Contribution à l'évaluation de l'erreur générée par le report a vue, sur un fond topographique, des strates d'interprétations des photographies aériennes

CHKHICHEKH Aissa[1], EL ABOUDI Ahmed[2], AAFI Abderrahmane[3], DHMAN Lhassan[4] et LEFHAILI Abdelmoula[3]

[1] *Laboratoire de botanique, mycologie et environnement ; faculté des sciences de Rabat-Agdal, B.P 1014 RP, Maroc. chkhichekhaissa@yahoo.fr GSM : +212 6 14 22 72 24 elaboudi@yahoo.fr GSM : +212 6 61 28 99 33*

[2] *Centre National de Recherche Forestière ; Charia Omar Ibn Al Khattab BP 763, 10050 Rabat-Agdal, Maroc. abderrahman.aafi@gmail.com GSM : +212 6 63 00 76 05*

[3] *Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification (HCEFLCD), B.P : 605 Rabat-Chellah. dhman_ lhassane@yahoo.fr GSM : +212 6 61 16 50 01 lefhaili@gmail.com GSM : +212 6 64 93 70 33*

[1] *Correspondance d'auteur : CHKHICHEKH Aissa, chkhichekhaissa@yahoo.fr , GSM : +212 6 14 22 72 24*

Revue Télédétection, 2012, Vol. 11, No 3, p. 385-400

Résumé

Les cartes thématiques d'occupation des sols sont classiquement élaborées en utilisant des photographies aériennes interprétées ou des images satellitaires traitées selon des objectifs déterminés.

Les techniques de transfert sur un fond topographique des strates délimitées sur les photographies aériennes peuvent être sous forme de report à vue (restitution manuelle), transfert mécanique ou transfert électronique. Or, lorsque le terrain présente une topographie difficile, les appareils restituteurs à bras trouvent leurs limites et l'utilisateur privilégie un report à vue tout en respectant des conditions de transfert en termes de qualité et de précision.

Cependant, malgré toutes les précautions que pourrait prendre le photo-interprète lors de la restitution, les strates peuvent perdre ou gagner de superficie, au profit ou au dépens de celles avoisinantes. Les centres de gravité des strates peuvent connaître des déplacements pouvant aboutir à des aberrations cartographiques et la forme des strates serait déformée.

La présente étude est une contribution à l'évaluation de l'erreur générée par le report à vue de la stratification, résultat de l'interprétation des photographies aériennes, sur un fond topographique.

La méthode consiste à comparer deux cartes : l'une produite par restitution à vue et une autre produite par stratification des scènes d'images satellitaires à très haute résolution, disponible sur le site de Google Earth.

La superposition des deux cartes nous a permis de faire ressortir les champs d'erreur de la restitution manuelle (report à vue).

Nous déduisons que les polygones présentant des erreurs non tolérables font un total de 1 044,63 ha, soit 26,8 % de la superficie totale de la zone.

L'usage des images satellites à haute résolution spatiale réduit considérablement les erreurs qui peuvent découler du report à vue (restitution manuelle).

Mots clé : Cartes thématiques d'occupation du sol, Photographies aériennes, Report à vue, Restitution sur images satellitaires, Erreurs de restitution.

Abstract

Contribution to the evaluation of error generated by a manual restore of strata of interpretation of aerial photographs on a topographic base

Thematic maps of land are typically developed using aerial photographs or satellite images interpreted processed according to specific objectives. To transfer strata delineated on aerial photographs on a topographic base we usulay use manual restore, mechanical transfer or electronic transfer. However, where the land has a difficult topography, plotters arm devices find their limits and the user prefers manual restore while respecting transfer conditions in terms of quality and accuracy. However, despite all the precautions to be taken

by the photo interpreter in restitution, the strata may lose or gain in area, to the benefit or detriment of those nearby. The centers of gravity of the strata may know travel can lead to map aberrations and shape of strata would be distorted. This study is a contribution to the evaluation of the error generated by retained for the stratification result of the interpretation of aerial photographs, on a topographic base. The method is to compare two maps : one produced by restitution to view and another produced by laminating scenes of satellite images with very high resolution, available on the Google Earth website. The superposition of two cards has allowed us to highlight the error fields in the manual restore. We conclude that the polygons with non tolerable errors are a total of 1 044.63 ha or 26.8 % of the total area of the zone. The use of satellite images with high spatial resolution greatly reduces errors that can result from retained for manual restore.

Keywords : *Thematic maps of land use, Aerial Photographs, Manual restore, Return on satellite images, Errors of manual restore.*

1 Introduction

Les cartes thématiques d'occupation des sols sont classiquement élaborées en utilisant des photographies aériennes interprétées ou des images satellitaires traitées selon des objectifs déterminés.

Le travail d'interprétation des photographies aériennes ou des images satellitales n'est complet que lorsque l'information est rendue disponible à l'utilisateur. Pour arriver à cette fin, les données à référence spatiale doivent être transférées sur support adéquat (fond topographique), en utilisant des techniques appropriées et en respectant des conditions de transfert en termes de qualité et de précision (Provencher et Dubois, 2007)

Les techniques de transfert sur un fond topographique des strates délimitées sur les photographies aériennes peuvent être sous forme de report à vue (restitution manuelle), transfert mécanique ou transfert électronique (Provencher et Dubois, 2007). Cependant, lorsque le terrain présente une topographie difficile, les appareils restituteurs à bras trouvent leurs limites (Bruno, 1965) ; l'utilisateur privilégie alors un report à vue (Chkhichekh, 1993). En outre, les appareils de restitution de précision, tels que le stéréorestituteur Aviographe Wild B8, ne sont pas à la portée de beaucoup d'utilisateurs de par leur prix.

La restitution peut être faite également en utilisant des orthophotographies. Celles-ci peuvent être obtenues en scannant les photographies analogiques, puis les recaler en utilisant un certain nombre de points d'appui relevés sur le terrain à l'aide d'un GPS (Pain-Orcet *et al.*, 1998) ou sur une carte topographique géo-référencée. La qualité de l'ortho-rectification est améliorée davantage en faisant recours aux techniques apportées par certains logiciels, notamment l'usage des caractéristiques internes de la caméra et du Modèle Numérique du Terrain (MNT). Le produit final combine donc la valeur informative de la photographie aérienne et la qualité géométrique de la carte.

Cette dernière méthode, bien qu'elle soit précise n'est pas encore d'usage à grande échelle dans la cartographie thématique forestière au Maroc à cause de son coût plus élevé.

Partant du fait que la photographie aérienne n'est qu'une perspective conique du terrain, dont le centre est le foyer de l'objectif de la chambre de prise de vue qu'on peut assimiler à une image que percevrait l'œil humain, en regardant verticalement d'un avion le paysage d'un ballon (Gagnon, 1974), l'échelle varie d'une photographie à l'autre et même d'un point à l'autre sur la même photographie (MRNF, 2009). Ainsi, pour un terrain accidenté, les sommets de montagnes ou de crêtes ont une échelle plus grande que celle des fonds des dépressions ou de ravins (Stephen H., 1948). Les strates, une fois transférées sur le fond topographique, ne conservent plus leurs formes d'origine.

D'après Provencher et Dubois (2007), la précision de la localisation des objets à partir des cartes est fonction de l'échelle de la photographie aérienne et de la carte, et de la facilité à situer correctement l'objet sur la carte. Cet objet pourrait être déjà représenté sur la carte, soit qu'il peut l'être à partir de points d'appui (repères identifiés aussi bien sur la photographie aérienne que sur la carte).

