critère, physique, biologique, culturel, économique, etc. Bien entendu, il n'est pas du tout certain que les paramètres qui influencent les enregistrements du capteur satellitaire permettent effectivement de mesurer les propriétés des classes d'objets ainsi définis.

2. Méthodes de classification

Le processus d'analyse visant à la création d'images thématiques, c'est-à-dire d'images dont le contenu ne représente plus une mesure directe de la réflectance mais une interprétation et une catégorisation de la nature des objets associés aux pixels, se prête bien à un traitement par ordinateur. En effet, une fois que les critères de classification sont établis, l'ordinateur peut les appliquer rapidement pour déterminer la classe de chacun des nombreux éléments (pixels) de l'image.

Le processus de classification se fait en trois étapes : (1) l'établissement des classes de signatures ; (2) la classification de chacun des pixels en fonction des signatures ; (3) la vérification des résultats.

L'établissement des classes de signatures peut se faire à partir de deux situations initiales distinctes. Dans le premier cas, on possède des connaissances a priori sur la nature des objets contenus dans l'image et il suffit alors de communiquer ces informations à l'ordinateur

pour son apprentissage. On dit alors que la classification est dirigée. Dans le deuxième cas, aucune information préliminaire sur les signatures des objets à classer n'est communiquée à l'ordinateur qui doit alors rechercher, par association entre pixels, les signatures les plus communes dans la scène et en déduire des signatures d'objets virtuels.

L'établissement des classes de signatures

Le processus d'établissement de classes de signatures découle de deux concepts fondamentaux, ou hypothèses de base, qui évidemment ne sont que partiellement vrais dans la réalité :

1. Tous les objets appartenant à une même classe se caractérisent par des signatures identiques
2. Les signatures des différentes classes d'objets sont parfaitement distinctes les unes des autres.

L'établissement des classes de signatures revient à découper l'espace spectral en régions, opération appelée segmentation, chaque région étant associée à une classe, tout en essayant de minimiser autant que possible la confusion entre les classes de signatures. En effet, il y a presque toujours un certain chevauchement des signatures, ce qui fait qu'il existe aussi une certaine ambiguïté quant aux limites à fixer dans l'espace spectral pour chacune des classes.

Les règles de décision du découpage de l'espace spectral en régions doivent répondre à certains critères de base.

- D'abord, à un critère de précision : l'application de ces règles doit se traduire par des résultats aussi précis que possible du processus de classification.
- Ensuite, à un critère de fiabilité : la précision des résultats obtenus au moyen d'une règle particulière, doit pouvoir être conservée pour des données d'entrée de même nature et des classes semblables.
- Enfin, à un critère d'efficacité : l'application de ces règles doit se traduire par des coûts de traitement aussi faibles que possible.

Les règles de décision suivant lesquelles on effectue ce découpage de l'espace spectral constituent le cœur du processus de classification. Il existe deux grandes catégories de règles de décision :

- d'une part, celles qui ne s'appuient pas sur une connaissance à priori des paramètres statistiques associés aux classes en présence : on les appelle fonctions non paramétriques ;
- d'autre part, celles où, au contraire, on connaît ou l'on suppose connus les paramètres statistiques de ces classes : on les appelle fonctions paramétriques.

Il existe un grand nombre de fonctions non paramétriques, mentionnons parmi celles-ci :

- la segmentation de l'espace spectral par équidensité des populations de vecteurs associés aux pixels d'une image ;
- la segmentation par distance minimale entre les classes ;
- la segmentation par hyperparallélépipèdes ;
- la segmentation par seuillage des histogrammes

Vue que la signature d'une classe d'objets n'est pas unique dans la réalité, mais composée d'un certain nombre de signatures plus ou moins fréquentes, il peut être opportun de traiter celles-ci à partir de lois probabilistes. Cette approche permet d'effectuer alors une

segmentation de l'espace spectral suivant des règles de décision où les risques d'erreur sont minimisés par calcul des probabilités. Ces règles de décision sont paramétriques et les plus connues sont les fonctions bayésiennes.

Reste à aborder la façon dont on acquiert des informations sur les classes d'objets, afin de pouvoir appliquer ces règles de décision sur la segmentation de l'espace spectral. Nous verrons ci-dessous comment obtenir ces informations :

1. Par apprentissage à partir de zones dans l'image dont nous connaissons déjà la bonne étiquette, notamment par voie dirigée.
2. Par la seule analyse des images sans connaissance a priori de ces étiquettes, notamment par voie non dirigée.

L'établissement des classes par voie dirigée.

L'entraînement, ou l'apprentissage, par voie dirigée doit comprendre les étapes suivantes pour que les signatures des classes soient aussi conformes que possible aux objets que l'on cherche à repérer dans l'image :

1. Choisir les classes d'objets à rechercher dans l'image ; par exemple, veut-on séparer les zones inondées des zones sèches ou distinguer les différentes espèces de végétation ?
2. Diviser les zones d'entraînement en deux groupes, un premier groupe pour l'apprentissage et un deuxième pour la vérification. On peut toujours utiliser le même groupe pour ces deux étapes parce que les résultats obtenus seront toutefois biaisés, ce qui ne signifie pas nécessairement qu'ils ne soient pas acceptables.
3. Caractériser les signatures spectrales, c'est-à-dire être capable de les situer dans l'espace spectral et d'évaluer leur séparabilité (degré de discrimination).
4. Choisir une règle de segmentation de l'espace spectral.
5. Effectuer un essai de classification des pixels occupant les zones réservées à l'apprentissage, si les résultats ne sont pas satisfaisants, une modification des choix précédents pouvant aller jusqu'à définir de nouvelles classes d'objets peut alors s'imposer.
6. Effectuer un test de classification des pixels occupant les zones réservées à la vérification, si les résultats ne sont pas satisfaisants, recommencer tout le processus. Par exemple, il peut arriver qu'il faille regrouper les classes d'objets en catégories plus générales. L'inverse peut également être vrai, les résultats de classification de grandes catégories sont jugés si bons que l'on tente d'obtenir des sous-catégories.

Ces étapes sont répétées jusqu'à ce que les résultats soient jugés satisfaisants. La figure 13 illustre la méthode de classification par voie dirigée.

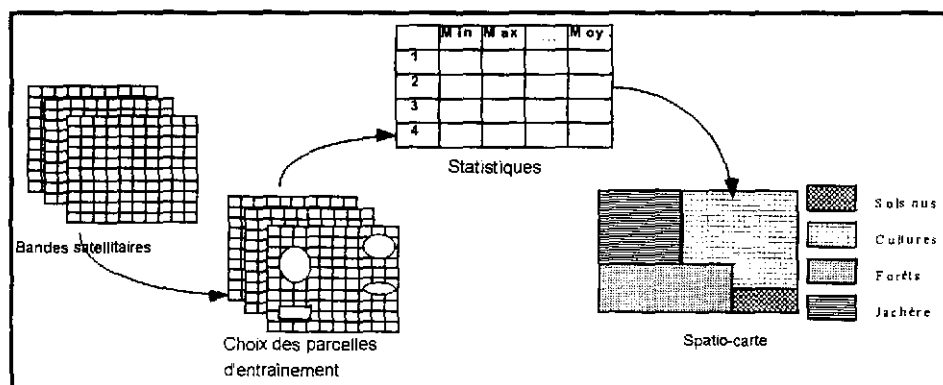


Figure 13 : Classification par voie dirigée : schéma de procédure

La réussite d'une classification dirigée exige le respect des trois conditions suivantes : (1) une bonne connaissance du terrain à étudier ; (2) un inventaire exhaustif des classes présentes dans l'image à analyser, et (3) une capacité de pouvoir localiser avec précision les zones d'entraînement sur l'image.

Toutefois, à cause de l'hétérogénéité des milieux naturels, il est très difficile de réunir toutes les conditions mentionnées ci-dessus. Pour cette raison, recours est fait à la classification non dirigée.

L'établissement des classes par voie non dirigée.

L'établissement des classes par voie dirigée nécessite de nombreuses étapes, ainsi qu'une très bonne connaissance des caractéristiques des objets à classer et de leur représentation dans l'espace spectral.

Une autre approche est cependant possible. Plutôt que de chercher la distribution des signatures dans l'espace spectral à partir des zones d'apprentissage, on peut trouver directement dans cet espace la configuration des classes d'intérêt, par des essais successifs et automatisés de segmentation.

La classification non dirigée consiste à regrouper automatiquement tous les pixels radiométriquement semblables en fonction d'une loi mathématique donnée. Le principe est que chaque classe d'objets est représentée par des nuées de points plus ou moins denses autour de son centre dans l'espace spectral. La méthode des nuées dynamiques, aussi appelée ISODATA, s'appuie étroitement sur les règles de décision mentionnées ci-dessus, auxquels s'ajoutent :

- une règle de sélection des meilleurs représentants d'une classe donnée ou de la nuée qui lui correspond;
- un critère d'optimisation;
- un nombre de classes à trouver.

Le résultat d'une classification non dirigée est obtenu quand la critère d'optimisation est atteint en utilisant la règle de sélection. La convergence de l'algorithme n'est cependant pas toujours assurée, ni les résultats d'ailleurs.

Contrairement à la classification dirigée, les classes obtenues par une classification non dirigée sont décodées par la suite en vérifiant à quoi elles correspondent dans la réalité. Si des zones de vérification existent, on peut alors estimer la qualité des résultats.

La figure 14 illustre la méthode de classification par voie non dirigée.

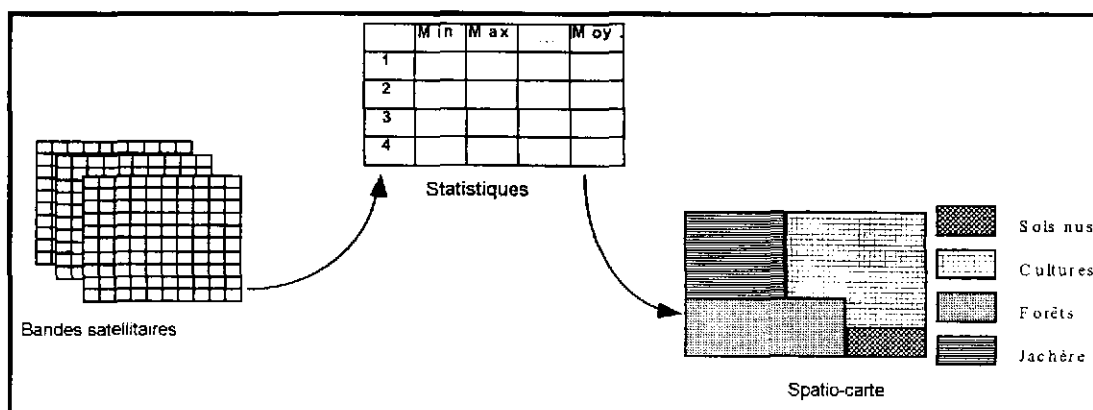


Figure 14 : Classification par voie non dirigée : schéma de procédure

Conclusion

Les algorithmes de classification n'ont pas tous la même performance, qu'il s'agisse de la rapidité d'exécution, des exigences en matériel informatique ou de la précision moyenne des résultats. Quelle que soit la performance relative d'un algorithme, il est nécessaire d'établir la qualité des résultats obtenus dans un contexte donné.

L'analyse des images de télédétection dispose d'un ensemble d'informatique matérielle et logicielle de plus en plus complète qui permet des analyses toujours plus poussées. Cependant, il faut garder à l'esprit que l'analyse d'images n'est qu'une opération d'extraction de l'information, c'est-à-dire que si l'information recherchée ne se trouve pas dans les données pour diverses raisons, les ordinateurs les plus puissants ne pourront pas la créer.

3. Classification non dirigée avec le logiciel ERDAS

Vue l'hétérogénéité naturelle de la zone à laquelle la SAED s'intéresse, une classification non dirigée est retenue comme la méthode la plus appropriée pour extraire de l'information des données présentes dans les images satellites.

La partie qui suit montre les différentes étapes et commandes à utiliser pour effectuer ce type de classification avec le logiciel ERDAS Imagine.

- 1 Les commandes nécessaires pour la classification se trouvent dans la module « Classifier », du menu général du logiciel (figure 15).

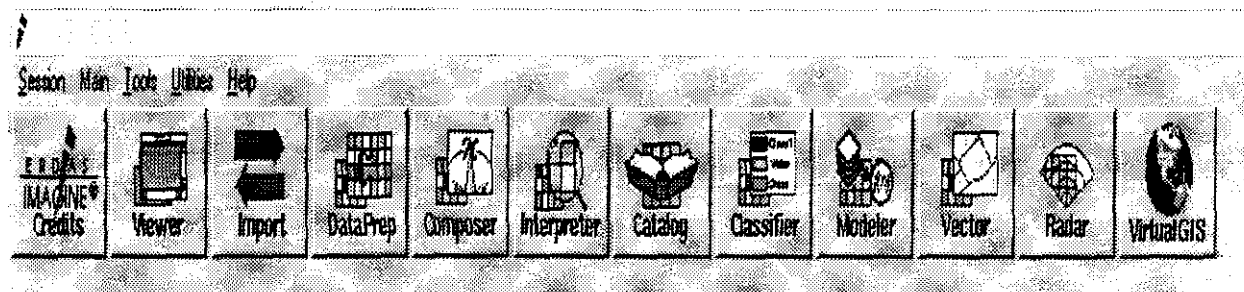


Figure 15 : Le menu principal du logiciel Erdas Imagine

- 2 La figure 16 montre les différents volets du module « classifier ». Chacun de ces volets ouvre, au moment de son activation, une boîte de dialogue.

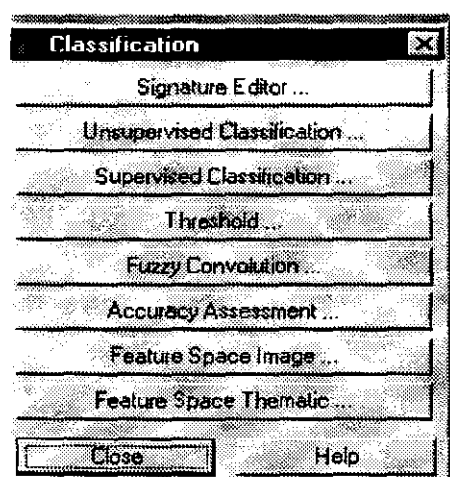


Figure 16 : Le module « Classifier »

Dans ce rapport nous décrirons que les deux premiers volets à savoir :

Le « Signature Editor » : Ce volet permet de créer, gérer, visualiser, évaluer, changer et classer les signatures.

Le « Unsupervised Classification » : Ce volet permet d'effectuer une classification non dirigée en utilisant l'algorithme nommé « ISODATA » (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique). Cet algorithme est un processus d'analyse de données à la fois itératif (à plusieurs reprises une classification et ses statistiques sont établies) et autonome (l'établissement des nuées dans l'espace spectral se fait avec une intervention de l'utilisateur limitée au strict minimum). L'algorithme utilise la distance spectrale minimale pour établir les nuées. Les centres initiaux des nuées sont choisis soit de

façon arbitraire, soit à partir d'un ensemble de signatures existantes. A chaque itération les centres des nuées changent et ces nouveaux centres sont utilisés lors de l'itération suivante. L'algorithme s'arrête lorsqu'un nombre maximale d'itérations a été effectué ou lorsque la différence entre deux itérations successives est en dessous d'un certain seuil.

3 La figure 17 montre la boîte de dialogue du volet « Unsupervised Classification ». Cette fenêtre permet de définir les paramètres à utiliser pour une classification non dirigée.

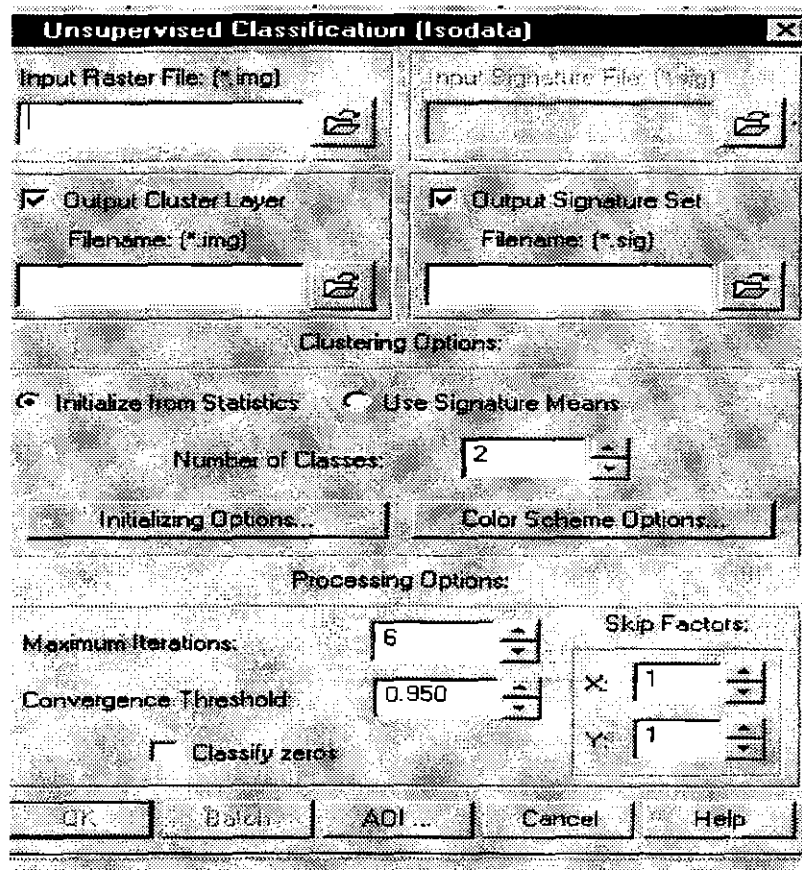


Figure 17 : La boîte de dialogue pour paramétrer la classification non dirigée

- Input raster file : spécifie le nom de l'image à classer.
- Input signature file : spécifie le nom du fichier qui contient les signatures existantes à utiliser pour définir les centres initiaux des nuées.
- Output cluster layer : spécifie le nom de l'image classée.
- Output signature set : spécifie le nom du fichier qui contient les signatures créées lors de la classification non dirigée.

Clustering options : les options suivantes permettent de spécifier la manière d'établir les centres initiaux des nuées.