De ce fait et malgré toutes les précautions que pourrait prendre le photo-interprète lors de la restitution, les strates peuvent, éventuellement perdre ou gagner en superficie, au profit ou au dépens de celles avoisinantes. Les centres de gravité des strates, de même que leur forme, peuvent connaître des déplacements pouvant aboutir à des aberrations cartographiques. Aussi l'objectif de ce travail est d'évaluer l'erreur due à la restitution manuelle. Pour ce faire, cette étude se base sur la cartographie des types de peuplements établie par nous même dans le cadre de l'étude phyto-écologique du Site d'Intérêt Biologique et Ecologique (SIBE) d'El Harcha (Région d'Oulmès sise dans le Plateau Central du Maroc) couvrant une superficie de l'ordre de 3 890 ha et se situant entre 430m et 1 025 m d'altitude (figure 1).

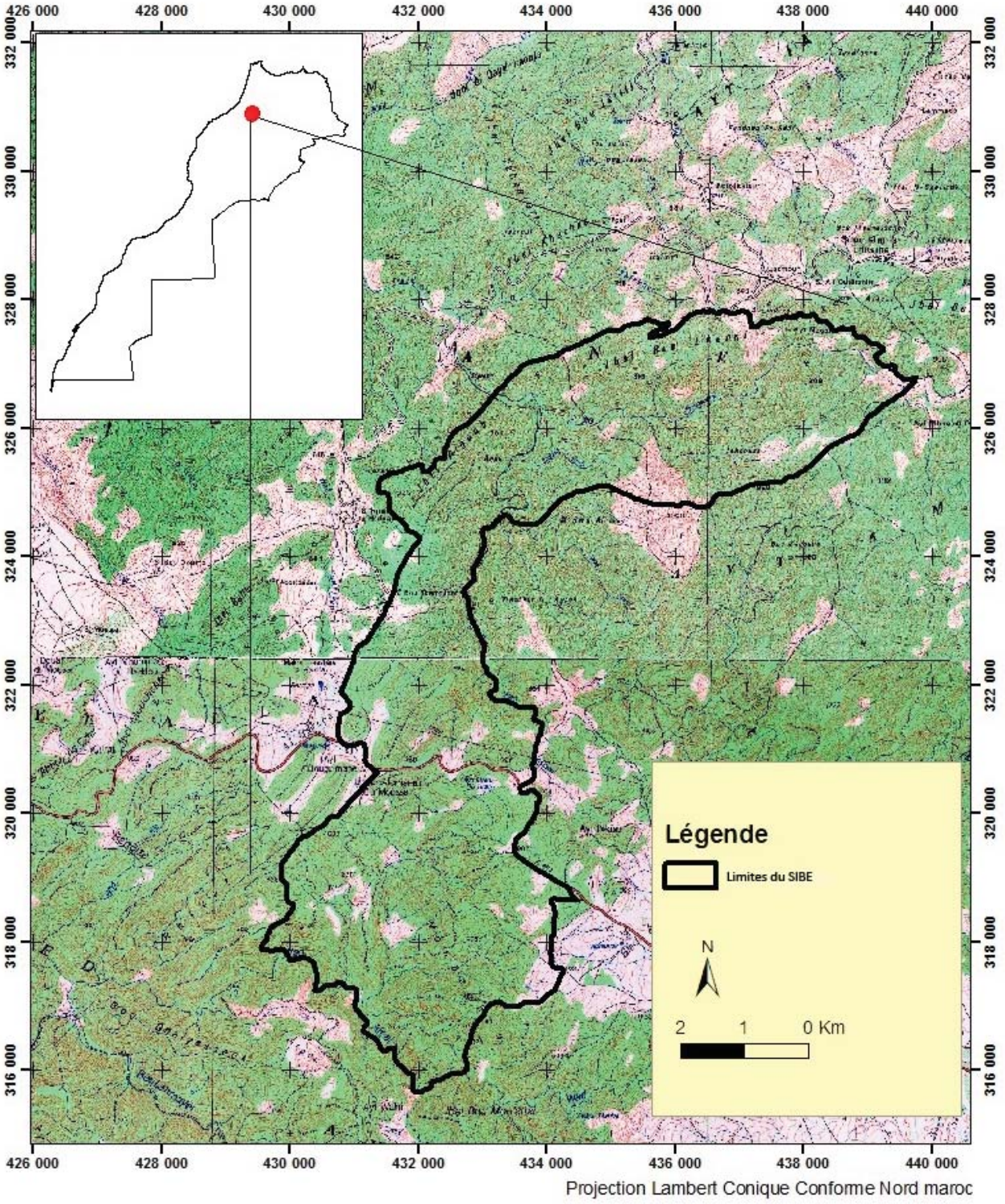


Figure 1 – carte de situation du SIBE d'El Harcha

2 Matériel et méthode

Le moyen classique le plus utilisé pour la cartographie détaillée de la végétation, en forêts de montagne où le terrain est accidenté présentant des peuplements hétérogènes est l'interprétation des prises de vue aériennes (Stephen H., 1948 ; Chkhichekh, 1993). Le traitement d'images satellitaires est surtout utilisé pour les forêts de plaine ou de montagne avec une végétation plus ou moins homogène (El Aboudi, 2000 ; Aafi, 2006). En ce qui nous concerne, nous avons utilisé la couverture aérienne la plus récente. Il s'agit de la mission IFN/2007 en panchromatique, avec une échelle moyenne du 1/20 000, produite par le Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification.

2.1 Préparation à la photo-interprétation

2.1.1 Critères de stratification

Les critères retenus et qui répondent aux exigences de la cartographie des types de peuplements suivent les normes établies par le Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification. Ces critères sont décrits comme suit :

- **La composition** : Le SIBE d'El Harcha, floristiquement riche et variée, se compose essentiellement de trois essences principales du point de vue superficie. Il s'agit de chêne-liège, de thuya et de chêne vert. On y rencontre également du chêne zène à l'état de pieds isolés ou rarement en petits groupes, des reboisements à base de résineux et du matorral haut (HCEFLCD, 2001). On retient pour cette identification, les premières lettres du genre en majuscule et de l'espèce en minuscule.(*Quercus suber* :**Qs** ; *Quercus rotundifolia* **Qr** ; *Tetraclinis articulata* : **Ta ;** *Quercus canariensis* :**Qc**. Pour les matorrals, les reboisements, l'arboretum résineux et les vides, nous avons retenu, respectivement, les abréviations suivantes : **M, Reb P, Arb R** et **V**.- **La densité de couvert** : la densité de recouvrement est estimée par le couvert apparent des couronnes pour chaque espèce. Nous avons retenu quatre classes de densité codifiées comme le montre le tableau 1.- **Le stade de développement :** Pour refléter l'âge du peuplement, 3 états ont été retenus : jeune (**J**), adulte (**A**) ou vieux (**V**). Lesdites catégories peuvent être appréciées par comparaison avec des stéréotypes relevés sur le terrain.

Tableau 1 – Classes de densité

Code	Classe de densité	Etat de la densité
1	R (recouvrement) $> 45\%$	Dense
2	$25\% < R \leq 45\%$	Moyennement dense
3	$5\% < R \leq 25\%$	Clair
4	$R \leq 5\%$	Epars

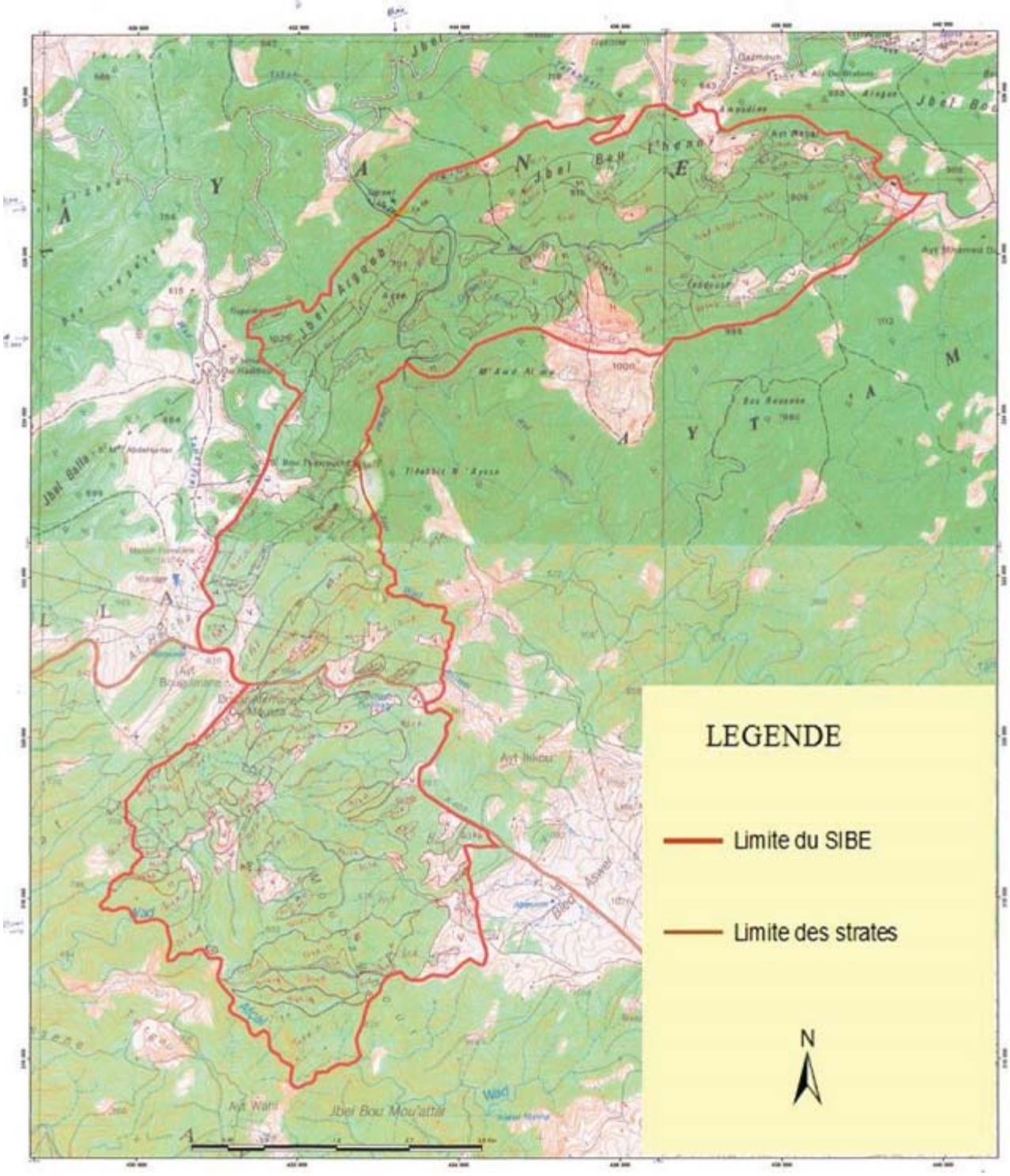


Figure 2 – carte minute des types de peuplements obtenue par restitution à vue

2.1.2 Délimitation des surfaces utiles

Cette opération consiste à délimiter sur chaque photographie, la surface présentant le minimum possible de distorsion de l'échelle. Il s'agit, en d'autre terme, de la zone centrale d'interprétation (MRNF, 2009). Chaque photographie de la mosaïque couvrant la zone d'étude présente un recouvrement moyen sur la suivante dans la même bande (ou recouvrement longitudinal) évalué à 69,8 %. Le recouvrement moyen de chaque bande de photos sur la suivante (ou recouvrement latéral) est de l'ordre de 34,8 %.

Ces recouvrements ont été utilisés pour la matérialisation des surfaces utiles sur chaque photo, constituées par l'ensemble des points les plus proches du centre de ladite photo que des centres des photos suivante et précédente de la même bande et ceux des photos adjacentes des bandes précédente et suivante.

2.2 Photo-interprétation proprement dite

En utilisant la codification décrite ci-dessus et en se basant sur des vérités terrain ou stéréotypes, représentant les différents types de peuplements, relevés lors d'une tournée organisée dans la zone d'étude, la stratification des photographies aériennes a été faite sous stéréoscope à miroirs.

2.3 Restitution sur un fond topographique

Un fond topographique, agrandi à l'échelle du 1/20 000, obtenu par l'assemblage des cartes IGN, feuillets au 1/50 000 de Sebt Ait Ikkou et Walmes, a été utilisé pour y restituer les différentes strates, après contrôle et vérification judicieuse sur le terrain (figure 2). Les conditions orographiques difficiles de la zone ont rendu l'utilisation des appareils classiques de restitution inappropriée. Le report à vue reste un moyen de restitution convenable, eu égard à la précision planimétrique tolérée qui est de l'ordre de 4 ha à l'échelle du 20 000^{e}. Néanmoins, cette opération nécessite un important niveau d'expertise dans le domaine.

2.4 Evaluation de l'erreur de restitution manuelle (report à vue)

La méthode consiste à comparer deux méthodes de restitution à savoir le transfert à vue des strates identifiées sur des prises de vue aériennes (PVA) en format papier avec le transfert semi-automatique sur des images satellites numériques à résolution spatiale inférieure au mètre.

Quatre phases sont importantes pour arriver à cet objectif (figure 3).

1ère phase : Numérisation de la carte des types de peuplements obtenue par restitution à vue (figure 2). L'opération consiste à scanner ladite carte, la géo-référencer et la caller aux fonds topographiques homologues scannés et géoréférenciés par l'Agence Nationale du Cadastre, de la Cartographie et de la Conservation Foncière (ANCFCC) qui est un organisme chargé, entre autre, de la production des cartes topographiques numériques et analogiques. Ensuite, les différentes strates des types de peuplements ont été numérisées en utilisant un logiciel de cartographie et de Système d'Information Géographique. Dans le cas présent, le logiciel choisi est Quantum GIS 1.7

2ème phase : Exploiter des scènes d'images satellites à très haute résolution, couvrant la zone d'étude, obtenues par l'exploration de la plate-forme Google Earth© pour l'exploitation des images qu'elle propose à la visualisation (Venar *et al.*, 2010). Elles sont du type Imagerie 2012 CENES/Spot Image, DigitalGlobe, GeoEye (figure 4). Elles ont été soigneusement reprojetées dans le même système de projection de la carte des types de peuplements issue de la photo-interprétation de manière à garantir un calage adéquat entre les fonds topographiques de l'ANCFCC utilisés et les images téléchargées

3ème phase : Les strates identifiées sur les photographies aériennes ont été reproduites à vue sur les images précitées sur un écran d'ordinateur. La résolution spatiale des images offrent des prises de vue comparables à la photographie aérienne. Ceci facilite la duplication sur image de chaque strate identifiée sur les photographies sans risque d'erreur.

4ème phase : Numéroter de façon identique les polygones homologues issues des deux restitutions : celle obtenue par restitution manuelle et celle obtenue par restitution sur image satellite, puis superposer les deux cartes numériques (figure 5) et procéder à la comparaison et l'analyse des erreurs générées par la restitution manuelle, en prenant comme référence celle effectuée sur image satellite.

5ème phase : Adopter des méthodes appropriées pour comparer les résultats cartographiques des deux procédés de restitution. L'analyse initiale consistait uniquement à comparer les superficies des différents polygones de restitution à vue avec leurs homologues de restitution sur images satellites. Il s'est avéré par la suite que l'emplacement des polygones est substantiel dans l'évaluation de l'erreur de restitution. Ainsi, deux méthodes ont été utilisées :

- La première méthode matricielle repose sur l'utilisation d'un utilitaire de comparaison des cartes « Map Comparaison Kit» en se référant à sa sixième raison d'être à savoir la comparaison des cartes établies selon des méthodes différentes.