- Initialize from statistics : Lorsque cette case est cochée les centres initiaux sont créés arbitrairement à partir des statistiques générales de l'image.
- Use signature means : Lorsque cette case est cochée les signatures existantes (voir « input signature file ») constituent alors la base du choix des centres initiaux. Le nombre de classe sera égal au nombre de signature donné.

Number of classes :

Spécifie le nombre de classes à créer par la classification

Initializing options :

Ce bouton active la boîte de dialogue « File Statistics Options » (Figure 18). Cette fenêtre permet de définir la méthode à utiliser pour générer les centres initiaux de l'algorithme « Isodata ».

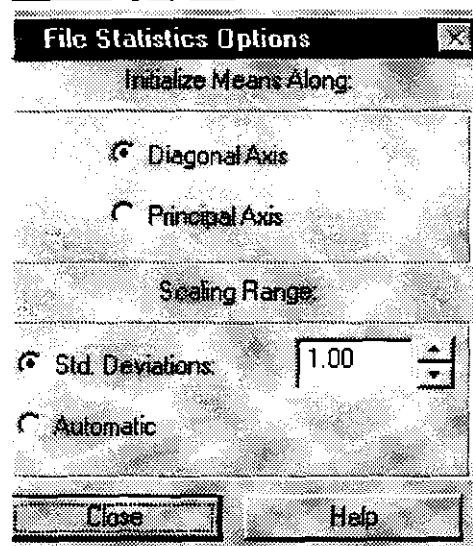


Figure 18 : La boîte de dialogue « File Statistics Options »

Initialize means along : permet de spécifier quel axe de l'espace spectrale sera utilisé pour définir les centres initiaux des nuées. Cette axe est porté par le vecteur diagonal (« Diagonal Axis ») ou le vecteur de la première composante principale (« Principal Axis ») de l'image.

Scaling range : ce paramètre définit l'étendue du domaine de définition de l'axe à l'intérieur duquel les centres initiaux sont calculés. Cette étendue du domaine est soit un nombre de déviation standard défini par l'utilisateur (« Std.Deviations »), soit calculée en fonction du nombre de classe demandé en supposant une distribution normale des données (« Automatic »).

Color scheme options :

Ce bouton active la boîte de dialogue « Output Color Scheme Options » (Figure 19).

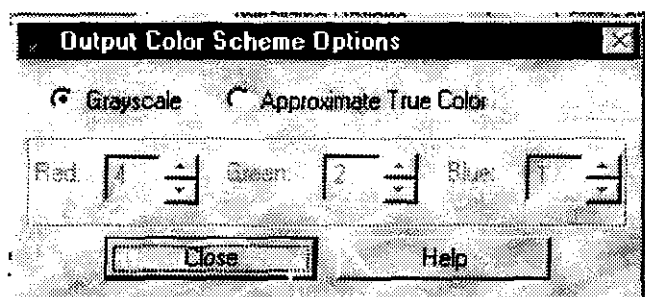


Figure 19 : La boîte de dialogue « Output Color Scheme Options »

Cette fenêtre permet de choisir une palette de couleurs à attribuer aux classes. La palette de couleurs est composée de différentes teintes de gris (« Grayscale ») ou de différentes couleurs (« Approximate true color »).

Processing options : les options suivantes permettent de définir des caractéristiques nécessaires à l'algorithme de classification.

Maximum iterations :

spécifie le nombre maximal d'itérations à effectuer, une fois que ce nombre est atteint l'algorithme s'arrête.

Convergence threshold :

spécifie le seuil de convergence, ce pourcentage représente le nombre de pixels dont l'appartenance à une classe donnée ne change pas entre deux itérations successives.

Classify zeros :

Lorsque cette case est cochée les pixels de l'image dont la valeur numérique est zéro sont également classés.

Skip factors :

lorsque ce facteur est plus grand que 1 en x ou en y l'algorithme passe d'un pixel à l'autre dans l'image en utilisant les valeurs données par l'utilisateur. Ce paramètre définit en quelque sorte le nombre de pixels à omettre de la procédure de création de signature. Ce paramètre permet d'accélérer la procédure de

classification puisque le nombre de pixels pris en considération est moins important, mais cela implique aussi un résultat plus généralisé. En effet, les pixels classés sont agrégés et ont la taille donnée par le skip factor.

- 4 La figure 20 montre l'interface du volet « Signature editor » qui permet de créer, gérer, visualiser, évaluer, changer et classer les signatures spectrales.

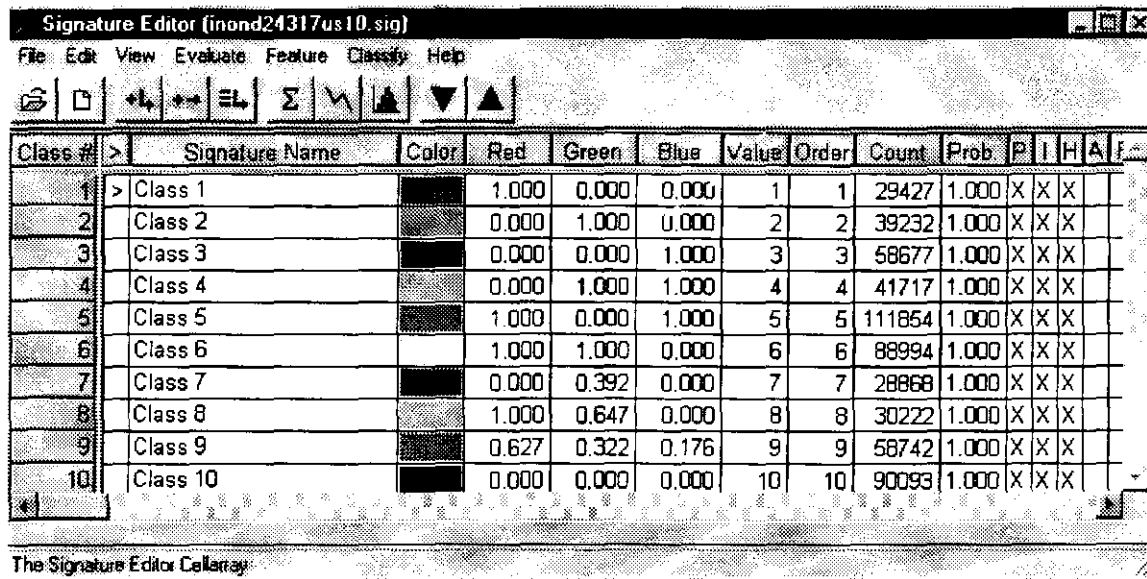


Figure 20 : L'interface du volet « Signature Editor »

Les signatures spectrales, et donc cet interface, assistent l'utilisateur dans l'identification des classes obtenues par la classification non dirigée. Les possibilités et fonctionnalités de cet interface sont nombreuses, parmi celles-ci, deux sont présentées ci-dessous (figure 21). La figure 21 montre un graphique avec des courbes représentant des signatures spectrales et les statistiques liées à la signature spectrale d'une de ces classes.

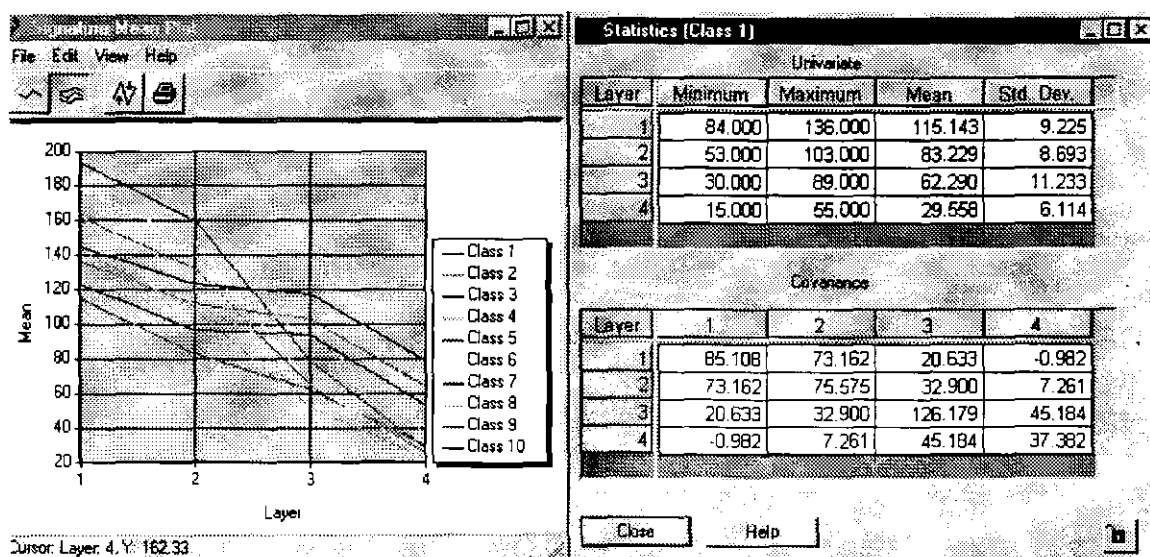


Figure 21 : Courbes des signatures spectrales de 10 classes et les statistiques associées à une signature spectrale

- 5 L'interprétation d'un résultat d'une classification non dirigée est une opération qui nécessite l'intégration de différentes sources d'information. L'étendue de ces sources varie

selon la complexité recherchée et/ou détectée par la classification, c'est à dire qu'une classification qui cherche à distinguer les zones urbaines des zones agricoles sera plus facile à interpréter qu'une classification, de la même zone, qui cherche à distinguer les types de forêts des différentes cultures présentes, etc. Notons que les sources de données sont généralement les signatures spectrales, l'image satellite originale, la connaissance du terrain de la zone classée et les relevés pris sur le terrain.

IV. Etude de la mise en valeur de 1992 à 1998 dans le Delta du fleuve Sénégal par classification d'images satellites.

Afin d'illustrer les méthodes décrites dans ce manuel de procédure aux chapitres précédents, l'évolution de la mise en valeur des aménagements hydro-agricoles du Delta du fleuve Sénégal durant les hivernages de 1992 à 1998 a été déterminée et étudiée par analyse et classification d'images SPOT.

Cette étude permet non seulement de montrer l'utilité des classifications d'images satellites, mais également de valoriser les images SPOT de la SAED, acquises chaque année pour la mise à jour du Système d'Information Géographique.

Les images SPOT brutes utilisées dans cette étude sont données par le tableau 1.

Année	Scènes	Dates de prise de vue
1992	022-317 XS niveau 1B	26/09/1992
	022-318 XS niveau 1B	26/09/1992
	023-317 XS niveau 1B	05/10/1992
1993	022-317 XS niveau 2A	20/09/1993
	023-317 XS niveau 2A	20/09/1993
	022-318 XS niveau 2A	20/09/1993
1994	022-317 XS niveau 2A	28/10/1998
	023-317 XS niveau 2A	28/10/1998
	023-318 XS niveau 2A	28/10/1998
1995	022-317 XS niveau 2A	22/10/1995
	023-317 XS niveau 2A	17/10/1995
	023-318 XS niveau 2A	22/10/1995
1996	021-317 XS niveau 1A	09/10/1996
	023-317 XS niveau 1A	31/10/1996
	023-317 XS niveau 1B	30/10/1996
1997	022-317 XS niveau 2A	11/11/1997
	023-317 XS niveau 2A	23/10/1997
1998	022-317 XI ⁵ niveau 1B	08/10/1998
	023-317 XI niveau 1B	08/10/1998

Tableau 1 : Images SPOT utilisées dans cette étude.

⁵ XI est le nouveau format d'image fourni par SPOT image depuis le lancement du satellite SPOT 4. Ce type d'image est constitué de 4 bandes, les trois bandes traditionnelles des images SPOT XS et d'une bande supplémentaire dans le moyen infra rouge (SWIR : Short Wave Infra Red).

Ce type d'étude pourra par la suite être effectuée chaque année par la SAED puisque celle-ci acquiert des images SPOT à chaque hivernage. Ce traitement permet également de contrôler et vérifier les informations en provenance du dispositif d'appui conseil pour ce qui concerne la mise en valeur en hivernage.

1. Méthodologie.

Dans ce chapitre la méthodologie suivie pour déterminer les zones mise en valeur par classification d'image SPOT est décrite. Deux hypothèses ont cependant été posées : (1) comme il s'agit d'images prises en hivernage et que la zone d'étude est le Delta du fleuve Sénégal, la culture recherchée et déterminée par classification est la riziculture et ; (2) la mise en valeur ne peut avoir lieu que dans un aménagement hydro-agricole connu et donc cartographié dans le SIG de la SAED.

Redressement des images.

Dans un premier temps, toutes les images utilisées dans cette étude ont été redressées vers le système de projection cartographique le plus utilisé au Sénégal et qui est celui en vigueur dans le SIG SAED. Ce système de projection est caractérisé par les paramètres suivants :

- Projection : Universal Transverse Mercator (UTM).
- Sphéroïde : Clarke 1880
- Datum : Adindan Sénégal
- Zone : 28.

Les trois images brutes de SPOT, couvrant le Delta du fleuve Sénégal et prises durant l'hivernage 1996, ont été redressées sur base de points relevées au GPS. Ce travail avait été effectué par l'équipe de la Division Suivi Evaluation de la SAED en Octobre 1998, grâce au GPS différentiel, avec l'appui de l'expert de la communauté européenne⁶. La précision obtenue lors de ce redressement a été inférieure à 0.5 pixels ce qui est donc plus qu'acceptable. La méthode utilisée et les étapes à suivre pour effectuer ce type de redressement avec le logiciel Erdas ont été décrites dans ce manuel. Le résultat du redressement de ces images a alors été gravé sur un CD ROM

Toutes les autres images utilisées dans cette étude ont été redressées en utilisant ces trois images de 1996 comme base pour le redressement. Cette option a été choisie en raison de la plus grande souplesse et convivialité offerte par Erdas pour redresser des images en utilisant la méthode d'image vers image également décrite et expliquée dans ce manuel. La précision atteinte a été inférieure à 0.5 pixels pour toutes les images. Deux CD ROM ont été utilisés pour graver toutes ces images SPOT redressées.

Des équations polynomiales du second ordre ont été utilisées pour redresser les images SPOT au niveau 1A et des équations polynomiales du premier ordre pour redresser les images SPOT au niveau 1B et 2A.

Classification des images.

Avant de passer à la classification proprement dite, un masque formé des zones aménagées a été créé. Pour réaliser ce masque les fonctionnalités des logiciels Arc/Info PC et Erdas ont été exploitées.

Dans un premier temps la couche du SIG SAED contenant les aménagements hydro-agricoles (couche AHA ; cette couche représente l'union de toutes les couches AHA du SIG SAED soit : AHA94, AHA95, AHA96 et AHA97) a été convertie en image Raster avec la commande POLYGRID de Arc/info PC.

⁶ Etude sur la mise en place d'un SIG couvrant le département de Podor, projet 7ACP.

La commande POLYGRID permet de transformer un fichier vecteur constitué de polygones en un fichier raster formé de pixel portant la valeur d'un des attributs des polygones. Pour cette étude l'attribut code de l'aménagement a été utilisé pour convertir la couche AHA en image raster. La commande POLYGRID demande aussi la résolution de l'image raster. Afin de respecter la résolution des images SPOT une résolution de 20 mètres a été demandée.

Ceci donne une image raster où chaque pixel porte soit le code de l'aménagement auquel il appartient et soit 0 lorsque le pixel se trouve hors d'une zone aménagée. La commande polygrid produit une image raster au format *.gis. Cette image est importée et convertie au format Erdas avec la commande Import de Erdas.

Cette image raster sera utilisée ultérieurement dans cette étude et est nommée « la couche raster des AHA ».

Pour finalement créer le masque, la couche raster des AHA est recodée avec la commande Recode (Interpreter/Gis analysis/Recode) de Erdas. Cette commande permet de changer la valeur des pixels d'une image. Pour former un masque les pixels ayant comme valeur 0 garde une valeur de 0 et tous les autres pixels prennent la valeur 1. Ceci donne une image avec des pixels portant la valeur 1 en zone aménagée et 0 hors zone aménagée (figure 22).

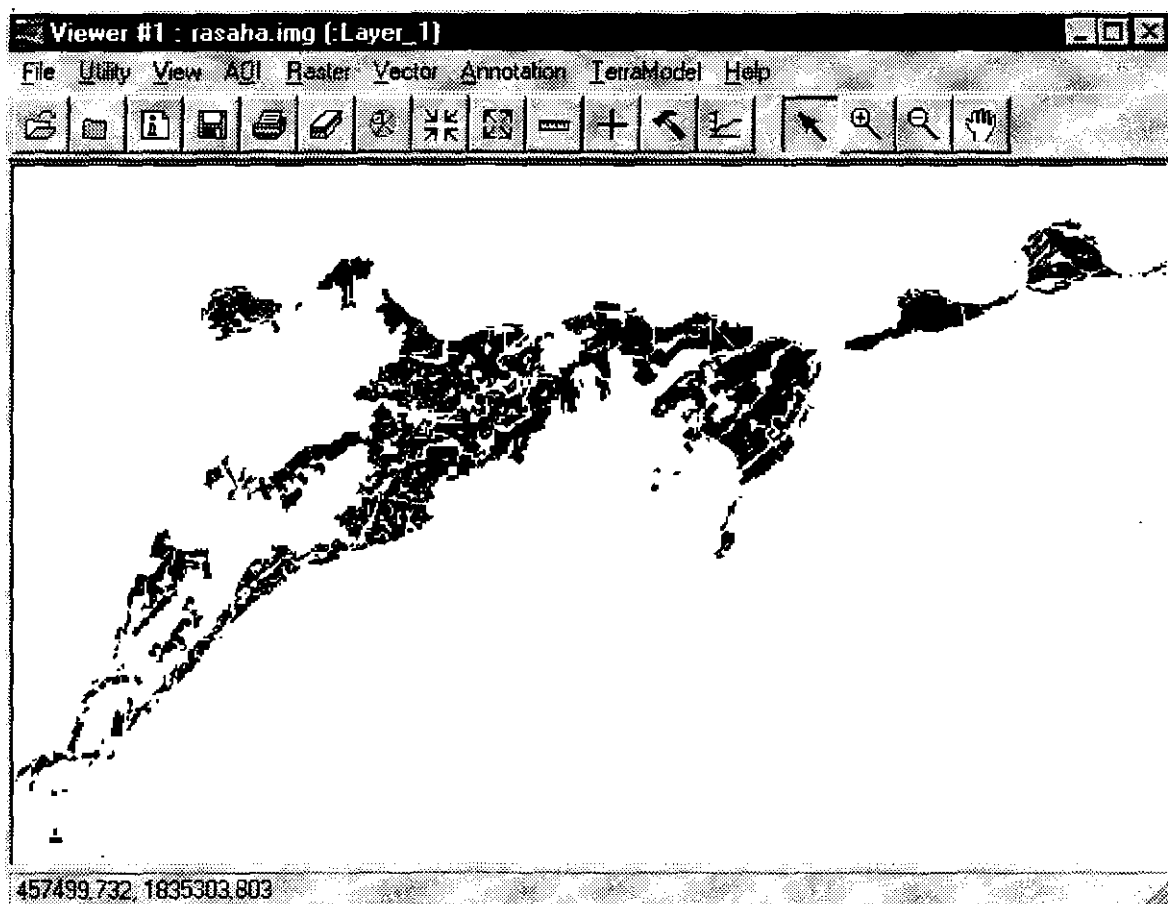


Figure 22 : Image raster des zones aménagées.