- L'analyse est basée sur le coefficient kappa ou coefficient de concordance, en regroupant les polygones en 11 catégories de formations forestières afin de réduire la matrice de contingence.

Le coefficient Kappa (K de Cohen 1960) est déterminée par :

$$K = \frac{P_0 - P_e}{1 - P_e} \quad (1)$$

Où K= coefficient Kappa particulièrement nommé K-histogramme dans l'utilitaire de comparaison des cartes ;

P_o = proportion d'accord observée (somme de la diagonale de la matrice de contingence par rapport au total d'observations ;

P_e = proportion d'accord aléatoire ou espérée/attendue (somme des produits des proportions marginales) ;

- La seconde méthode, vectorielle, repose sur la superposition des couches vectorielles de chaque restitution et la comparaison des superficies de concordance (diagonale de la matrice de contingence) et des centres de gravités des polygones homologues des deux restitutions.

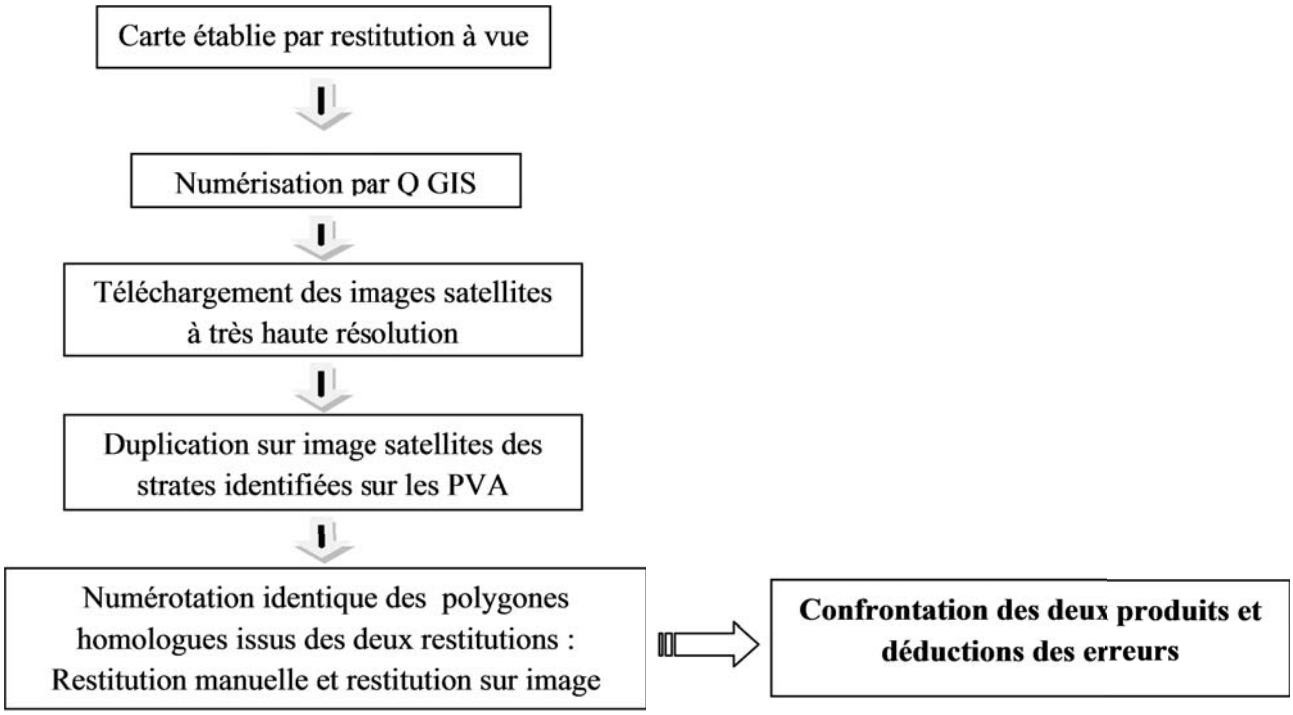


Figure 3 – schéma des différentes phases de travail

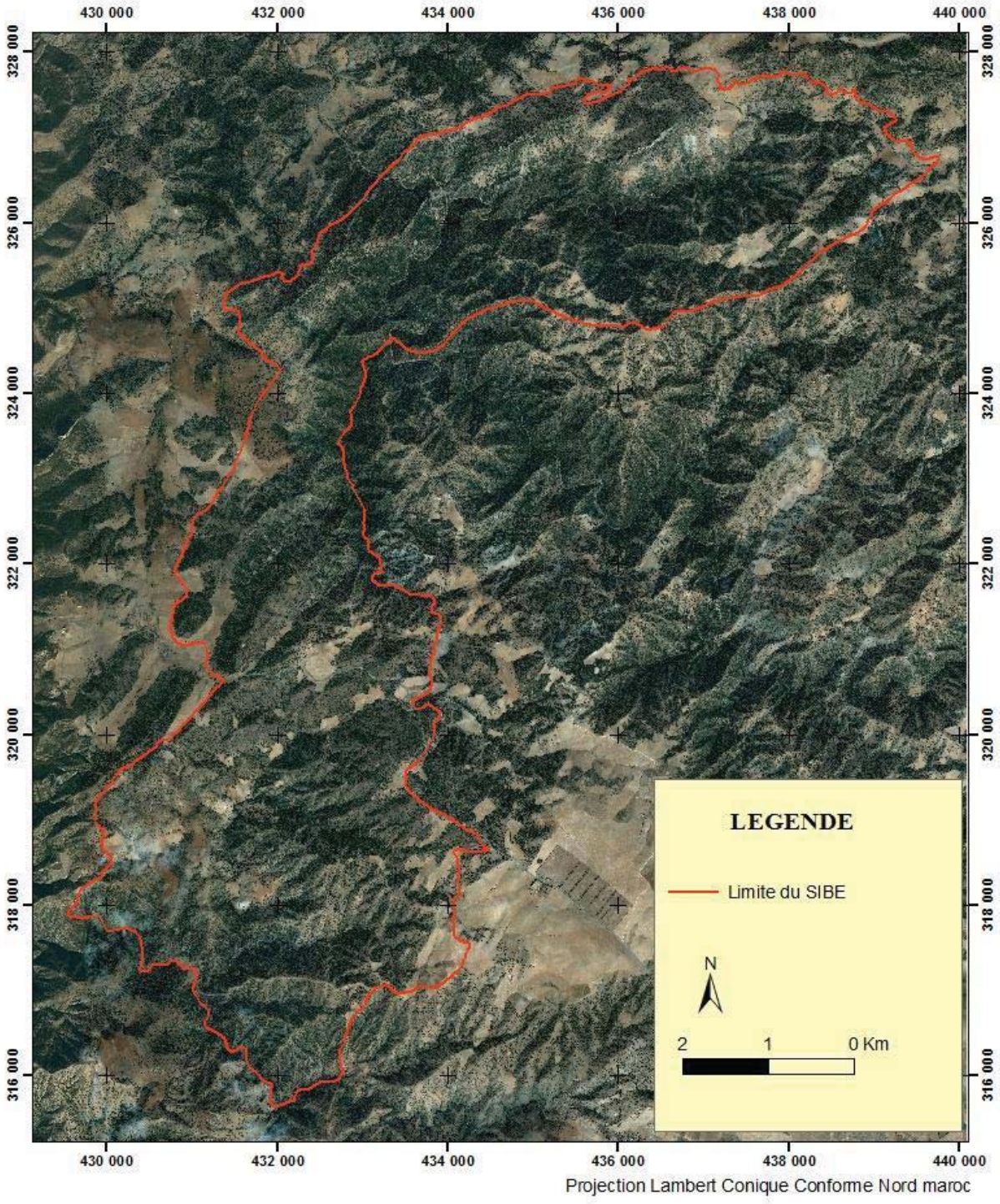


FIGURE 4 – délimitation du SIBE d'El Harcha sur scènes d'images satellites (Imagerie 2012 CENES/Spot Image, DigitalGlobe, GeoEye (Google Earth©)).