Ensuite ce masque est appliqué aux images satellites exploitées dans cette étude en utilisant la commande Mask (Interpreter/Utilities/Mask) de Erdas. Cette commande permet de masquer une image par une autre image. Lorsqu'un pixel est nul dans l'image jouant le rôle de masque il sera nul dans l'image créée par l'opération de masquage et tout autre pixel portera la valeur de l'image masquée. Donc cette opération donne la valeur de 0 aux pixels non aménagés et n'altère pas la valeur de brillance des images satellites dans les zones aménagées. Le résultat donne une image satellite des zones aménagées (Figure 23).



Figure 23 : Image satellite de 1994 masquée par la couche raster des AHA.

Chaque image masquée a ensuite été classée de manière non supervisée en 20 classes. Le fait de classer les images masquées permet : (1) de tenir compte de la deuxième hypothèse posée pour cette étude ; la mise en valeur ne peut avoir lieu que dans un aménagement hydro-agricole connu et donc cartographié dans le SIG de la SAED et (2) d'affiner la classification puisque seules les zones aménagées sont réparties en 20 classes. Ce masque élimine donc dans le processus de classification l'influence des classes hors aménagements du type dunes de sable, fleuve et lac ,...

Les options choisies pour la classification non supervisée des images ont été les suivantes :

- Nombre de classes : 20
- Initialisation : Initialisation à partir des statistiques
- Option d'initialisation : Moyenne initialisée sur l'axe diagonal
Scaling range automatique
- Nombre d'itération : 60
- Seuil de convergence : 0.99
- Ne pas classer les zéros

Comme il s'agit d'une étude rétrospective, il est impossible de déterminer la nature de chaque classe par une vérité terrain. Toutefois en se basant sur la classification effectuée pour l'étude de détermination de rendement sur les images de 1998⁷, sur les informations de la BdD SAED et sur l'analyse visuelle de la classification et de l'image satellite, il est possible

⁷ Cette étude fait partie des termes de référence du programme d'appui à la consolidation et à la valorisation du système de suivi évaluation de la SAED. Elle a fait l'objet d'un rapport publié en Février 1999.

de déterminer les classes représentant de la riziculture. De plus l'expérience de terrain et la connaissance de la région de l'analyste facilite cette détermination.

En utilisant la méthode décrite dans ce manuel de procédure (l'affichage simultanée de la classification et de l'image satellite des zones aménagées et le changement de couleur d'affichage des classes) pour chaque image classifiée, les classes représentant du riz sont déterminées.

Les images classées sont ensuite recodées en une image donnant les zones sous riziculture avec la commande recode (Interpreter/utilities/recode) de Erdas de sorte à avoir une image où un pixel ayant la valeur de 1 représente un pixel sous riziculture et un pixel ayant la valeur de 0 représente un pixel non mis en valeur.

Bien entendu, pour certaines classes, le riz et la végétation aquatique (mauvaises herbes) ainsi que le riz et les repousses de riz ont été confondus, ce qui apporte une certaine erreur dans la classification. Pour réduire l'influence de cette erreur tout groupe de pixel représentant du riz mais ayant une superficie inférieure à 1 ha a été éliminé. Pour ce faire la commande Clump (Interpreter/Gis Analysis/clump) suivi de la commande Eliminate (Interpreter/Gis Analysis/Eliminate) de Erdas ont été utilisés.

La première commande, Clump, compte les pixels d'une image appartenant à une région (une région est un groupe de pixels contiguës) et construit une nouvelle image où chaque pixel a une valeur égale au nombre de pixel formant la région à laquelle il appartient dans l'image de base.

La deuxième commande, Eliminate, est appliquée au résultat de la commande Clump et permet d'éliminer les pixels appartenant à une région de taille inférieure à une valeur donnée. Pour cette étude, tous les pixels représentant du riz après classification mais appartenant à une région inférieure à 1 ha ont été éliminés puisque ces pixels sont considérés comme étant une zone de végétation naturelle et donc non mis en valeur.

Après avoir appliquée la commande Eliminate, il faut recoder l'image résultat de sorte à obtenir une image ayant comme valeur 1 dans les zones mises en valeur de plus de 1 ha et de 0 dans les zones non mise en valeur.

La figure 24 illustre l'application de la commande Clump suivie de la commande Eliminate et Recode.

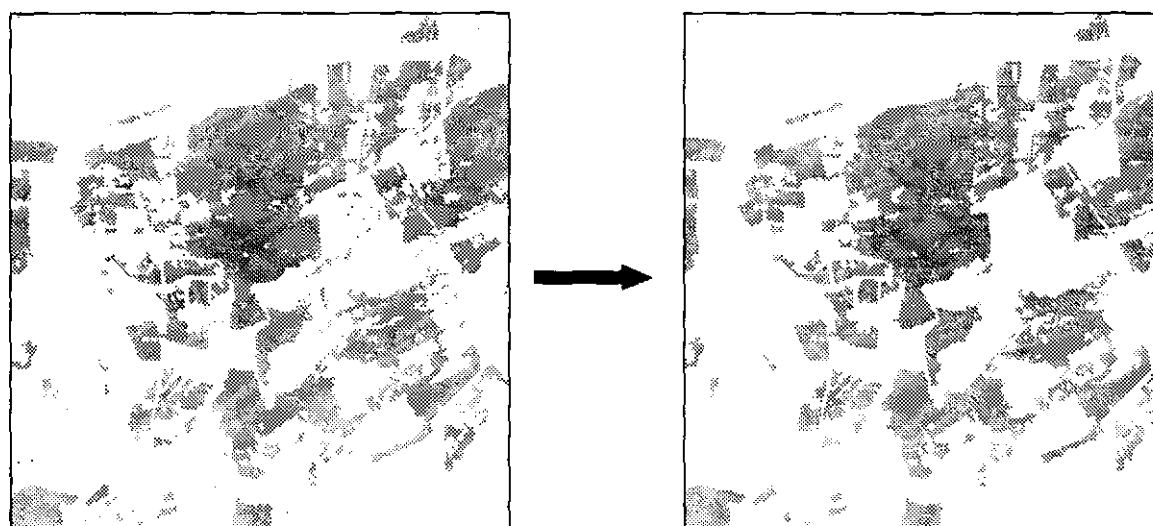


Figure 24 : Résultat de la classification avant Clump, Eliminate et recode et après cette séquence de commandes.

Après avoir exécutées toutes ces opérations sur les différentes images à classer, une mosaïque par année a été réalisée en utilisant le commande Mosaic Images (DataPrep/Mosaic Image) de Erdas.

Finalement des cartes raster de la mise en valeur du Delta du fleuve Sénégal durant les hivernages 92, 93, 94, 95, 96, 97 et 98 sont obtenues. Les pixels de ces cartes de mise en valeur ont une valeur de 1 lorsqu'ils ont été cultivés et de 0 dans le cas contraire.

Une dernière carte a été produite, celle du taux d'utilisation des terres en hivernage sur 7 années. Cette couche raster est créée en sommant les cartes de mises en valeur par année.

Tableaux

Afin de relier la mise en valeur déterminée par classification d'images à la banque de données SAED, des tableaux contenant le code aménagement de la Banque de données et du SIG SAED et le nombre d'hectares cultivés d'après la classification d'images ont été créés.

Pour construire ces tableaux, la couche raster des AHA décrite au début de ce chapitre, est masquée avec les différentes couches raster de la mise en valeur dans le Delta du fleuve Sénégal. Cette opération produit pour chaque année étudiée une couche où les pixels portent la valeur du code de l'aménagement auquel ils appartiennent lorsqu'ils ont été cultivés et la valeur de 0 lorsqu'ils n'ont pas été mis en valeur.

Ensuite, en utilisant le raster attribute editor (activé par la commande Raster/Attributes du Viewer) avec une des couches décrites ci-dessus active dans le Viewer, une colonne contenant les superficies cultivées de chaque aménagement est rajoutée. Cette colonne est automatiquement remplie par Erdas avec la commande Edit/Add Area Column. Puis avec la commande Edit/Export les tableaux sont exportés vers un fichier ASCII avec l'extension .dat.

Ces fichiers ASCII, un par année étudiée, sont alors ouverts et traités avec Excel, puis exportés au format base de données afin d'effectuer des liens avec la BdD SAED. D'autres tableaux sont également produit en utilisant la même procédure que celle décrite ci-dessus.

2. Résultats et commentaires.

Pour plusieurs raisons, données ci-dessous, la classification des images SPOT n'est pas fiable à 100% et les différents chiffres donnés dans ce rapport doivent être analysés compte tenu de cela. En effet, dans une zone comme le Delta du fleuve Sénégal, classer une image pour retrouver des zones sous riziculture est rendu compliqué par la végétation de type aquatique qui a une réponse spectrale similaire à celle du riz dans les canaux d'une image Spot XS (vert, rouge, Et Infra Rouge). Ce risque de confusion est moins important avec une image de type XI puisque le canal supplémentaire SWIR accroît la possibilité de discerner le riz de la végétation naturelle.

Cette confusion entre riz et végétation est aggravée par le fait que : (1) les dates de semis du riz s'étalent sur plus de deux mois et donne donc plusieurs classes de riz (2) les rendements de la riziculture varient de 1t/ha à 8t/ha ce qui augmente également le nombre de classes représentant du riz et (3) le grand nombre de pixels de type mixtes qui contiennent X % de riz et 1-X% d'un autre objet en raison de la résolution au sol d'une image SPOT (20 x 20 m).

Cette confusion a surtout lieu pour le riz envahi de mauvaises herbes et le riz jeune lors de la prise de vue. Comme les images datent en général du mois d'octobre, du riz jeune à cette époque aura un très mauvais rendement en raison des problèmes de fertilité liés au froid. Donc la confusion entre riz et végétation a lieu pour les mauvaises classes de riz (rendement faible). Ces mauvaises classes de riz représentent en superficie environ 20% des classes de riz. Dans cette mauvaise classes de riz environ 50% en superficie est de la végétation aquatique. En résumé, la classification d'image SPOT pour déterminer les zones sous riziculture dans le Delta du fleuve Sénégal contient environ 10% à 15% d'erreur.

Le but de l'exercice étant de faire une analyse comparée de l'évolution des superficies cultivées en riz au fil des années, ce niveau d'erreur est donc parfaitement admissible.

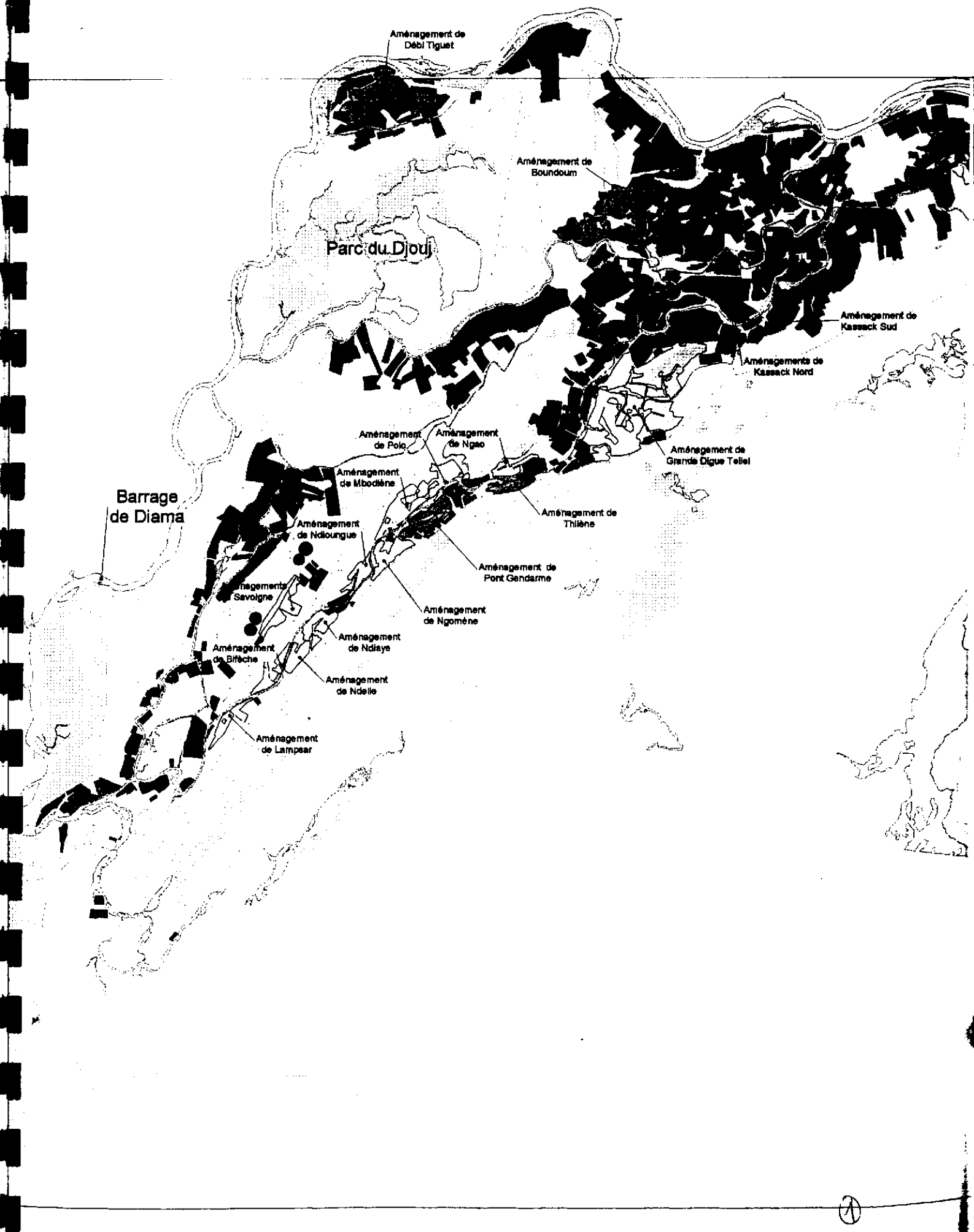
Les résultats de cette étude sont cartographiques et tabulaires. Les différentes cartes produites sont les suivantes :

- Carte des zones sous riziculture en hivernage 1992.
- Carte des zones sous riziculture en hivernage 1993.
- Carte des zones sous riziculture en hivernage 1994.
- Carte des zones sous riziculture en hivernage 1995.
- Carte des zones sous riziculture en hivernage 1996.
- Carte des zones sous riziculture en hivernage 1997.
- Cartes des zones sous riziculture en hivernage 1998.
- Carte de l'intensité culturale en hivernage de 1992 à 1998.
- Carte donnant le dernier hivernage exploité.
- Carte de l'intensité culturale en hivernage de 1996 à 1998.

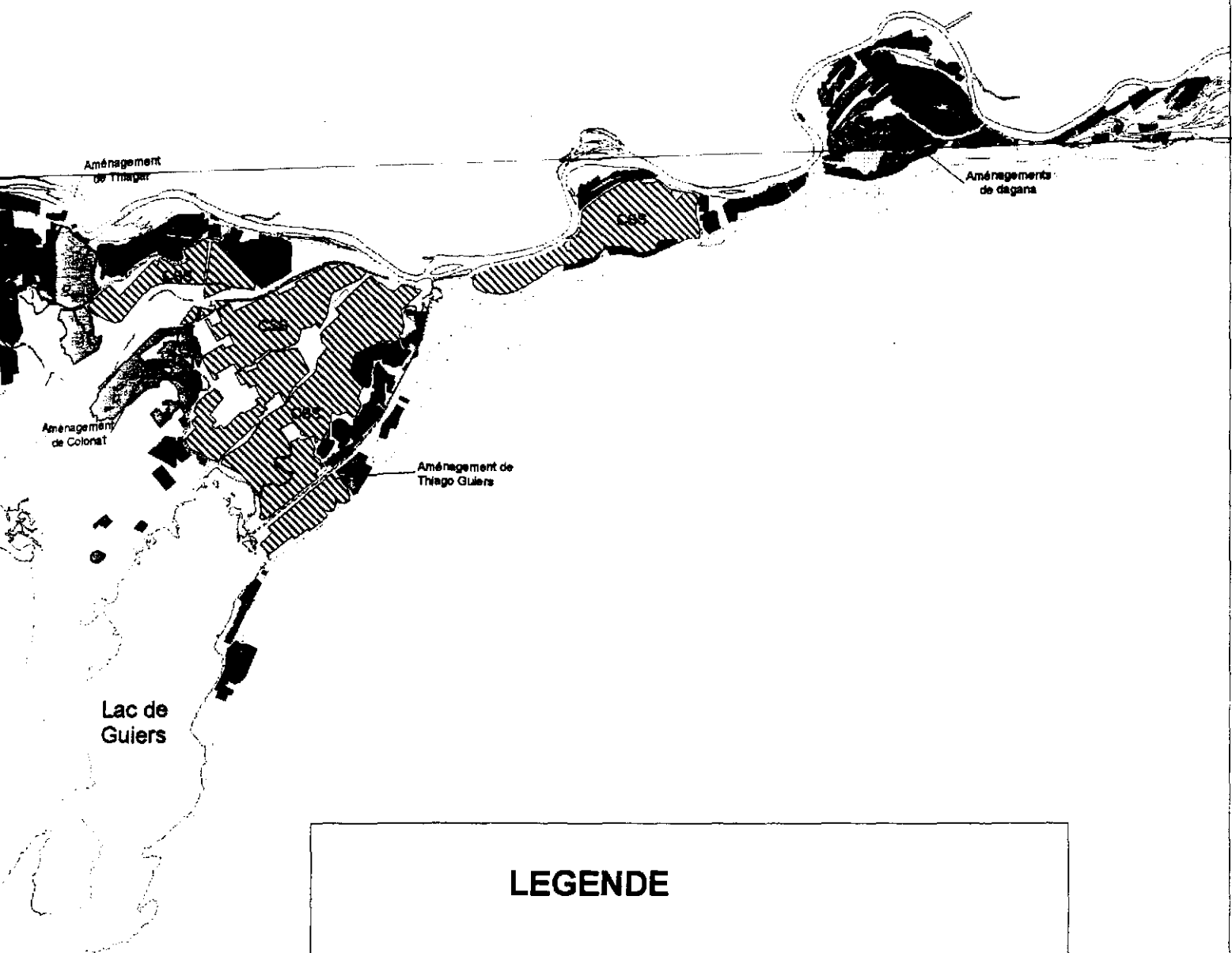
Ces différentes cartes sont présentées ci dessous ainsi que la carte des aménagements classés par type.

Carte des aménagements du Delta du fleuve Sénégal cl

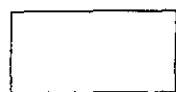
(Information provenant du SIG et de la BDD SAED)



classés par type.



LEGENDE



Grand Aménagement SAED non transféré



Grand Aménagement SAED transféré



Compagnie Sucrière du Sénégal



Aménagement Intermédiaire



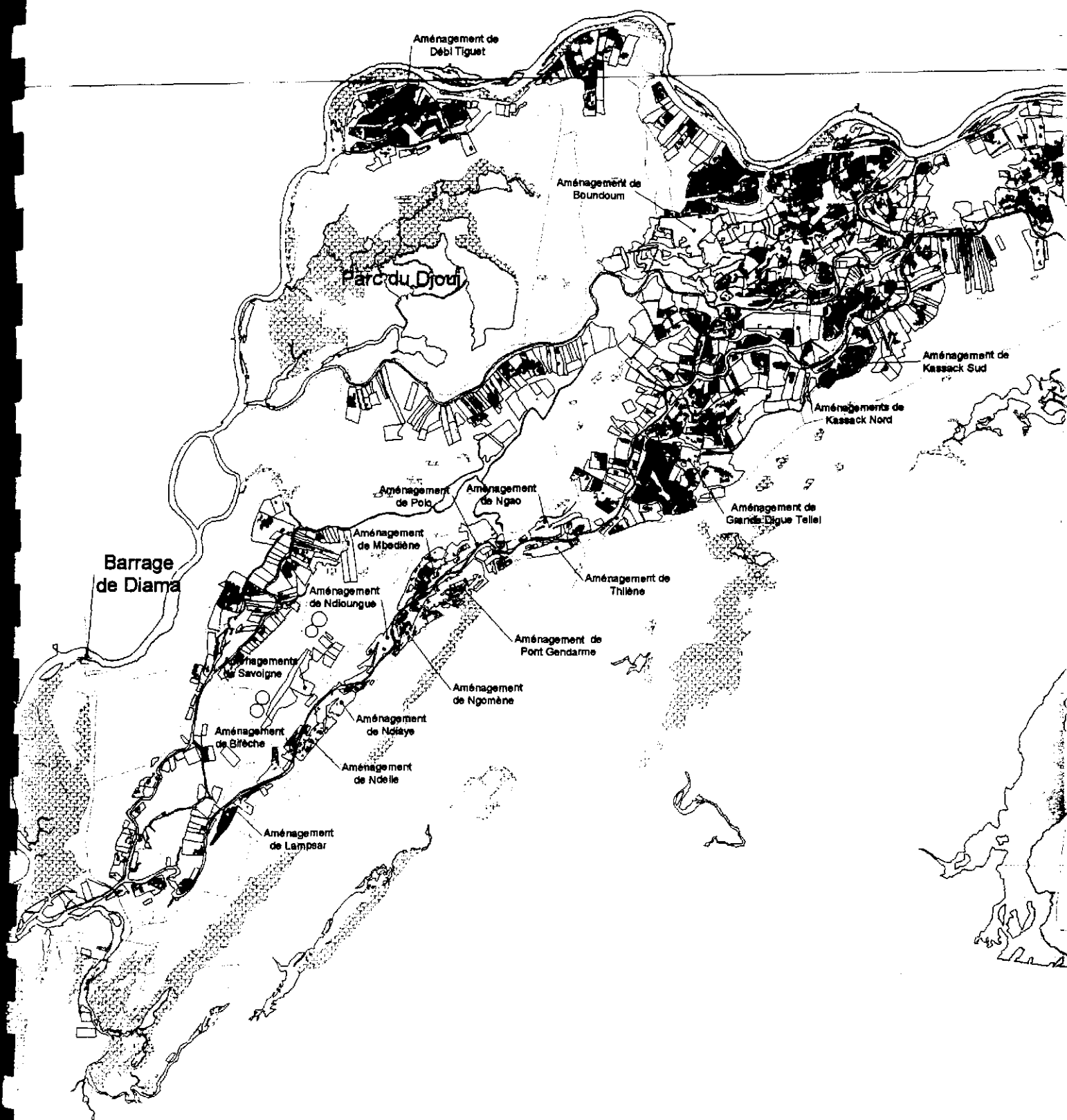
Petit Périmètre Irrigué SAED

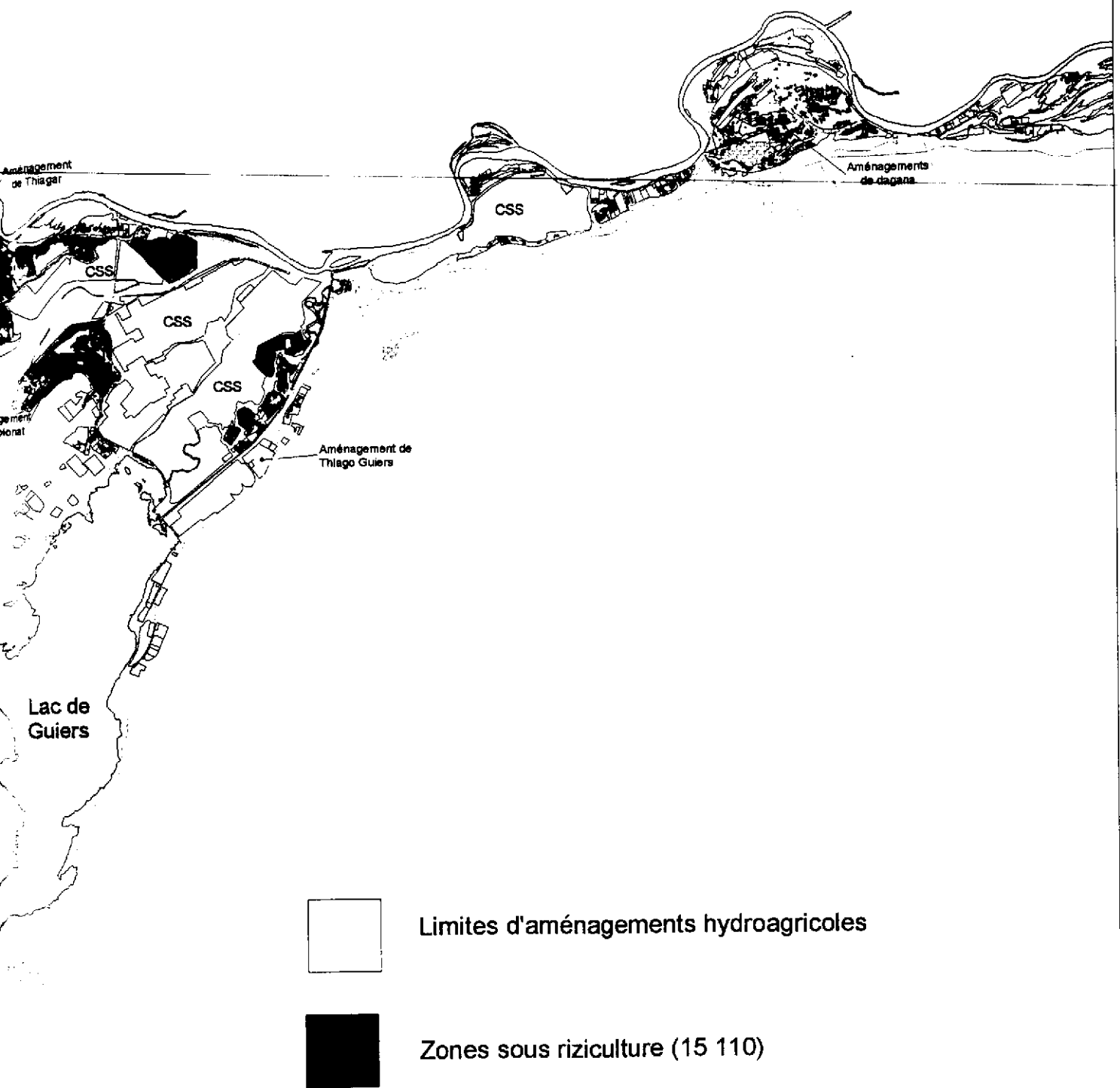


Périmètre Irrigué Privé

Carte des zones sous rizicultures en hivernage 1992.

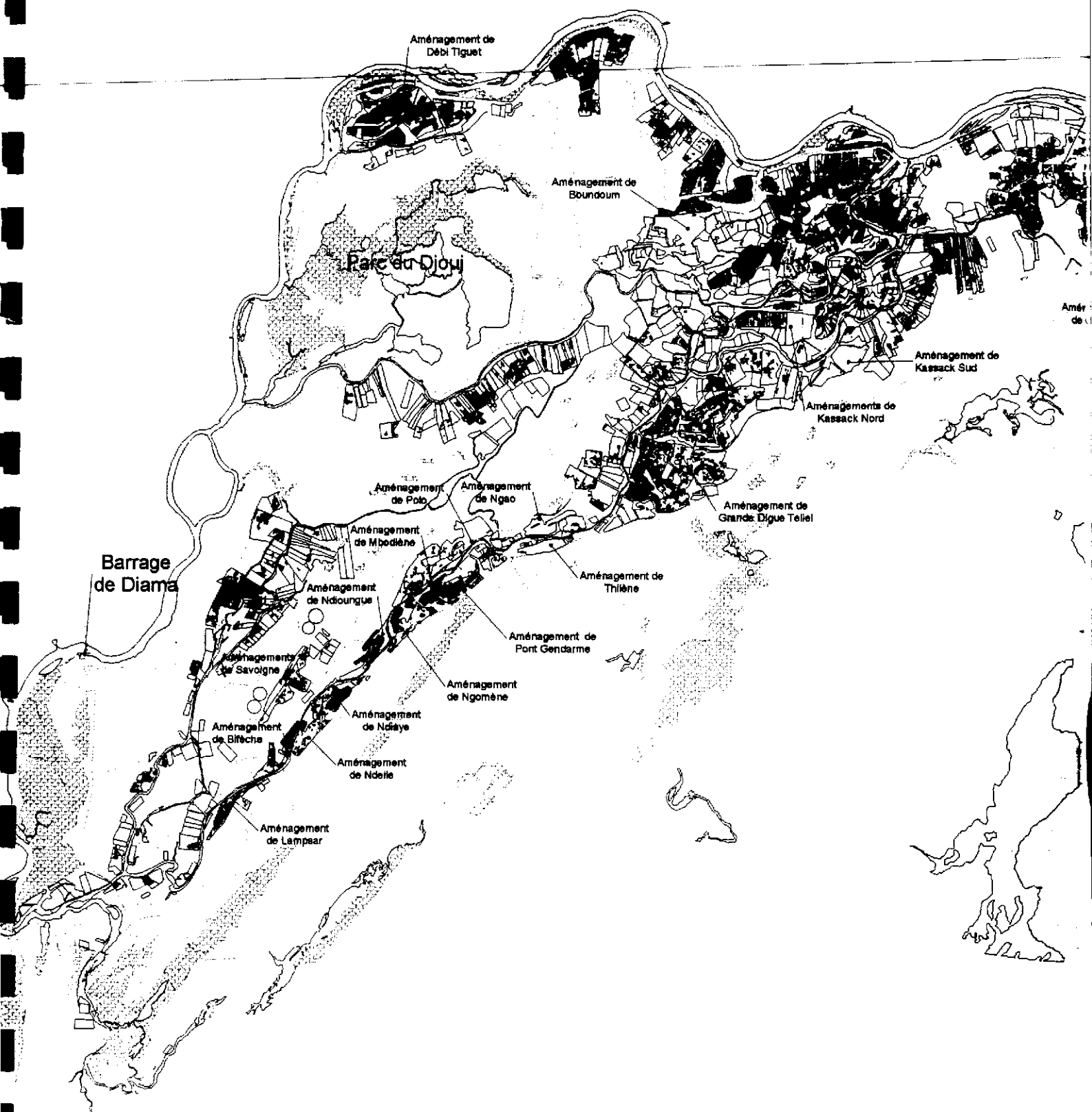
(résultat de la classification d'images SPOT prises en 1992)

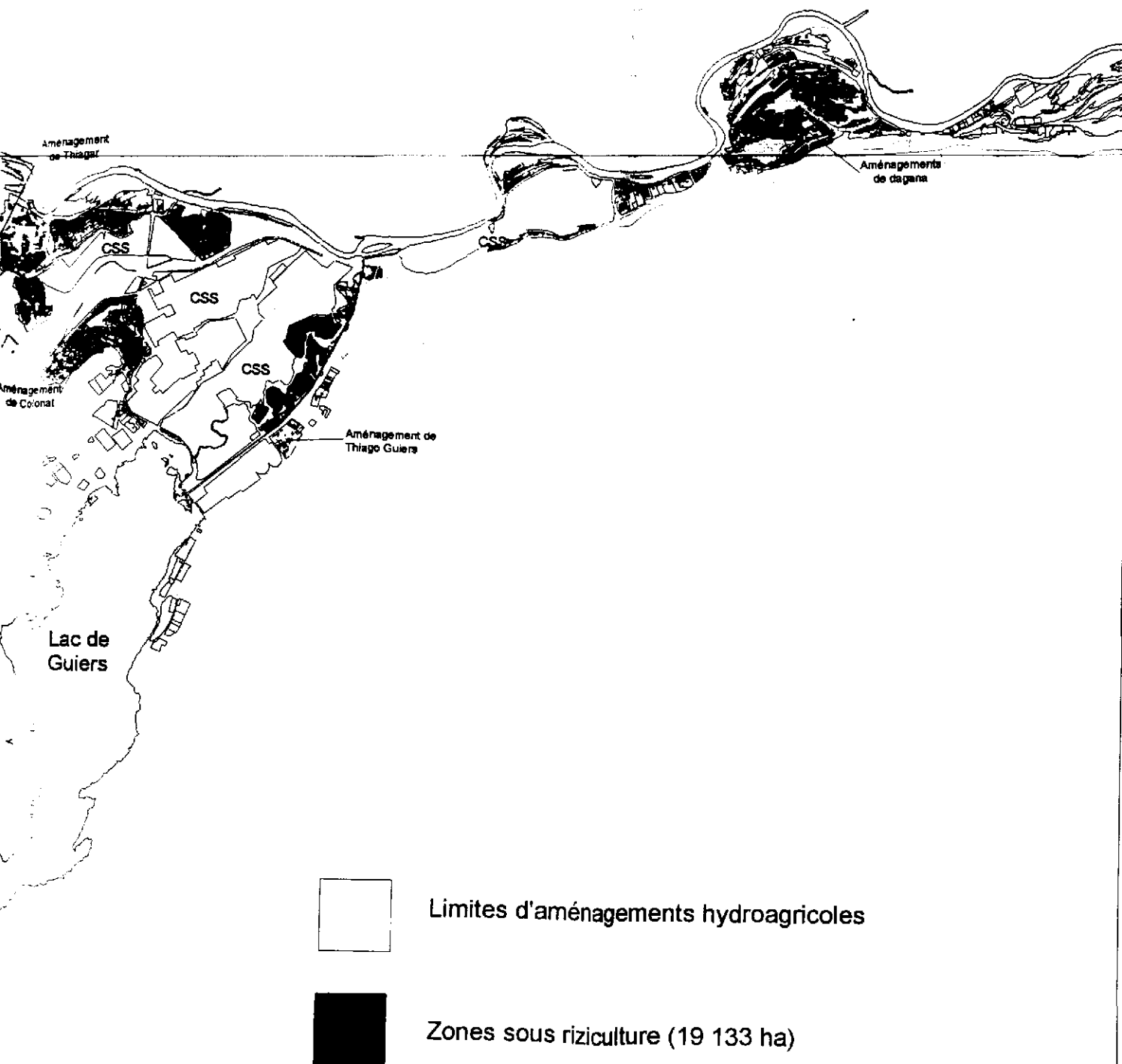


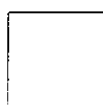
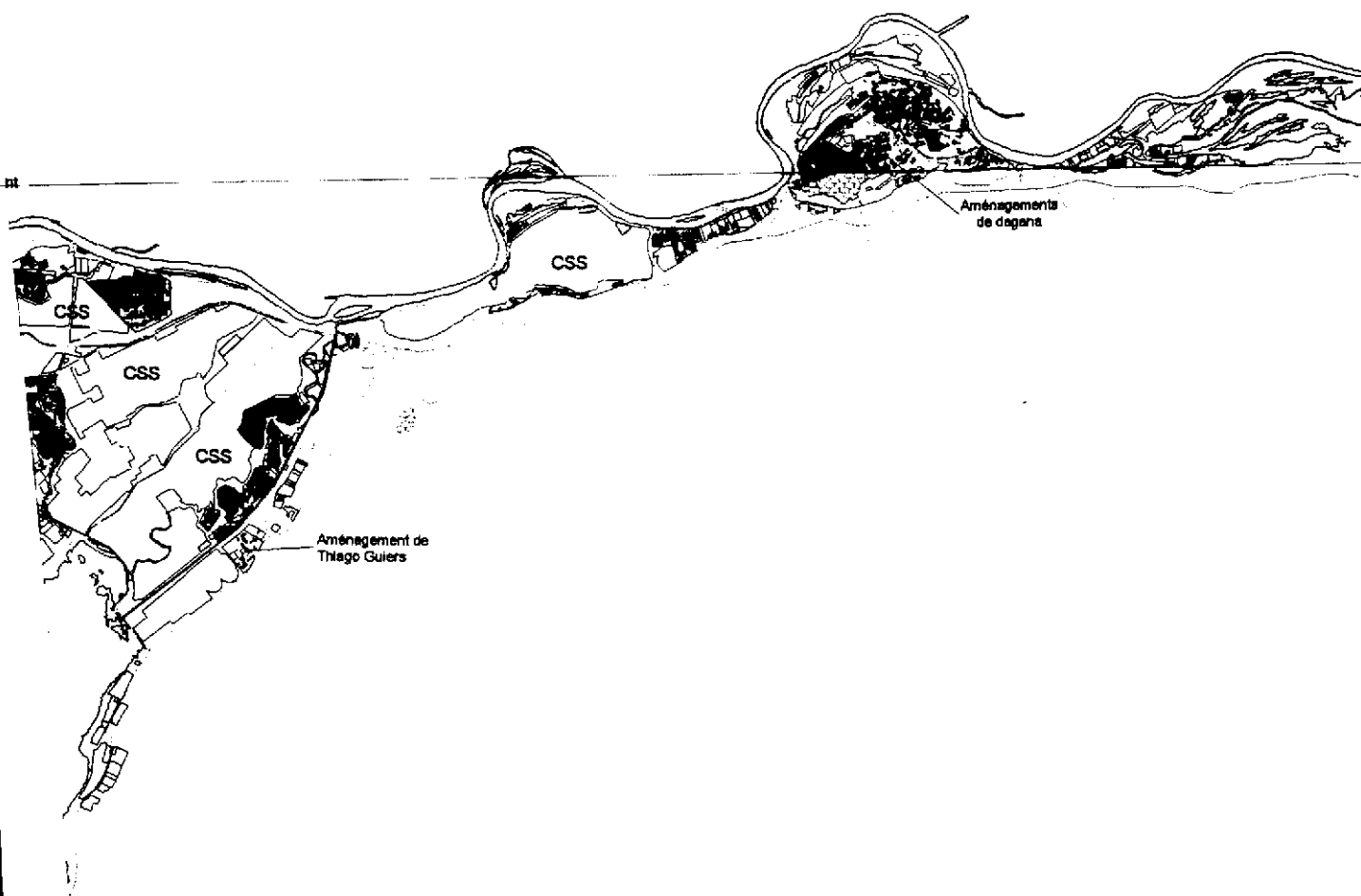


Carte des zones sous rizicultures en hivernage 1993.