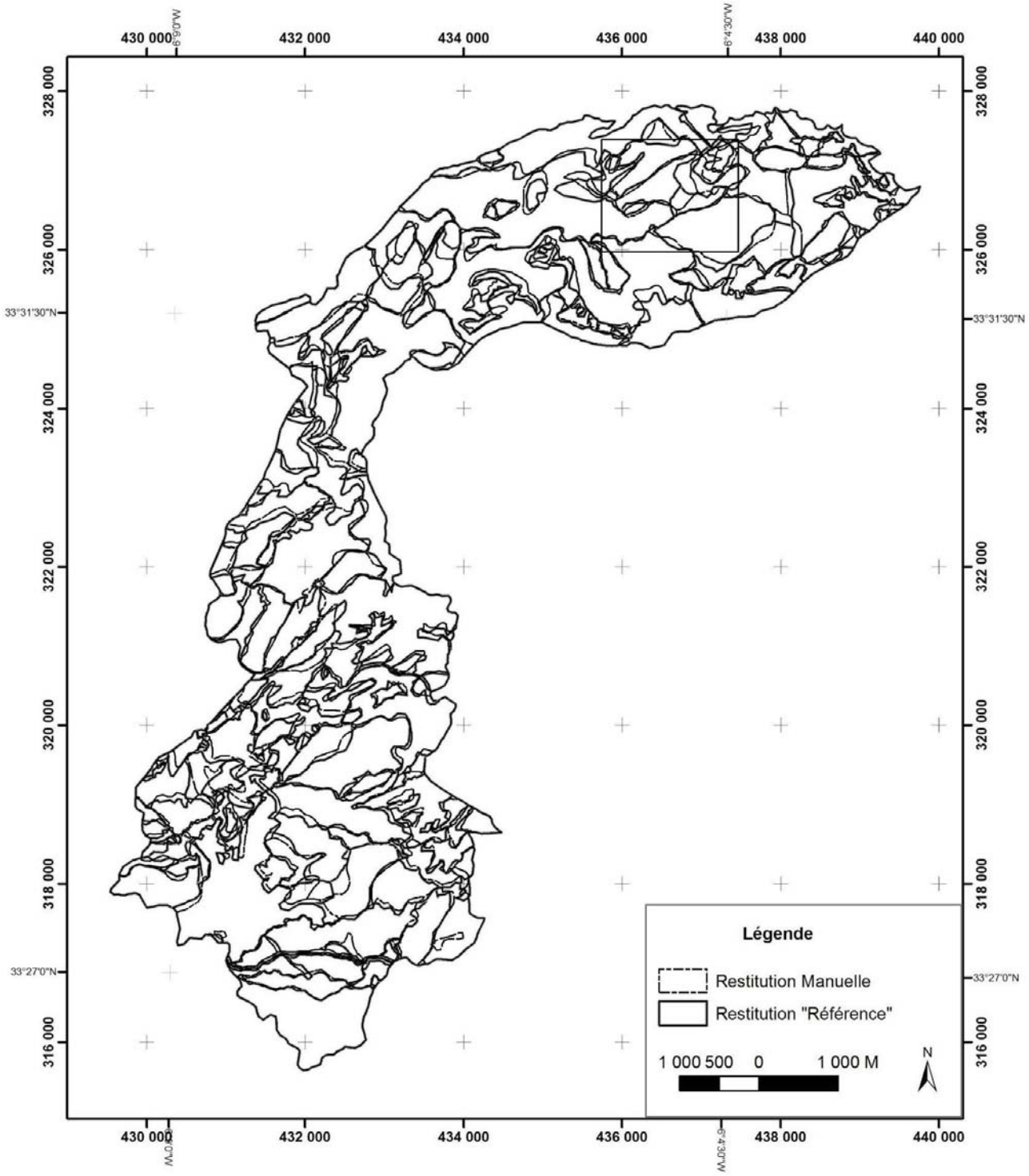


FIGURE 5 – superposition de la carte obtenue par report à vue et la carte obtenue par restitution semi-automatique sur image satellite

3 Résultats et discussion

Les résultats obtenus selon les deux approches de comparaison citées en méthodologies demeurent plutôt complémentaires (figure 6).

L'utilisation de l'outil de comparaison des cartes a permis de générer des images et des statistiques pour qualifier les différences entre les méthodes de restitution.

Les images montrent la représentation spatiale des catégories de formations forestières identifiées. L'image résultante expose la concordance (Equal) et la discordance (Unequal) entre les différentes catégories. Il est évident, aussi bien dans l'image que dans la réalité, que les discordances suivent les limites des polygones. Par ailleurs, le coefficient KHisto quantifie le degré de concordance à 97 % conformément au tableau 2.

Tableau 2 – Résultats statistiques du coefficient Kappa

Kappa	0.80428
KLocation	0.82804
KHisto	0.97130
Fraction correct	0.84548

Cependant, la fraction correcte de la concordance est de 84,5 %. Aussi, l'analyse de la matrice détaillée des résultats montre que le Khisto varie de 0 à 99 % selon les catégories identités.

A postériori, nous avons pensé à évaluer l'erreur par comparaison des superficies des différents polygones (strates) de la carte obtenue par report à vue, aux superficies de leurs homologues sur la carte obtenue par restitution semi-automatique sur image satellite. La table d'attributs des deux produits obtenus par superposition, permet cette comparaison. Cette table contient 196 polygones de superficie de référence variant de 0,3 à 225 ha. Sur la figure 7, on représente les résultats de la superposition vectorielle des deux cartes.

En outre, sur un tableau récapitulatif, nous avons reporté les numéros des polygones homologues (deux polygones homologues portent le même numéro), leurs surfaces respectives (surface de la restitution à vue et celle de la restitution sur image satellite), l'écart entre les deux résultats et le pourcentage que représente cet écart par rapport à la surface de référence (restitution sur image satellite). Ensuite, nous avons déduit le nombre de polygones selon les degrés des concordances observées. Sur le tableau 3, on récapitule les résultats obtenus.

Il ressort du tableau 3 qu'environ 74 % des polygones (strates) restitués présentent une discordance supérieure à 20 % par comparaison des superficies entre la restitution à vue à celle reportée sur image satellite. Il est constaté par ailleurs, dans la base de données de la comparaison des cartes que la discordance varie de 1 à 100 %. Cela montre que, dans des cas extrêmes et surtout quand les polygones sont de petites superficies, les entités restituées peuvent se trouver loin de leur emplacement exact sur le terrain.

Afin d'avoir une idée sur l'influence de la superficie du polygone sur le degré de concordance des restitutions, nous avons reporté sur un histogramme le degré de discordance observée par polygone par rapport à la superficie de référence (restitution sur image) pour chaque polygone. Le résultat est porté sur la figure 8.

En se référant au graphique (figure 8), il ressort que le degré de concordance observée de 80 % et plus, n'est assuré que lorsque la superficie du polygone dépasse 50 ha.