(résultat de la classification d'images SPOT prises en 1993)







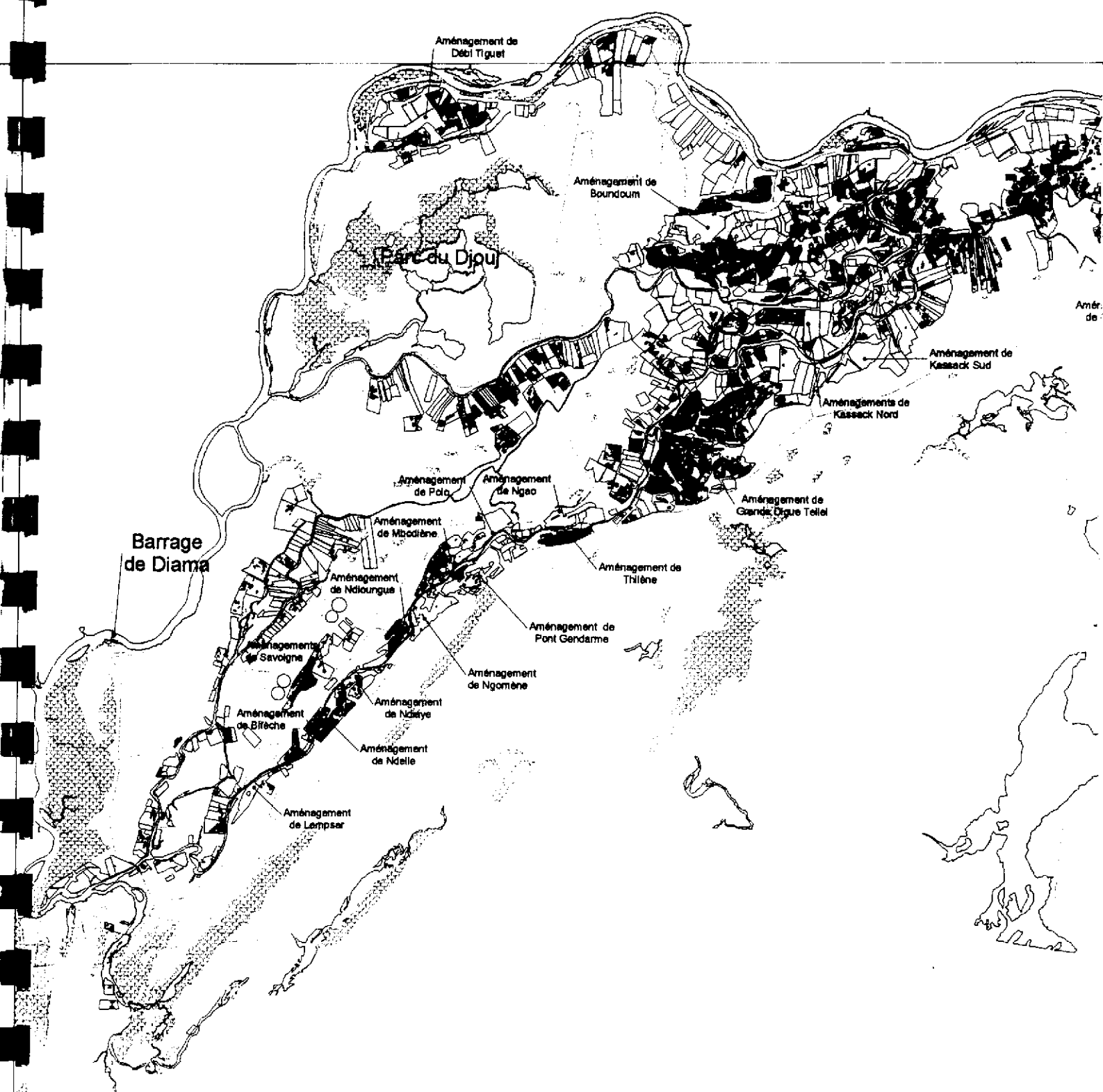
Limites d'aménagements hydroagricoles

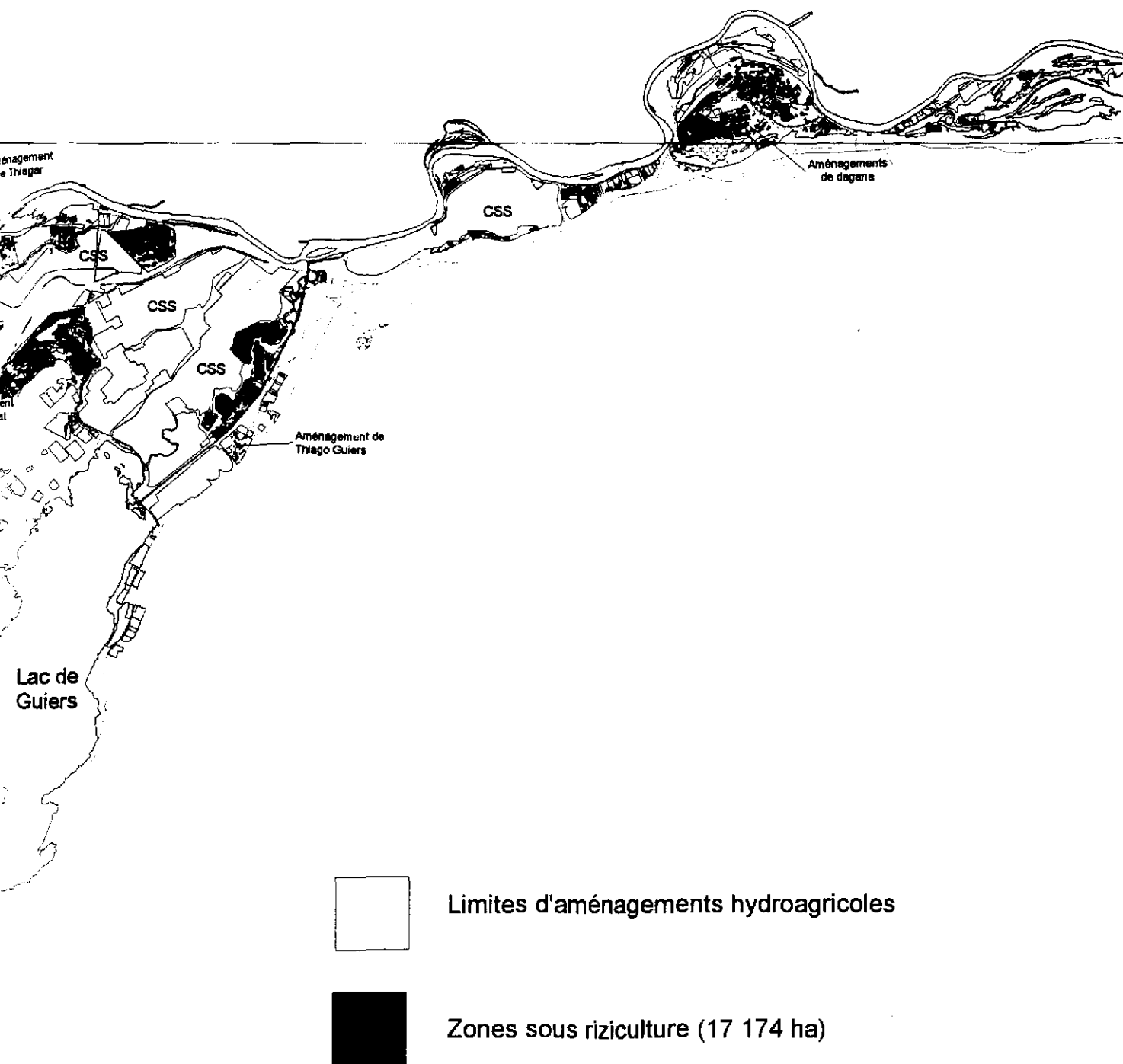


Zones sous riziculture (15 772 ha)

Carte des zones sous rizicultures en hivernage 1994.

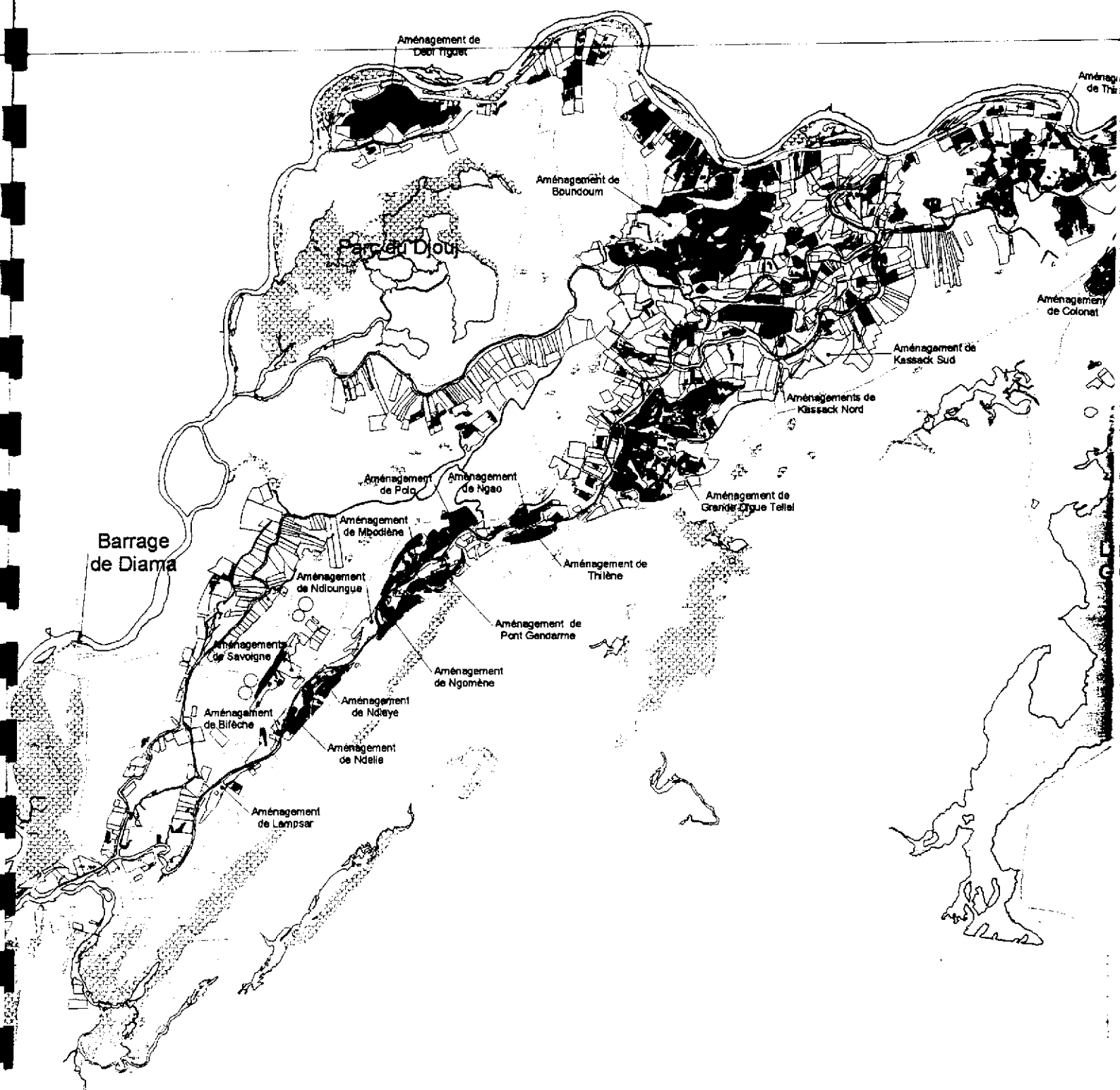
(résultat de la classification d'images SPOT prises en 1994)

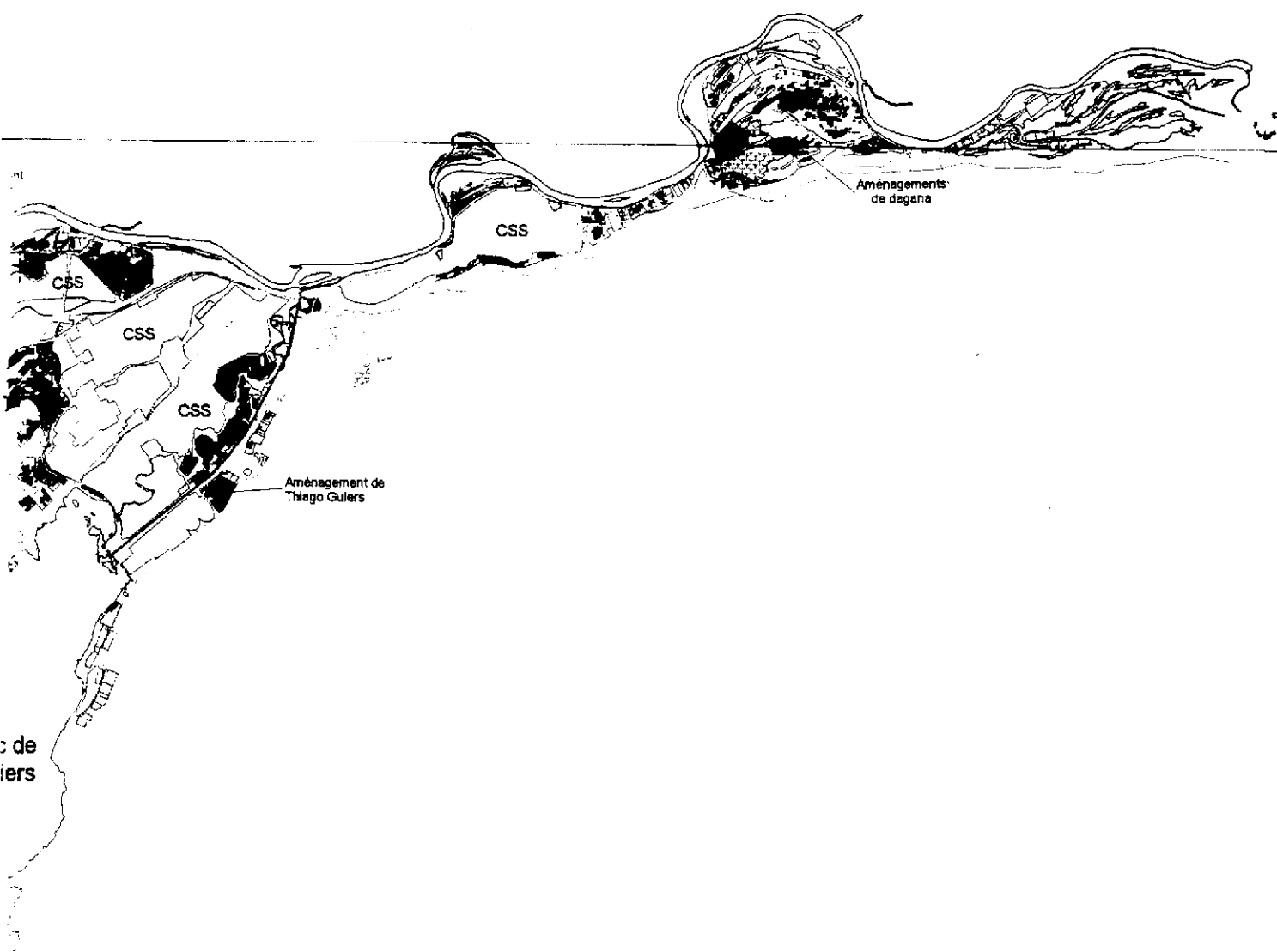




Carte des zones sous rizicultures en hivernage 1996.

(résultat de la classification d'images SPOT prises en 1996)





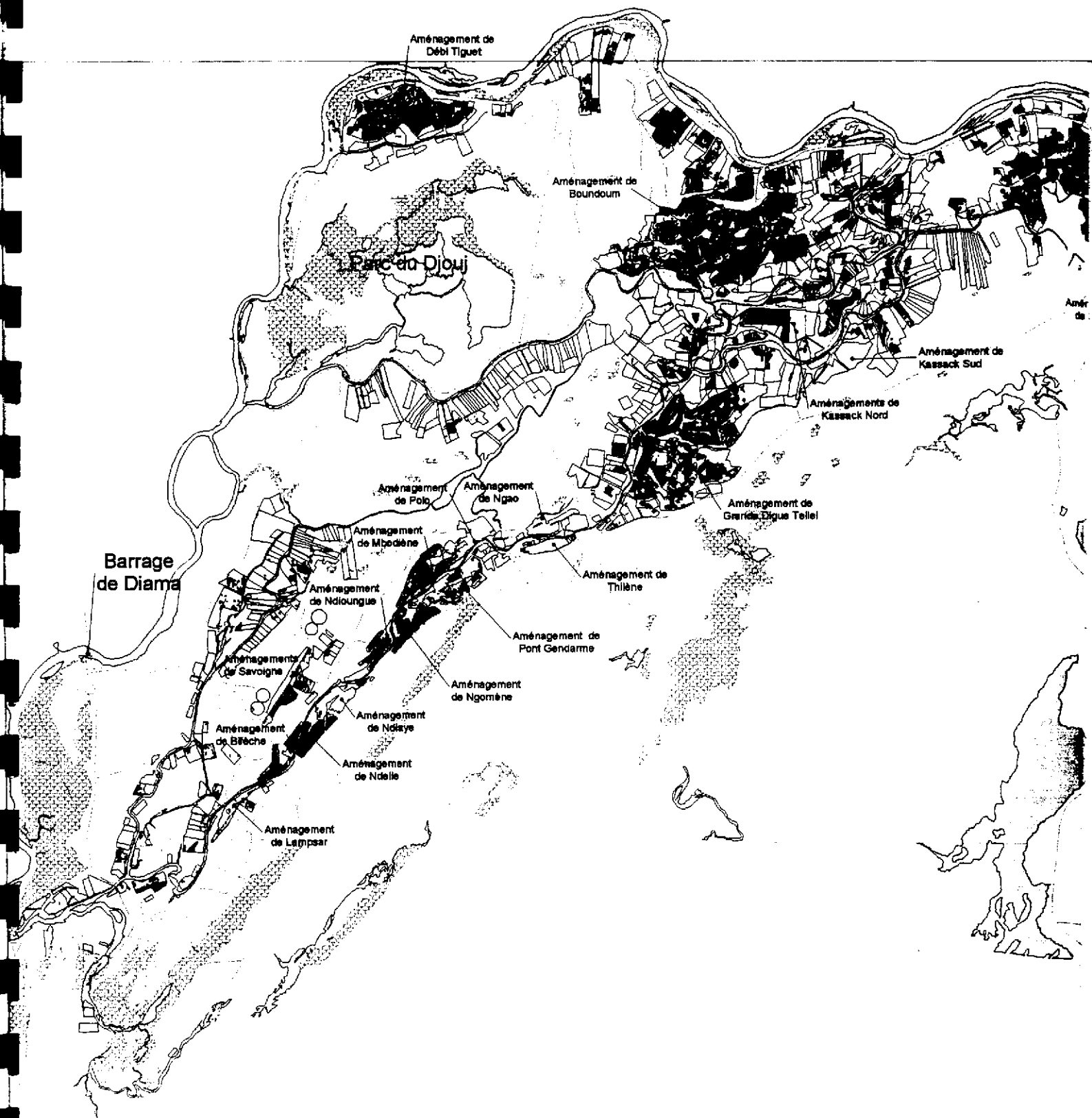
Limites d'aménagements hydroagricoles

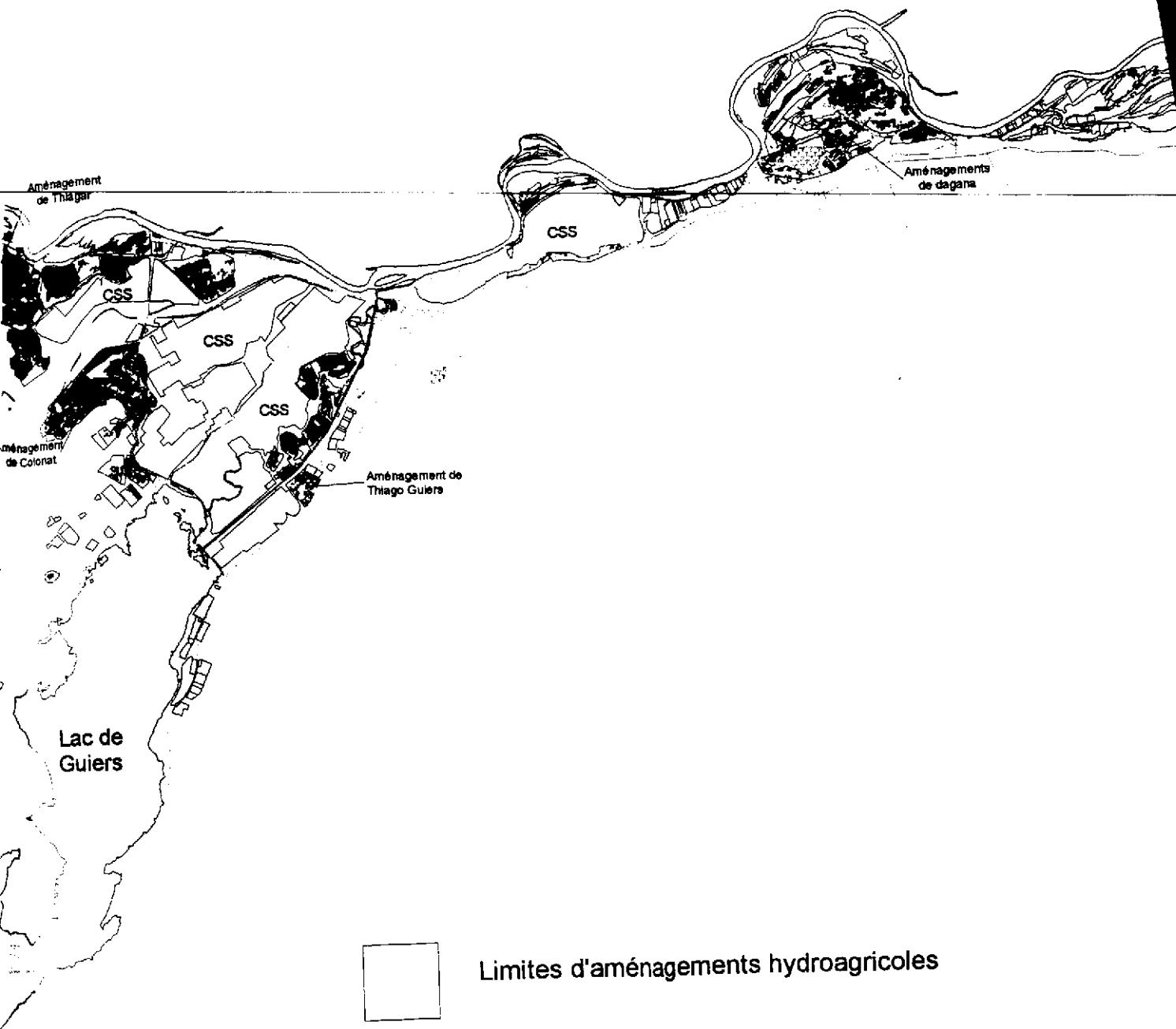


Zones sous riziculture (17 763 ha)

Carte des zones sous rizicultures en hivernage 1997.

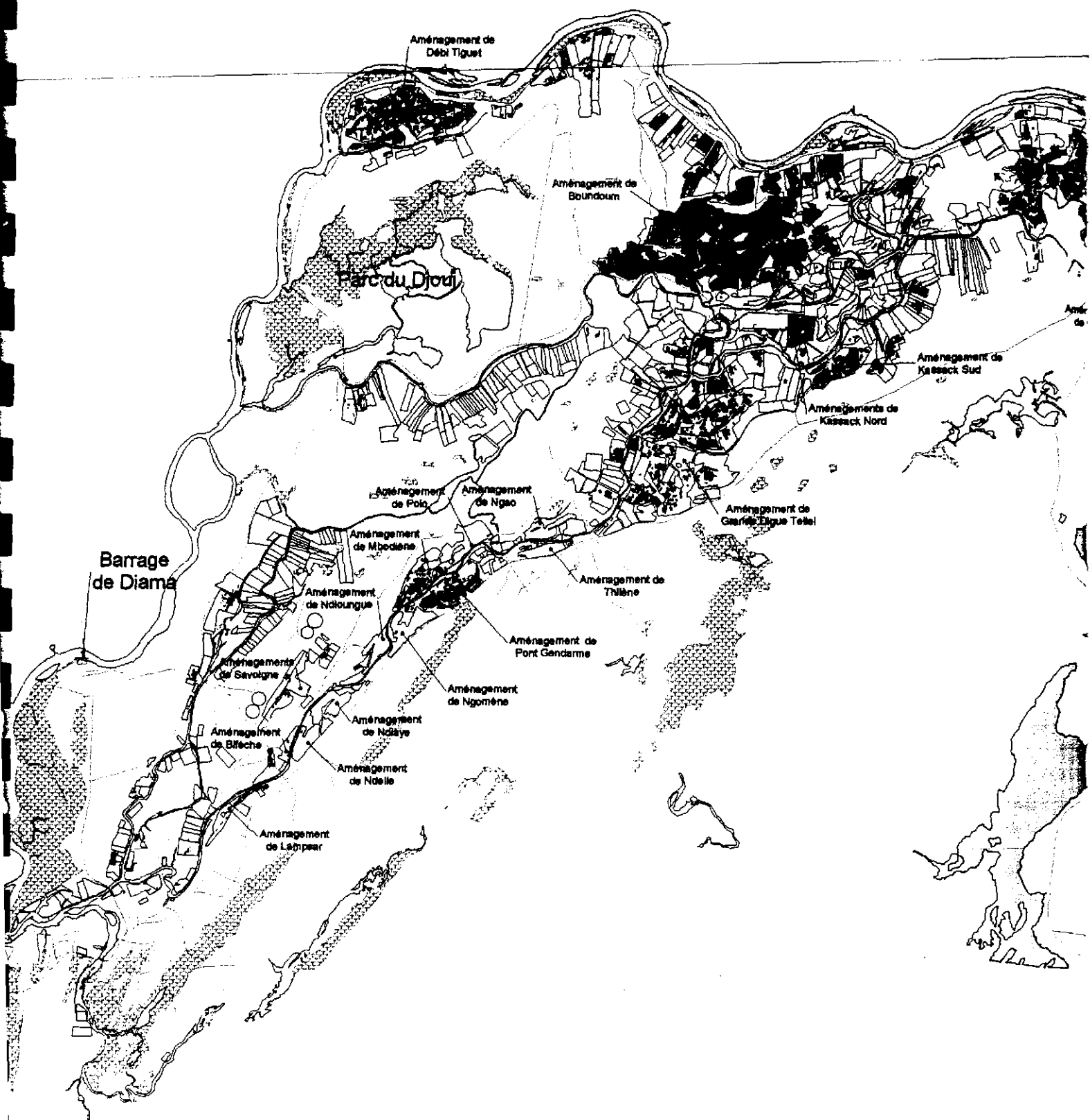
(résultat de la classification d'images SPOT prises en 1997)

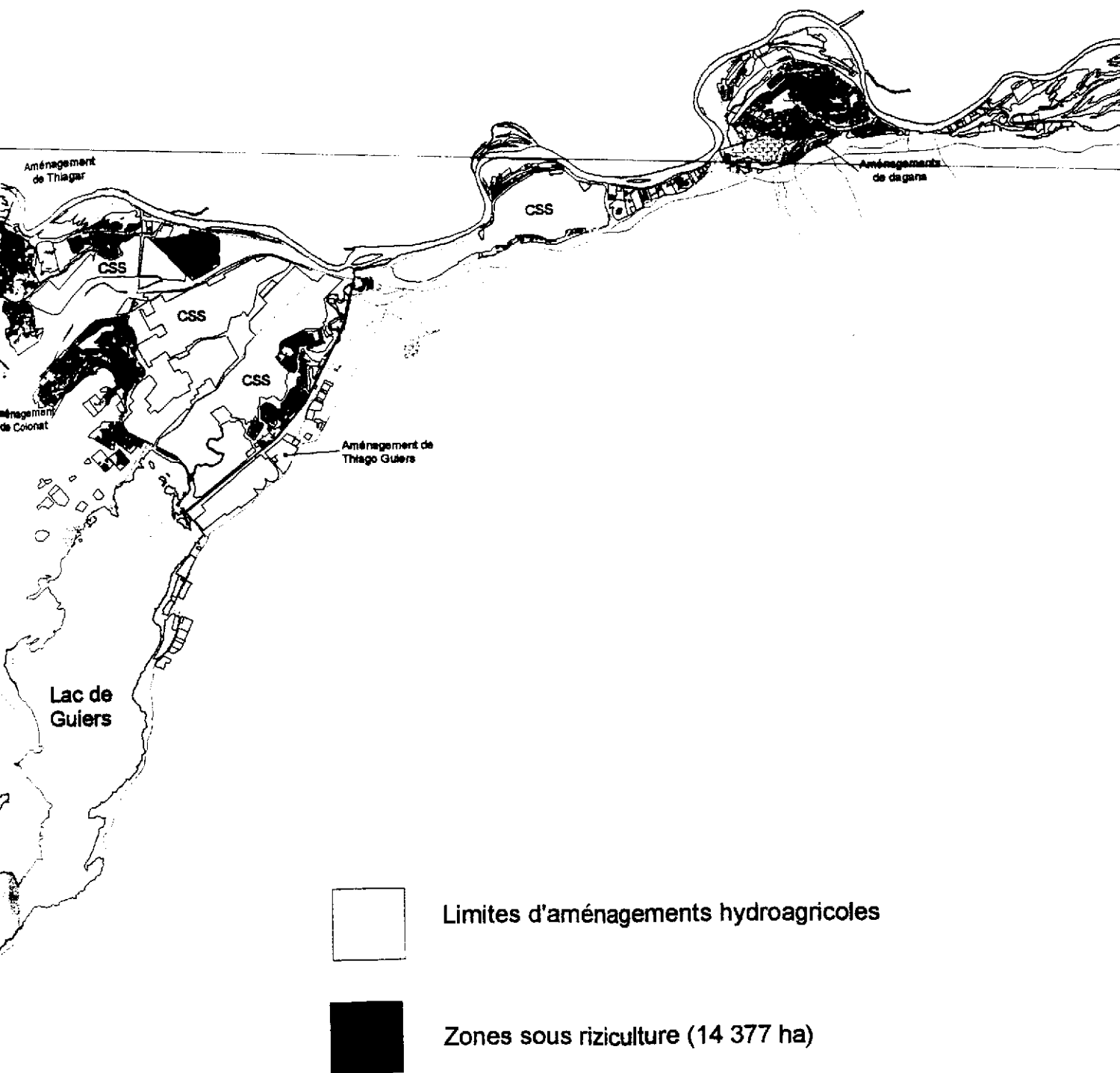




Carte des zones sous rizicultures en hivernage 1998.

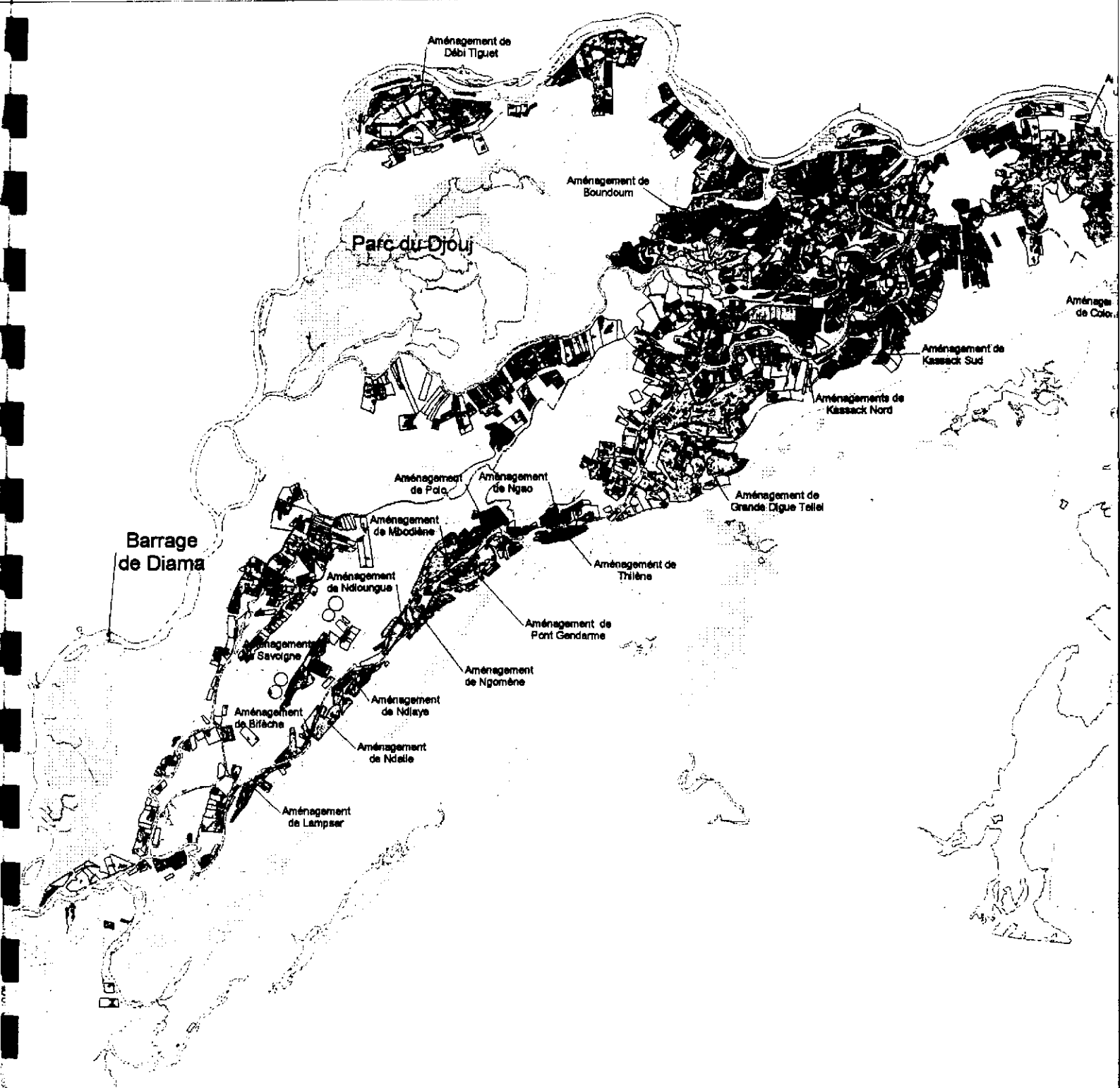
(résultat de la classification d'images SPOT prises en 1998)