Ainsi, nous nous sommes rendus compte que la comparaison des superficies, à elle seule, n'est pas suffisante. Certaines strates reportées à vue (carte no.1), comparées à leurs homologues (carte no.2), ne présentent que de faibles erreurs en superficie, alors qu'elles se trouvent trop déplacées par rapport à leurs emplacements exacts sur la carte de référence. Ce qui nous a amené à intégrer les écarts entre les centres géométriques des strates (centres de gravité des polygones) de la carte no.1 et ceux de leurs homologues de la carte no.2 de référence. Lesdits centres de gravité ont été numériquement matérialisés à l'aide du logiciel SIG. Le report de leurs coordonnées X,Y sur un repère orthonormé nous a permis de calculer la distance séparant chaque couple de centres de gravité de polygones homologues. Les résultats sont reportés sur un tableau. Pour permettre une analyse optimale, nous avons regroupé les écarts entre les centres de gravité des polygones homologues en trois classes.

Tableau 3 – Répartition du nombre de polygones identifiés selon le degré de concordance entre les deux méthodes de restitution

Degré de concordance observée (%)	**Cumul du nombre de polygone**	**Nombre de polygones**	**Pourcentage par degré de concordance**	**Pourcentage cumulé**
> 90	30	30	15,3	15,3
> 80	71	41	20,9	36,2
> 70	110	39	19,9	56,1
> 60	145	35	17,9	74
> 50	164	19	9,7	83,7
> 40	174	10	5,1	88,8
> 30	183	9	4,6	93,4
> 20	186	3	1,5	94,9
> 10	190	4	2	96,9
> 0	196	6	3,1	100

Partant du fait que le fond topographique sur lequel nous avons réalisé le report à vue n'est autre qu'un agrandissement au 1/20 000 de la carte topographique au 1/50 000, la précision demeure inchangeable. Habituellement, en cartographie thématique forestière, on tolère une erreur linéaire de 1 mm sur une carte topographique à une échelle de 1/50 000, équivalente à 50 m sur le terrain (IFN, 2012). Dans notre cas, nous avons choisi 2,5 mm pour l'agrandissement à l'échelle du 1/20 000, équivalent à 50 m sur le terrain. Les classes retenues sont les suivantes :

Classe 1 : écarts inférieurs à 50 m (bonne restitution) ;

Classe 2 : écarts situés entre 50 m et 100 m (erreurs tolérables sous certaines conditions)

Classe 3 : écarts supérieurs ou égaux à 100 m (erreurs non tolérables = mauvaise restitution).

A l'aide d'un tableur Excel, nous avons obtenu les résultats suivants :

En ne tenant compte que de la variable "***écart entre centres de gravité des polygones homologues*** ", une somme de 2 454,65 ha est bien restituée, soit 63,1 % ;

1 334,35 ha ont fait objet de restitution acceptable sous certaines conditions, soit 34,3% ;

102,18 ha sont mal restitués, soit 2,6 %.

Pour rendre plus fiables nos résultats, nous avons procédé à un classement des polygones sur la base des pourcentages des superficies erronées des différents polygones par rapport à leurs superficies de référence obtenues par restitution sur image satellite. Ainsi trois classes ont été retenues (Conformément aux normes du HCEFLCD) :

Classe 1 : proportion inférieure ou égale à 10 % : bonne restitution ;

Classe 2 : proportion située entre 10 et 20 % : restitution tolérable sous certaines conditions ;

Classe 3 : proportion supérieure à 20 % : mauvaise restitution.

Les résultats obtenus sont comme suit :

Classe 1 : 1 308,35 ha, soit 33,6 % ;

Classe 2 : 1 578,76 ha, soit 40,5 % ;

Classe 3 : 1 009,20 ha, soit 25,9 %.

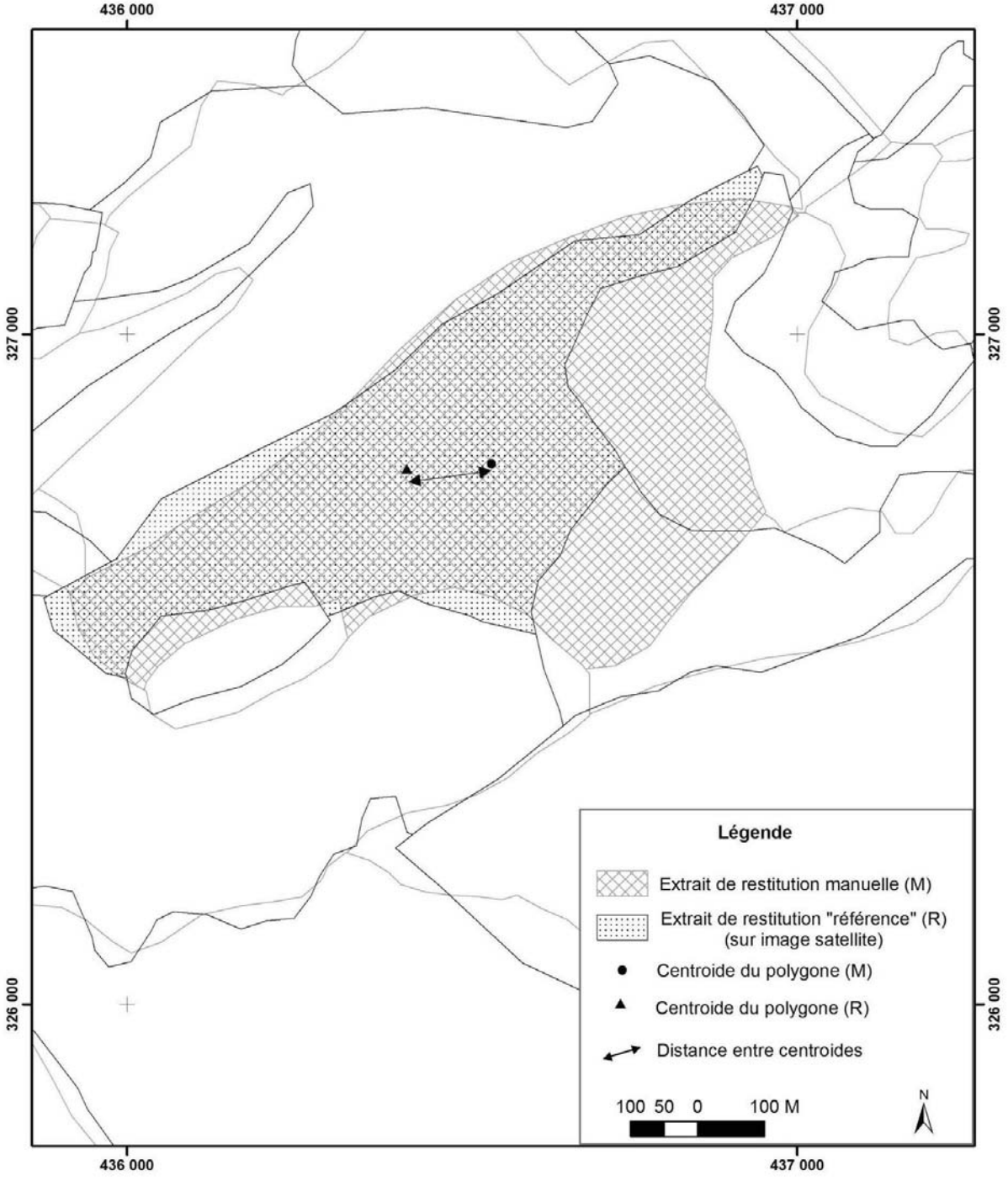


FIGURE 6 – extrait de la figure 5, obtenue par agrandissement d'une partie, illustrant la différence entre un polygone obtenu par restitution à vue (manuelle) et celui obtenu par restitution sur image satellite, ainsi que l'écart entre leurs centres de gravité respectifs.