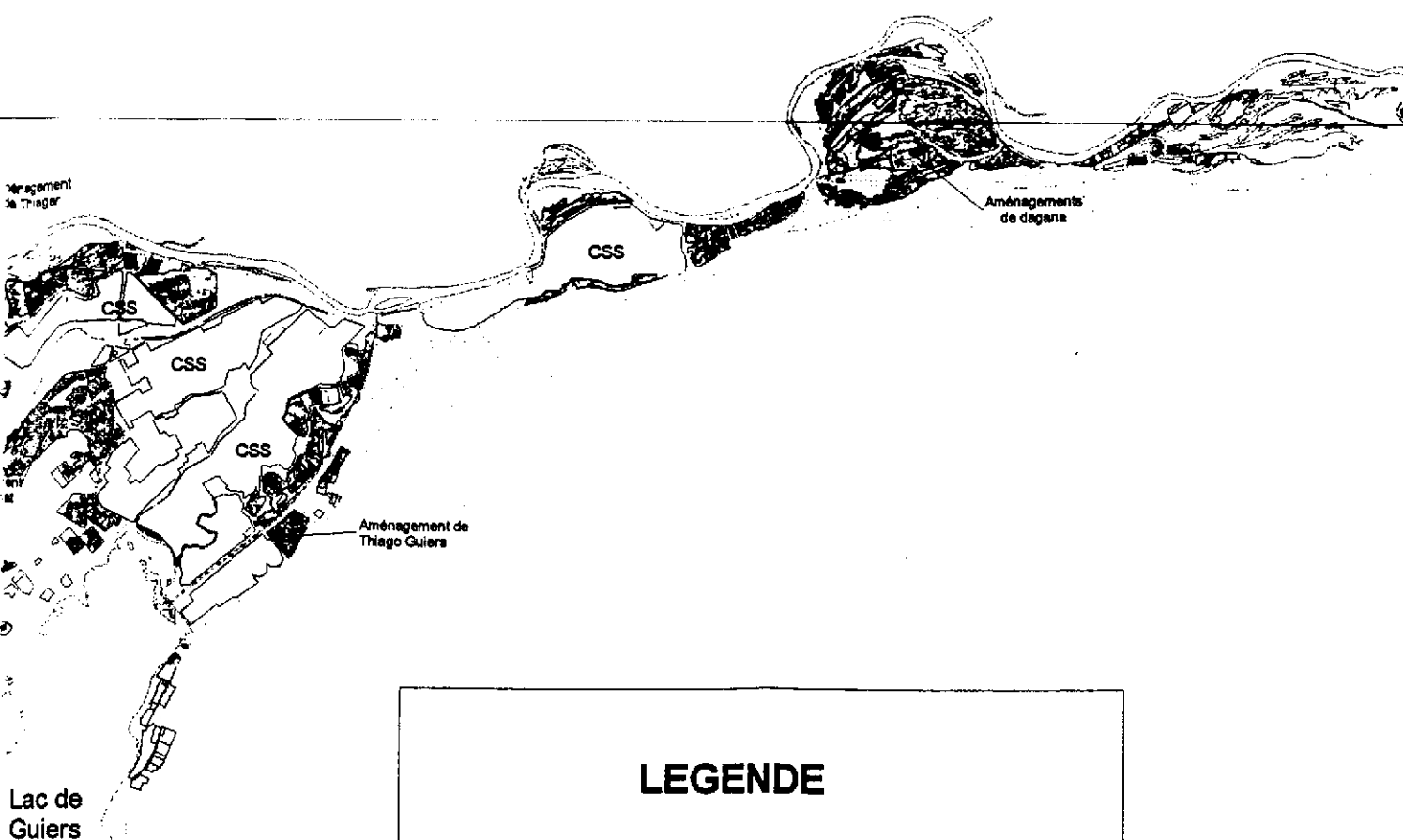




Carte de l'intensité culturelle en Hivernage de 1992 à 1998

(résultat de la classification d'images SPOT prises chaque hivernage de 1992 à 1998)





LEGENDE



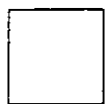
Mis en valeur 1 hivernage sur 7
(8 551 ha)



Mis en valeur 2 hivernages sur 7
(7 926 ha)



Mis en valeur 3 hivernages sur 7
(6 240 ha)



Mis en valeur 4 hivernages sur 7
(4 569 ha)



Mis en valeur 5 hivernages sur 7
(3 892 ha)



Mis en valeur 6 hivernages sur 7
(2 970 ha)

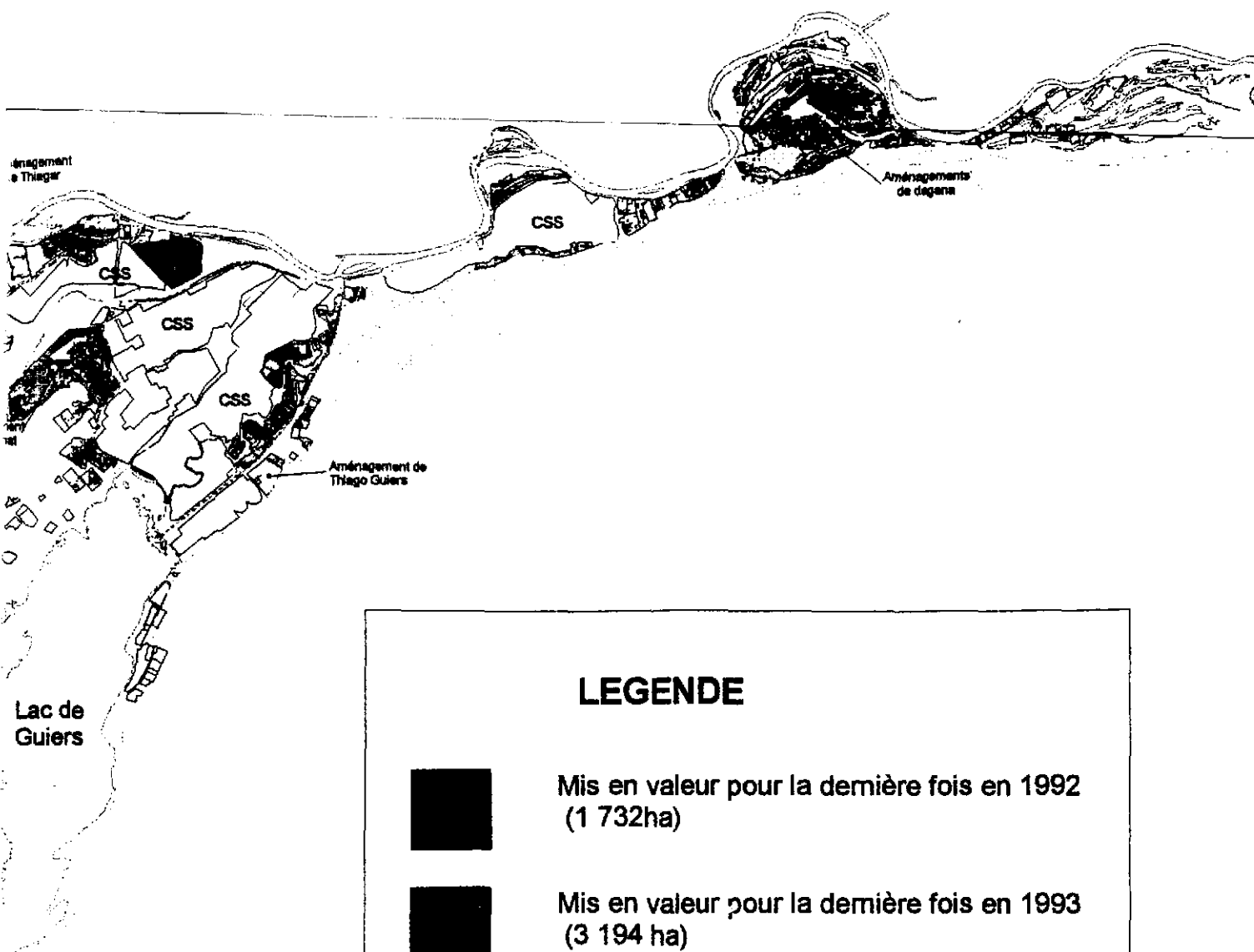


Mis en valeur 7 hivernages sur 7
(2 902 ha)

(résultat de la classification d'images SPOT prises chaque hivernage de 1992 à 1998)

(résultat de la classification d'images SPOT prises chaque hivernage de 1992 à 1998)





LEGENDE



Mis en valeur pour la dernière fois en 1992
(1 732ha)



Mis en valeur pour la dernière fois en 1993
(3 194 ha)



Mis en valeur pour la dernière fois en 1994
(495 ha)



Mis en valeur pour la dernière fois en 1995
(5 063ha)



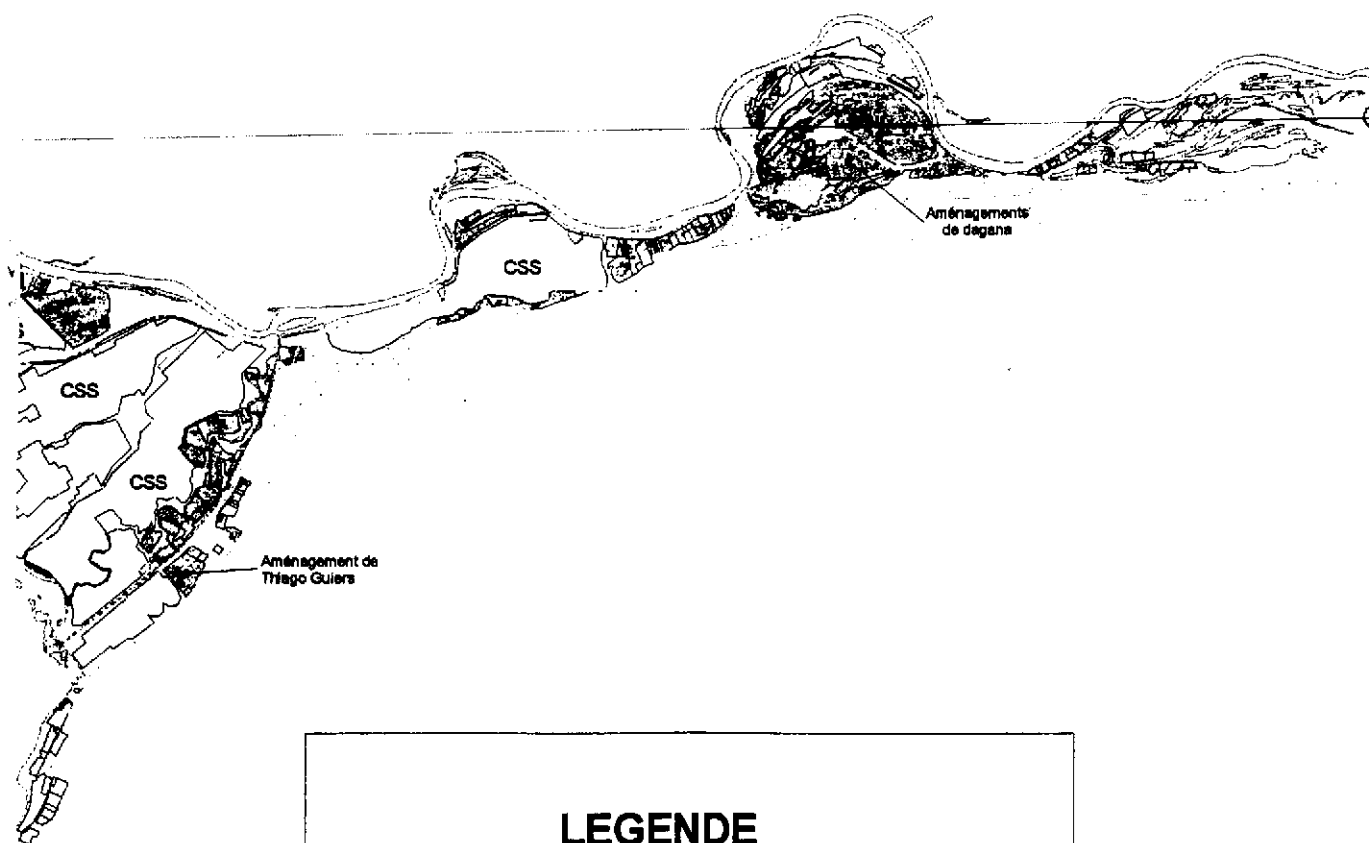
Mis en valeur pour la dernière fois en 1996
(4 525 ha)



Mis en valeur pour la dernière fois en 1997
(7 598ha)



Mis en valeur pour la dernière fois en 1998
(14 377 ha)



LEGENDE



Mis en valeur 1 hivernage sur 3
(10 644 ha)



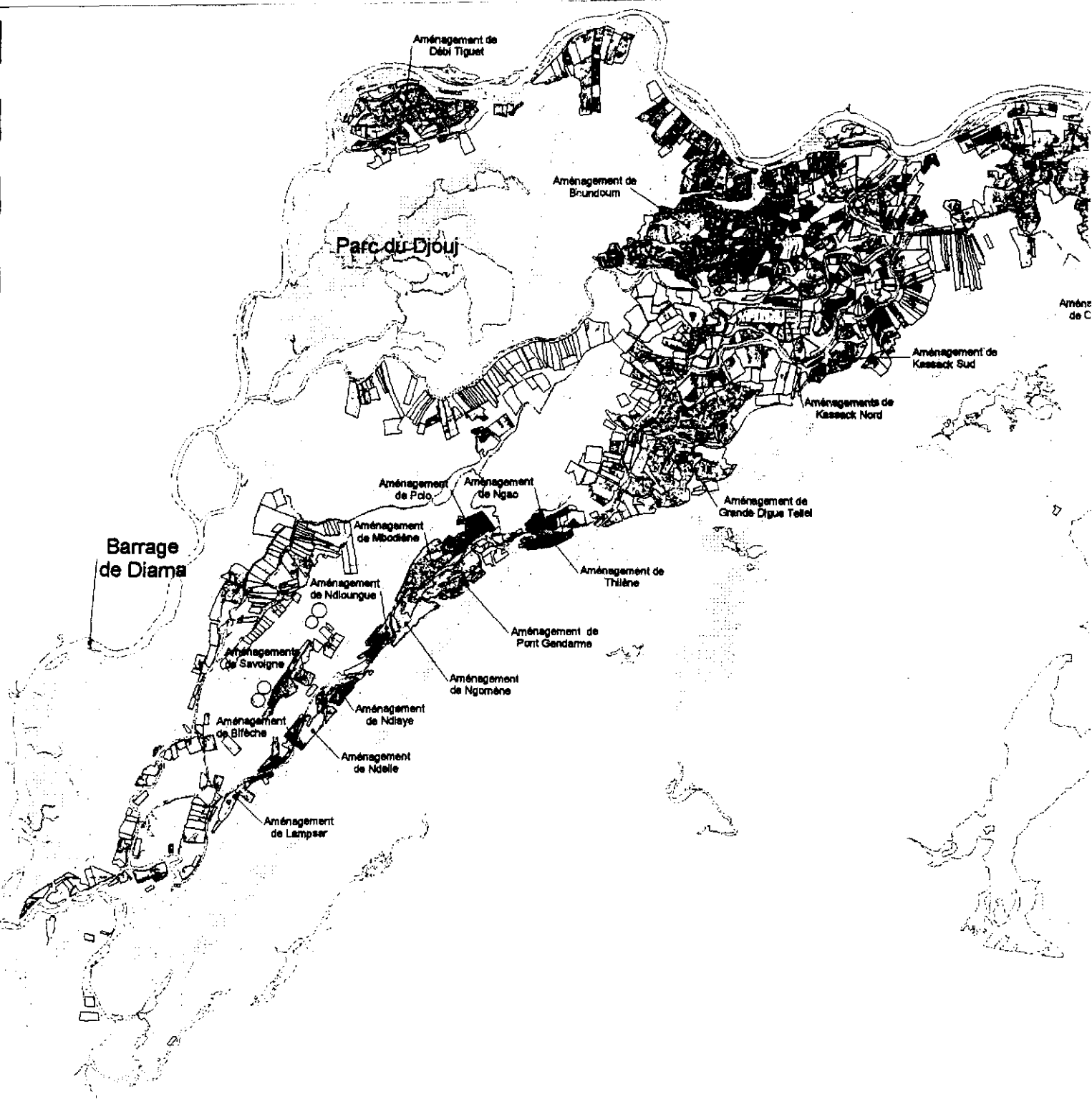
Mis en valeur 2 hivernages sur 3
(8 348 ha)



Mis en valeur 3 hivernages sur 3
(7 510 ha)

Carte de l'intensité culturelle en Hivernage de 1996 à 1998

(résultat de la classification d'images SPOT prises chaque hivernage de 1996 à 1998)



Mise en valeur

Les différentes cartes de mise en valeur montrent pour chaque hivernage de 1992 à 1998 les superficies exploitées déterminées par classification d'image. Ces différentes superficies sont exactes de 10% à 15% près en raison des différentes erreurs de classification. Un exemple d'erreur de classification assez flagrant est montré par la carte de mise en valeur de 1998 puisque celle-ci donne 31 ha d'emblavés sur l'aménagement de Lampsar alors qu'après vérification sur le terrain, celui-ci s'est révélé non cultivé.

Ces différentes superficies exploitées durant les hivernages de 1992 à 1998 ont été exportées vers la banque de données afin de pouvoir les classer par type d'aménagements (tableau 2).