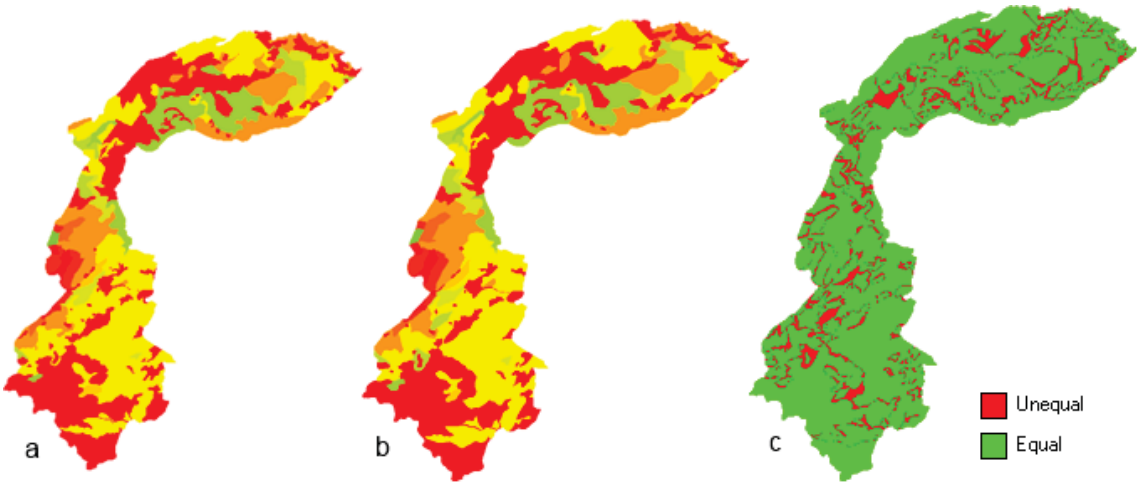


FIGURE 7 – cartes résultantes des deux méthodes de restitution : a) Restitution sur image, b) Restitution à vue et c) Synthèse de comparaison des deux cartes.

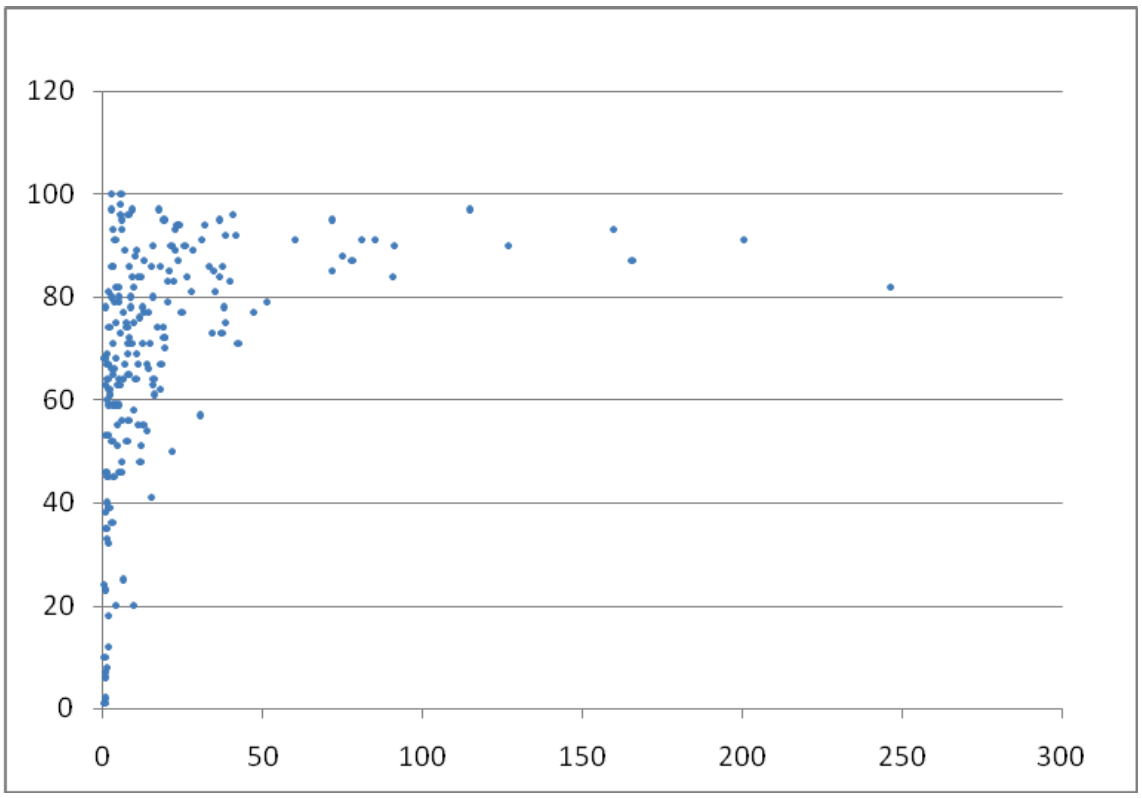


FIGURE 8 – degré de concordance individuelle observée en fonction des superficies des polygones

Maintenant que nous avons les résultats basés sur la variable « superficie erronée » et ceux basés sur la variable « écarts entre centres de gravité des polygones homologues », nous les avons confrontés sur un tableau et nous avons obtenu les résultats finaux (Tableau 4).

Nous déduisons que tous les polygones dont les proportions des superficies erronées par rapport à leurs superficies respectives sur image satellite sont supérieures à 20 % sont mal restitués. De même tous les polygones dont l'écart entre polygones homologues est supérieur à 100 m sont mal restitués. Ils font un total de 1 044,63 ha, soit 26,8 % de la superficie totale de la zone d'étude.

Quelles sont les causes probables de l'erreur du report à vue ?

Pour répondre à cette question, nous avons essayé, à l'aide de la table d'attributs de la numérisation par QGIS, de localiser les polygones mal restitués sur le fond topographique géo-référencé. Nous avons remarqué que la quasi totalité de ces strates se localisent là où il n'y a pas de repères visibles à la fois sur la carte et sur les

photographies aériennes, tels que les ravins de drainage, les cours d'eau, les pistes et les routes et les vides apparaissant sans végétation sur la carte et à condition qu'ils n'aient pas évolué après la date de publication de la carte topographique. Certains facteurs influent également sur la qualité de la restitution, notamment les fortes pentes entrainant une forte distorsion de l'échelle sur la photographie aérienne. Cette constatation est en accord avec ce qui a été avancé par Provencher et Dubois (2007).

Tableau 4 – Tableau récapitulatif des résultats de la confrontation de la méthode basée sur les écarts entre polygones homologues et celle basée sur les proportions des superficies erronées par rapport à leurs superficies respectives sur image satellite

Ecart entre centres de gravité des polygones homologues	**Superficie totale des polygones par classe de proportion des superficies erronées par rapport à leurs superficies respectives sur scènes Google-Earth (en %)**			**Totaux**
	0 à 10 %	10 à 20 %	>20 %	
Ecart inférieur ou égale à 50 m	916,28 ha Soit **23,5 %**	987,40 ha Soit **25,4 %**	550,97 ha Soit 14,2%	2.454,65 ha Soit 63,1 %
$50m < Ecart \leq 100m$	392,07 ha Soit **10,1%**	550,80 ha Soit **14,2%**	391,48 ha Soit 10 %	1.334,35 ha Soit 34,3 %
Ecart > 100 m	0 ha Soit 0 %	35,43 ha Soit0,9 %	66,75 ha Soit 1,7 %	102,18 ha Soit 2,6 %
Totaux	1 308,35 ha Soit 33,6 %	1 573,63 ha Soit 40,5 %	1 009,20 ha Soit 25,9 %	3 891,18 ha 100%

4 Conclusion

L'établissement des cartes thématiques d'occupation du sol, en utilisant les prises de vue aériennes, invoque le processus de restitution mécanique, manuelle et enfin électronique dans ces dernières années. Au Maroc, le transfert à vue (manuel) est d'usage depuis l'avènement de la cartographie des peuplements forestiers avec les premiers aménagements des massifs forestiers au début des années cinquante du siècle dernier. Les erreurs dues à la restitution manuelle, ou report à vue, peuvent être importantes et influencent la qualité des produits. Le recours à un transfert mécanique était contraint par le coût des appareillages adéquats d'une part et la qualité du produit lors de l'usage des outils ordinaires tel que le pantographe. Tout récemment, les techniques de restitution bénéficient des innovations survenues par l'informatisation des techniques de cartographie thématique.

Ainsi, la présente étude a pour but d'évaluer l'erreur due à la restitution à vue qui d'ample usage au Maroc dans la cartographie thématique, par comparaison de deux produits de cartes de types de peuplements forestiers ayant subit deux procédés de restitution à savoir une restitution par report à vue et celle semi-automatique (sur image satellite) des mêmes entités cartographiques identifiés sur photographies aériennes au sein d'un SIBE de 3 890 hectares. La méthodologie adoptée a pris le soins de cerner les risques d'erreurs et ne laisser subsister que celle due à la méthode de restitution et ce, en se référant à l'hypothèse qui réduit au maximum les autres erreurs à caractères systématiques ou aléatoires à savoir :

- Le fond topographique utilisé pour la restitution à vue est d'une échelle 1/50 000 fourni en image géo-référenciée par l'ANCFCC ;

- La restitution à vue s'est opérée directement sur écran d'ordinateur après agrandissement du fond à une échelle de 1/20 000 tel que d'usage en cartographie de types de peuplements au Maroc ;

- Adoption du système de projection adéquat selon qu'il s'agit de la restitution à vue ou celle semi-automatique ;

- Adoption des critères de jugements de la qualité de restitution imposés par le département des forêts (HCE-FLCD).

De l'hypothèse, il est évident que l'étude a visé la comparaison d'une restitution usuelle par référence à une restitution offerte par la technologie actuelle sans perdre de vue le bon sens du photo- interprète.

La comparaison a été opérée, analysée et interprétée en fonction i) des superficies au sein des formations forestières principales du SIBE, ii) des superficies individuelles des entités cartographiques (strates) identifiées, et iii) des distances de déplacement des centres de gravité de ces entités.

Les résultats montrent :

a) A l'échelle du SIBE, la concordance en superficie est assurée statistiquement à 97 %. Cependant, cette concordance varie de 0 à 99 % pour les formations forestières cartographiées et ce en fonction de leur superficie ;

b) La concordance en superficie est assurée à plus de 80 % quand l'entité cartographique (strate) dépasse 50 hectares ;

c) Environ 74 % des polygones (strates) restitués présentent une discordance en superficie supérieure à 20 % ; et

d) La conformité des centres de gravités des polygones au regard de leur déplacement linéaire est assurée à 63,1 % à moins de 50 mètres, à 34,3 % de 50 à 100 m et à 2,6 % pour un déplacement supérieur à 100 m.

L'analyse combinée de la concordance en superficie et écart des centres de gravités des polygones restituées selon les deux processus, permet de catégoriser la qualité de la restitution à vue par rapport à celle effectuée sur image satellite comme suit :

1) En adoptant le sens strict des critères imposés par le département des forêts (HCEFLCD) en matière de cartographie forestière, la restitution à vue est respectée à environ 49 % des cas. Il s'agit des polygones ayant une concordance en superficie supérieure à 80 % et un décalage linéaire des centres des gravités inférieure à 50 mètres ;

2) Un assouplissement en termes de déplacement des centres de gravités qui peut être élargi à 100 m, porte le degré de restitution acceptable à presque 73 % ;

En conséquence, l'usage des documents orthorectifiés des couvertures aériennes tel que l'image satellite à haute résolution spatiale, réduit énormément les erreurs qui peuvent découler du report à vue (restitution manuelle) et pourrait être un moyen de cartographie thématique privilégié quand les moyens financiers le permettent.

Ces erreurs sont d'autant plus importantes que le terrain est accidenté, entrainant une forte distorsion d'échelle et que le fond topographique servant pour le report à vue ne présente pas de repères identifiables sur les photographies aériennes ; lesquels repères, permettent de guider le photo-interprète lors de la restitution des strates.

La photointerprétation sur les prises de vues aériennes qui seront ensuite scannées, géoréférenciées et suivi de la numérisation des strates peut donner un résultat aussi satisfaisant. Cependant, cette dernière méthode présente l'inconvénient de manipulation multiple de toutes les photos et la recherche de plusieurs points de calage pour pallier le problème de distorsion d'échelle au niveau des PVA due à la perspective conique de prise de vue et au relief.

Acronymes :

ANCFCC : Agence Nationale de la Conservation Foncière, du Cadastre et de la Cartographie ;

HCEFLCD : Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification

IFN : Inventaire Forestier National

SIG : Système d'Information Géographique

PVA : Prise de Vue Aérienne

5 Références bibliographiques

AAFI, A. (2007) Etude de la diversité floristique de l'écosystème de chêne-liège de la forêt de la Mamora. Thèse doctorat es sciences agronomiques. IAV Hassane II, Rabat, Maroc ; 190 p.

BRUNO, Rh. (1965) Expériences de Photo-interprétation et Cartographie à des fins forestières. Unasylva ; N° 77 ; Vol 19 (2).

CHKHICHEKH, A. (1993) Cartographie des types de peuplements de la forêt de Bouhachem dans un but d'aménagement. Mémoire de 3e cycle, ENFI, Salé ; 107 p.

COHEN, J. (1960) A coefficient of agreement for nominal scales., Educational and Psychological Measurement ; Vol II, N°1, page 37-46.

EL ABOUDI, A. (2000) Télédétection et cartographie de la végétation en zone aride « Application à la terminaison occidentale de l'Anti-Atlas marocain » Thèse de Doctorat d'Etat es Sciences Biologiques. Université MohammedV, Faculté des Sciences, Rabat-Agdal.

FOUNDI, M. (1998) Cartographie et évaluation de la dégradation des subéraies du Rif central (Cas de la subéraie de Jbel Asri). Mémoire de 3e cycle, ENFI, Salé ; 121 p.

GAGNON Hugues (1974) : La photographie aérienne. Montréal, Édition Holt Rinehart and. Winston. 288 pages.

HCEFLCD (2001) Procès verbal d'aménagement de la forêt d'Ait Ichou ouest.

MRNF (2009) Normes de Cartographie éco-forestière, 3e inventaire forestier (Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune ; Forêt Québec ; Direction des Inventaires Forestiers).

PAIN-ORCET, M., LO SEEN, D., FAUVET, N., TREBUCHON, J. et DIPAPONDJI, B. (1998) : Les cartes, la télédétection et les S.I.G., des outils pour la gestion et l'aménagement des forêts tropicales et d'Afrique Centrale. Série FORAFRI, document 12.

PROVENCHER &amp ; DUBOIS (2007) Précis de télédétection : Méthodes de photointerprétation et d'interprétation ; Technology &amp ; Engineering - 468 p.

STEPHEN, H. SPURR (1948) La photographie aérienne. Unasylva - Vol. 2, No. 4 - Les ressources Forestières Mondiales.

VENAR, C., DELAITRE, E., CALLOT, Y., OUESSAR, M. et OUERCHEFANI, D. (2010) Exploitation d'images satellitales à très haute résolution spatiale fournies par *Google Earth©*. Exemple d'application à l'étude de l'ensablement d'oliveraie en Tunisie. Revue Télédétection, 2010, vol. 9, no.1, p. 59-71.

VISSER, H. (2004) The MAP COMPARISON KIT methods, software and applications RIVM report 550002005/2004.