Type d'aménagement	Superficies SIG (ha) (brutes)	Superficies mise en valeur en hivernage						
		1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
P.P.I. SAED	2 007	544	417	215	318	502	384	266
AMENAG. INTERM	762	593	721	646	640	640	515	489
G. AHA SAED	5 343	1 743	2 464	2 936	3 071	3 349	3 029	1 043
G.AHA TRANSFER	13 629	5 429	7 150	5 973	6 020	8 367	8 484	8 497
P.I. HORS SAED	28 271	6 801	8 381	6 002	7 125	4 905	4 225	4 082
Total	50 012	15 110	19 133	15 772	17 174	17 763	16 637	14 377

Tableau 2 : Evolution de la mise en valeur par type d'aménagement en hivernage déterminées par classification d'images satellites SPOT.

La superficie exploitée chaque hivernage sur les grands aménagements transférés (G AHA TRANSFER) augmente chaque année. Ceci est principalement dû à une augmentation des superficies exploitables vu la récente réhabilitation de Boundoum et Débi Tiguet mais également à leur bon fonctionnement puisque la quasi totalité de la superficie exploitable⁸ est utilisée chaque année en hivernage (ceci est visible sur les différentes cartes de mise en valeur). Le taux d'exploitation de ces périmètres atteint 62 % de la superficie brute aménagée en 1998 (environ 20% de la superficie brute aménagée est constitué d'emprises sur ce type d'aménagement).

La superficie exploitée chaque hivernage sur les grands aménagements non transférés (G AHA SAED) a doublé de 1992 à 1996 pour ensuite diminuer en 1997 et subir une forte chute en 1998. Cette chute est principalement due à la vétusté de certains de ces aménagements (par exemple Grande Digue Tellel) et le quasi abandon total de la culture de riz d'hivernage sur les aménagements situés dans la partie aval du Lampsar après Ross Béthio en raison du risque de manque d'eau (voir la carte de la mise en valeur en 1998).

La superficie exploitée chaque hivernage sur les aménagements de type intermédiaire (AMENAG INTERM) est par contre plus ou moins constante et leur taux d'exploitation est des plus élevés (94% en 1993).

⁸ La superficie SIG donnée dans le tableau 2 est celle de 1998 et comprend donc Boundoum et Débi Tiguet entièrement réhabilités.

Pour ce qui concerne les aménagements de type privé, (PI HORS SAED), la superficie maximale mise en valeur a été de 8381 ha en 1993⁹, et celle-ci c'est au fur et à mesure réduite pour se stabiliser aux alentours de 4000 ha en 1997 et 98. Donc plus de la moitié des superficies exploitées en 1993 ont été abandonnées. Cet abandon massif de périmètres dans le domaine privé est principalement dû à leur caractère sommaire : (1) ils ne disposent pas d'infrastructure hydraulique correcte ce qui entraîne une dégradation rapide du réseau d'irrigation, (2) le planage des parcelles est souvent insuffisant et le sol inadapté à la riziculture ce qui augmente leur consommation en eau et donc le coût d'exploitation et (3) l'absence d'un réseau de drainage peut provoquer une salinisation des sols et rend les sols impropres à l'agriculture. Ces périmètres ont un taux d'exploitation en hivernage médiocre puisque en 1993 seulement 29% de la superficie brute aménagée (28 271 ha) a été exploitée.

Intensité culturelle

La carte de l'intensité culturelle en Hivernage de 1992 à 1998 montre que les grands aménagements de type SAED et les aménagements intermédiaires, tous deux réalisés sur fonds publics, ont en général un taux de mise en valeur plus élevé (plus de 4 hivernages sur 7) que les aménagements de type Privé. Pour les grands aménagements transférés de Boundoum et de Debi Tiguet, les différentes tranches de leurs réhabilitations respectives sont très visibles et celles-ci ont donc des taux d'exploitation différents. Les aménagements les plus actifs en hivernage sont ceux de Colonat, les aménagements intermédiaires de Ndombo Thiago le long des Tahouéys, et l'aménagement privé de Mbagam¹⁰.

Cette carte montre également que, le long du Gorom Aval, du Djeuss et du NGalam, le taux d'utilisation des terres en hivernage est très faible voir nul. Le long du Lampsar ce taux est moyen à faible. Ceci s'explique par la pratique culturelle en vigueur sur les aménagements le long de cet axe hydraulique. En effet les paysans préfèrent mettre en place une campagne de Contre Saison Chaude ou d'inter-saison sur ces aménagements pour se prémunir du risque de manque d'eau en Hivernage. D'ailleurs cette pratique, la riziculture en intersaison, induit parfois en erreur la classification de l'image. En effet une intersaison tardive est classée comme étant du riz d'hivernage, ce qui se traduit par un aspect tacheté des zones sous riziculture dans ces périmètres pour certaines années.

Cette carte de l'intensité culturelle traduite sous forme de tableau (tableau 3) et classée par type d'aménagement confirme le fait que le taux d'exploitation sur aménagements de type SAED est beaucoup plus élevé que sur les aménagements de type Privé.

En effet, 40%, 33% et 80% des superficies brutes aménagées de type SAED ont été exploitées au moins 5 hivernages sur 7 respectivement sur les périmètres SAED de type transférés¹¹, non transféré et intermédiaires. Par contre seul 7% de la superficie aménagée par le privé a été emblavée avec le même fréquence.

Le tableau 3 montre également que sur les 28 271 ha aménagés par le privé, seul 17 890 ha ont été exploités en 7 ans. Les 10 300 ha restant ont donc jamais été mis en valeur entre 1992 et 1998. Puisque ces aménagements sont réalisés très sommairement, ces 10 300 ha peuvent être considérés comme complètement abandonnés.

⁹ Ce bond artificiel a été obtenu suite au désengagement de la SAED, au reversement des zones pionnières en zones de terroir gérées par les communautés rurales et aux facilités d'accès au crédit de campagne de la CNCAS.

¹⁰ A noter que les périmètres de Colonat et de Mbagam irrigue gratuitement à partir des canaux de la compagnie Sucrière Sénégalaise.

¹¹ Il faut remarquer que la superficie brute aménagée utilisée pour le calcul du pourcentage pour ce type d'aménagement est celle de 1998 ce qui sous-évalue celui-ci en raison des réhabilitations récemment transférées.

Type d'aménagement	Superficies (ha)								SIG
	Mises en valeur								
	1 année sur 7	2 années sur 7	3 années sur 7	4 années sur 7	5 années sur 7	6 années sur 7	7 années sur 7	Au moins 1 année sur 7	
AMENAG. INTERM	25	27	30	48	80	239	291	740	762
G. AHA SAED	836	771	681	770	723	744	293	4 818	5 343
G. AHA TRANSFER	1 222	1 977	2 078	1 605	2 007	1 469	1 890	12 248	13 629
P.I. HORS SAED	5 875	4 797	3 268	2 048	1 029	476	397	17 890	28 271
P.P.I. SAED	585	345	173	87	41	29	17	1 277	2 007
Total	8 551	7 926	6 240	4 569	3 892	2 970	2 902	36 981	50 012

Tableau 3 : Intensité culturale en hivernage de 1992 à 1998 calculées par classification d'images et classées par type d'aménagement

Dernier hivernage exploité

La carte donnant le dernier hivernage exploité est également assez évocatrice. En effet elle montre clairement que les aménagements encore actifs les deux dernières années sont généralement de type SAED. Ceci est à nouveau confirmé par le tableau tiré de cette carte croisée avec l'information concernant le type d'aménagement (tableau 4).

Type d'aménagement	Superficies mise en valeur pour la dernière fois en (ha)							Superficies (ha)	
	Année 1992	Année 1993	Année 1994	Année 1995	Année 1996	Année 1997	Année 1998	SIG (brutes)	Non mises en valeur les 3 dernières années*
AMENAG. INTERM	0	22	7	28	52	142	488	762	80
G. AHA SAED	35	169	36	345	1 017	2 173	1 042	5 343	1 111
G. AHA TRANSFER	134	327	48	298	857	2 087	8 496	13 629	2 189
P.I. HORS SAED	1 368	2 578	394	4 251	2 309	2 911	4 082	28 271	18 969
P.P.I. SAED	195	98	10	141	290	275	266	2 007	1 176
Total	1 732	3 194	495	5 063	4 525	7 588	14 377	50 012	23 525

* Superficie SIG – Superficie (96 + 97 + 98)

Tableau 4 : Dernier Hivernage de mise en valeur par type d'aménagement.

D'après le tableau 4, en règle générale, les aménagements de type SAED ont été exploités ces trois dernières années. Ceci est particulièrement le cas des aménagements transférés et intermédiaires.

Par contre plus de 65% de la superficie brute des aménagements de type privé sont classés comme non mis en valeur les 3 dernières années et cette superficie (18 900 ha) peut être considérée comme abandonnée. En effet vu la précarité des infrastructures sur ce type d'aménagement, trois années sans exploitation, les rends inutilisables sans réhabilitation. De plus, la pratique de la riziculture de contre saison chaude n'est pas répandue parmi les

aménagements de ce type et la superficie brute cartographiée dans le SIG est généralement très proche de la superficie nette vu la taille de ces périmètres.

Il faut remarquer que 2 200 ha sur les grands aménagements transférés sont classés comme non mis en valeur les 3 dernières années. Ici il est fort probable que sur ces 2 200 ha plus de 75% représentent les infrastructures diverses et les emprises et donc uniquement environ 500 ha en superficie nette ont été abandonnés. La même remarque est d'application pour les aménagements de type non transféré. En outre, pour ce dernier type d'aménagement, un grand nombre est localisé le long du Lampsar et ceux-ci pratiquent surtout la riziculture de Contre Saison Chaude ou d'inter saison. Ils sont alors non exploités en hivernage et se trouvent alors classés comme tel.

Intensité culturelle pour les trois dernières années.

Les trois dernières années, 1996, 1997 et 1998 sont considérées comme les années de la relance de la riziculture irriguées dans le Delta du fleuve Sénégal. Pour vérifier ce fait, une carte du taux de mise en valeur des trois dernières années a été donnée.

Cette carte nommée, carte de l'intensité culturelle en hivernage de 1996 à 1998 montre que :

1. Les grands aménagements réhabilités et transférés de Boundoum, Debi Tiguet, Thiagar, et Dagana A et B ont un taux d'utilisation des terres en hivernage compris entre 2 et 3 hivernages sur 3.
2. Les aménagement de type intermédiaires situés le long des Tahoueyss sont toujours aussi actifs et ont un taux d'exploitation de 3 hivernages sur 3.
3. Les aménagements non transférés ont un taux d'exploitation moindre mais ceci s'explique par leur préférence pour la contre saison chaude puisqu'ils sont pour la plupart situés le long du Lampsar, axe hydraulique présentant des problèmes de manque d'eau en hivernage durant la période de pointe. Malgré cela il faut remarquer le taux d'exploitation élevé (taux compris entre 2 et 3 hivernages sur 3) de l'aménagement de Grande Digue Tellel.
4. Les aménagements de Colonat et de Mbagam sont eux toujours aussi actifs, et ont un taux d'intensité culturelle de 3 hivernages sur 3.
5. Les aménagements réalisés sur fond privés sont par contre beaucoup moins utilisés et en règle générale ils n'ont été mis en valeur qu'un hivernage sur trois.

La carte traduite sous forme de superficies classées par type d'aménagement est donnée par le tableau n°5.

Type d'aménagement	Superficies mises en valeurs en hivernage de 1996 à 1998 (ha)		
	1 année sur 3	2 années sur 3	3 années sur 3
AMENAG. INTERM	75	259	348
G. AHA SAED	1 781	1 714	737
G. AHA TRANSFER	2 544	3 890	5 006
P.I. HORS SAED	5 660	2 294	1 347
P.P.I. SAED	580	186	66
Total	10 644	8 348	7 510

Tableau 5 : Intensité culturelle en hivernage de 1996 à 1998 classées par type d'aménagement.

bleau confirme le fait que les aménagements réalisés sur fonds publics sont beaucoup actifs que ceux réalisés sur fonds privés. La relance de la riziculture est donc surtout le des aménagements réalisés sur fonds publics et plus particulièrement sur les tagements récemment réhabilités et transférés.

Comparaison Banque de Données Classification.

ableau 6 montre que pour les années 1992, 1993, 1994, 1997 et 1998 l'écart entre les erficiés trouvées par classification d'images et celles issues de la banque de données est aptable (moins de 15% ce qui représente l'erreur de classification). Cette différence est à la résolution de l'image satellite, aux confusions possibles entre certaines classes de étation aquatique et le riz de mauvaise qualité, induisant le processus de classification en ur, et aux incohérences de la BdD SAED.

	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
	Superficie (ha)	Superficie (ha)	Superficie (ha)	Superficie (ha)	Superficie (ha)	Superficie (ha)	Superficie (ha)
issues de la Bdd SAED	16 154	19 932	16 393	13 780	12 411	14 502	14 353
déterminées par classification d'images	15 110	19 133	15 772	17 174	17 763	16 637	14 377
Différences	1 044	799	621	-3 394	-5 352	-2 135	24

bleau 6 : Comparaison des superficies exploitées dans le Delta du fleuve Sénégal issues e la Bdd SAED et déterminées par classification d'images.

ar contre la différence entre les superficies trouvées par classification d'images et celles issues de la banque de données en 1995 et 1996 est inacceptable. Cette erreur vient principalement des incohérences de la BdD SAED qui à cette époque était très mal gérée.

année 1997 mais surtout 1998 prouve qu'il y a eu un travail important de remise en ordre e la BdD SAED puisque les chiffres provenant de deux sources différentes sont à nouveau cohérents et se trouvent dans la limite des 10% à 15% d'écart. Il faut également remarquer u'en 1998 la SAED a acquise des images SPOT de type XI comprenant une bande supplémentaire dans l'infra rouge, SWIR, qui réduit et limite l'erreur de classification à environ 5% en superficie.

V. Conclusions

Dans ce rapport deux types de traitements d'images satellites, la géoréférenciation et la classification, ont été décrits. La méthodologie à suivre pour effectuer ces deux opérations avec le logiciel Erdas disponible à la SAED a été expliquée en détail de sorte à rendre les cadres de la DSE plus familier avec ces deux types de traitement d'images.

La géoréférenciation d'images satellites est une opération de base et doit en général être effectuée avant toute autre utilisation ou exploitation d'images. Elle permet de caler l'image dans un référentiel cartographique connu des futurs utilisateurs et surtout de la relier à un système de coordonnées terrestres.

La classification d'images est une étape de valorisation de l'information contenue dans une image satellite. En effet, comme son nom l'indique cette opération permet de classer l'image en zones et/ou objets terrestres et permet à l'utilisateur de l'image d'enrichir sa connaissance de la région d'étude ou de rechercher des objets ou une information précise sur la zone.

Pour illustrer ces deux types de traitements une étude de la mise en valeur du Delta du fleuve Sénégal de 1992 à 1998 a été menée par exploitation d'images SPOT acquises chaque année durant l'hivernage.

Cette étude montre que la mise en valeur en hivernage sur les aménagements réalisés sur fonds publics et transférés aux organisations paysannes est régulière avec un taux d'exploitation des terres élevés d'environ 4 hivernages sur 7. De plus en analysant les trois derniers hivernages, cette tendance est à la hausse puisque plus de 40% des terres aménagées ont été exploitées pendant trois hivernages sur trois.

En ce qui concerne les grands aménagements non encore transférés, la mise en valeur en hivernage n'est pas régulière et leur taux d'exploitation est plutôt moyen. Ceci s'explique par le fait que ce type d'aménagement commence à rencontrer des problèmes de fonctionnement vu la vétusté de leurs équipements et infrastructures mais également en raison de la localisation d'un grand nombre d'entre eux le long du Lampsar. Cet axe hydraulique présente des risques de manque d'eau en hivernage et par réaction à ce problème les exploitants prélevant de l'eau dans celui-ci préfèrent pratiquer la contre saison chaude ou l'inter saison plutôt que l'hivernage.

Les aménagements de type intermédiaire, également réalisés sur fonds publics, présentent le taux d'exploitation le plus élevé. Ils ont été emblavés à hauteur de 40 % de la superficie aménagée durant 7 hivernages sur 7.

Cette étude montre également que la majorité des aménagements réalisés sur fonds privés peuvent actuellement être considérés comme inexploitable. En effet, environ 10 000 ha sur 28 000 ha réalisés par le privé n'ont jamais été exploités en hivernage durant 7 ans. Pourtant l'hivernage est la période propice pour effectuer une campagne rizicole. Ces 10 000 ha peuvent donc être considérés comme complètement abandonné vu que ce type d'aménagement est construit de manière très sommaire. En outre 9 000 ha n'ont plus été exploités après 1995 ce qui implique également un abandon de cette superficie. Donc au total sur les 28 000 ha de superficies brutes aménagées par le privé, plus que 9 000 ha restent plus ou moins fonctionnels avec un taux d'exploitation plutôt médiocre.

Un écart important entre les superficies emblavées déterminées par classification d'images satellites et celles issues du terrain et gérées par la banque de données SAED a été constaté pour les années 1995 et 1996. Cet écart est du à l'erreur inhérente à la procédure de classification qui dans certains cas confond végétation aquatique et riz mais également à une

mauvaise gestion de la BdD pour ces deux années. En effet l'erreur de classification ne dépasse que très rarement les 15 % en superficies pour ce type de classification (uniquement les zones aménagées ont été classées) alors que pour les deux années en question l'écart entre les deux superficies est plus grand que les 15% acceptables.

~~En guise de conclusion finale, nous nous permettons~~ d'effectuer une recommandation pour la gestion et la validation de la Banque de données SAED pour ce qui concerne l'information sur la mise en valeur en hivernage. La SAED devrait effectuer chaque année ce type de classification en suivant la méthodologie décrite dans ce rapport et comparer les informations sur la mise en valeur en hivernage en provenance du terrain (dispositif d'appui conseil), à celles trouvées par cette procédure de classification d'images SPOT. Cette comparaison permettrait de lister les Unités de Mises en Valeur (UMV) pour lesquelles une différence de plus de 15% entre les deux superficies (terrain et classification) est notée. Ces UMV devraient ensuite faire l'objet d'une vérification sur le terrain avant toute validation de la banque de données SAED pour la campagne d'hivernage. La classification d'images satellites dans le but de détecter les zones sous riziculture devrait donc être utilisée pour contrôler et valider les informations en provenance du terrain. De cette sorte les images SPOT acquise chaque hivernage par la SAED sont mieux valorisées et l'information gérée par la BdD est rendue plus fiable.