

Contrôle Qualité des scènes Landsat 7 Image 2000

Rapport Technique

	<i>nom</i> <i>fonction</i> <i>entreprise</i>	<i>date</i> <i>signature</i>
<i>préparé par</i>	Aboubakar MAMBIMBA <i>responsable production</i> GAEL Consultant Aboubakar.mambimba@gael.fr	
<i>approuvé par</i>	Serge RIAZANOFF <i>directeur</i> GAEL Consultant Serge.Riazanoff@gael.fr	
<i>autorisé par</i>	Vanda PERDIGAO DG Joint research Centre Vanda.Perdigao@jrc.itr	



GAEL
Consultant

**Contrôle Qualité des scènes Landsat 7
Image 2000**

Rapport Technique

référence GAEL-P130-RPT-001

édition 7 révision 1

date 13/03/2002

page 2 de 85

HISTORIQUE DU DOCUMENT

Version	Date	Commentaires	Auteur
0.0	28/03/2001	Création du document	A.Mambimba
1.0	09/04/2001	Version 1 (France, Espagne, Allemagne, Luxembourg, Suède) – Contrôle qualité par cartes.	A.Mambimba
2.0	14/04/2001	Section 2 – « Contrôle des cartes par navigation GPS ».	S. Riazanoff
2.1	17/04/2001	Version définitive après contrôle de Bertrand BOULLARD.	S. Riazanoff
2.2	03/07/2001	Contrôle qualité des pays suivants (Autriche v1, Danmark, Finlande, Pays-Bas , Portugal)	A.Mambimba
2.3	25/07/2001	Finalisation Autriche	S.Riazanoff
3.1	27/07/2001	Recette commande n°V CCR 474 696 du 30/04/2001	S.Riazanoff
4.0	26/09/2001	Contrôle qualité des pays suivants : Belgique, Ireland, UK	A.Mambimba
5.0	07/01/2002	Contrôle qualité de la nouvelle version scène Autriche v2	A.Mambimba
6.0	12/02/2002	Orthorectification et contrôle qualité scène Autriche v3	A.Mambimba
7.0	12/03/2002	Contrôle qualité scène Italie	A.Mambimba



TABLE DES MATIERES

1	INTRODUCTION	5
1.1	OBJET	5
1.2	DESCRIPTION GÉNÉRALE DE LA MÉTHODE	9
1.2.1	Principe de la mesure de la précision de positionnement.....	9
1.2.2	Description des références.....	9
1.2.3	Appariement Landsat / référence (cartes ou navigation GPS ?).....	11
1.3	DESCRIPTION DES DONNÉES EN ENTRÉE	13
1.3.1	France.....	14
1.3.2	Espagne	16
1.3.3	Allemagne	17
1.3.4	Luxembourg.....	18
1.3.5	Suède.....	19
1.3.6	Autriche	20
1.3.7	Danemark	21
1.3.8	Finlande.....	22
1.3.9	Pays-Bas	23
1.3.10	Portugal.....	24
1.3.11	Belgique.....	25
1.3.12	Irlande	27
1.3.13	UK.....	29
1.3.14	Italie.....	30
2	CONTRÔLE DES CARTES PAR NAVIGATION GPS.....	31
2.1	ACQUISITION DES DONNÉES GPS.....	31
2.1.1	Objet de la mission.	31
2.1.2	Organisation de la mission.....	31
2.1.3	Navigation et positions collectées.....	32
2.1.4	Conclusions	37
2.2	CONTRÔLE DES CARTES	38
2.2.1	Méthode de géoréférencement et de géocodage des cartes	38
2.2.2	Contrôle des cartes par les données de navigation GPS.....	43
2.3	RÉSULTATS.....	46
2.4	CONCLUSIONS	48
2.4.1	Navigation lente ou rapide	48
2.4.2	Précision des points terrain :.....	49
2.4.3	Erreurs de scan.....	49
2.4.4	Erreur interne des cartes	49
2.4.5	Conclusion générale concernant l'utilisation de données GPS.....	52
3	CONTRÔLE DES SCENES LANDSAT.....	54
3.1	DESCRIPTION DE LA MÉTHODE.....	54
3.1.1	Contrôle qualité de la scène panchromatique	54
3.1.2	Contrôle qualité des canaux multi-spectraux	54
3.2	CONTRÔLE QUALITÉ DES CARTES	55
3.3	CONTRÔLE QUALITÉ DES SCÈNES LANDSAT.....	56
3.4	TOPOGRAPHIE DES RÉGIONS	57
3.5	ORTHORECTIFICATION ET CONTRÔLE QUALITÉ DE LA SCÈNE 190-27 V3 (AUTRICHE).....	71
3.5.1	Methodologie d'orthorectification.....	71
3.5.2	Contrôle qualité et résultats obtenus	72
3.5.3	Conclusion.....	75
3.6	CONCLUSIONS	77



GAEL
Consultant

**Contrôle Qualité des scènes Landsat 7
Image 2000**

Rapport Technique

référence GAEL-P130-RPT-001

édition 7 révision 1

date 13/03/2002

page 4 de 85

3.6.1	Scan des cartes	77
3.6.2	Contrôle qualité du canal panchromatique	77
3.6.3	Contrôle qualité des canaux multi-spectraux	77
3.6.4	Défaut observé pour le datum de la scène Landsat Luxembourg	77
3.6.5	Défaut de radiométrie observé dans la scène Landsat Suède	77
3.6.6	Défaut de radiométrie observé dans la scène Landsat Italie	79
3.6.6	190-27 – Autriche – Erreur RMS à 59 mètres	80
3.6.7	190-27 – Autriche version 2 – Erreur RMS à 26.745 mètres	81
3.6.8	190-27 – Autriche – Changement de gain dans le canal 4	83
3.6.9	206-23 - Irlande – Défauts dans la partie sud de la scène	83
3.6.10	Informations fournies par le producteur des données	85

1 INTRODUCTION

1.1 Objet

Dans le cadre du contrôle qualité de ses images satellitales, le Centre Commun de Recherche (CCR) a signé avec la société GAEL Consultant un contrat de contrôle qualité géométrique des scènes Landsat 7 de l'année 2000.

Ce contrôle qualité est réalisé à travers deux méthodes : -une utilisation de cartes numérisées pour la prise de points de contrôle, et –une navigation GPS en continu.

Un des objectifs de ce rapport est de valider la méthodologie mise en œuvre par navigation GPS.

Le présent rapport décrit les méthodes et présente les résultats obtenus à l'issue du contrôle qualité effectué en cinq (6) phases :

- Phase 1 : Cinq (5) scènes

France, Espagne, Allemagne, Luxembourg, Suède

- Phase 2 : Cinq (5) scènes

Autriche v1, Danmark, Finlande, Pays-Bas, Portugal

- Phase 3 : Trois (3) scènes

Belgique, Ireland, UK

- Phase 4 : une (1) scène

Autriche v2

- Phase 5 : Une scène

Autriche v3

- Phase 6: Une scène

Italie

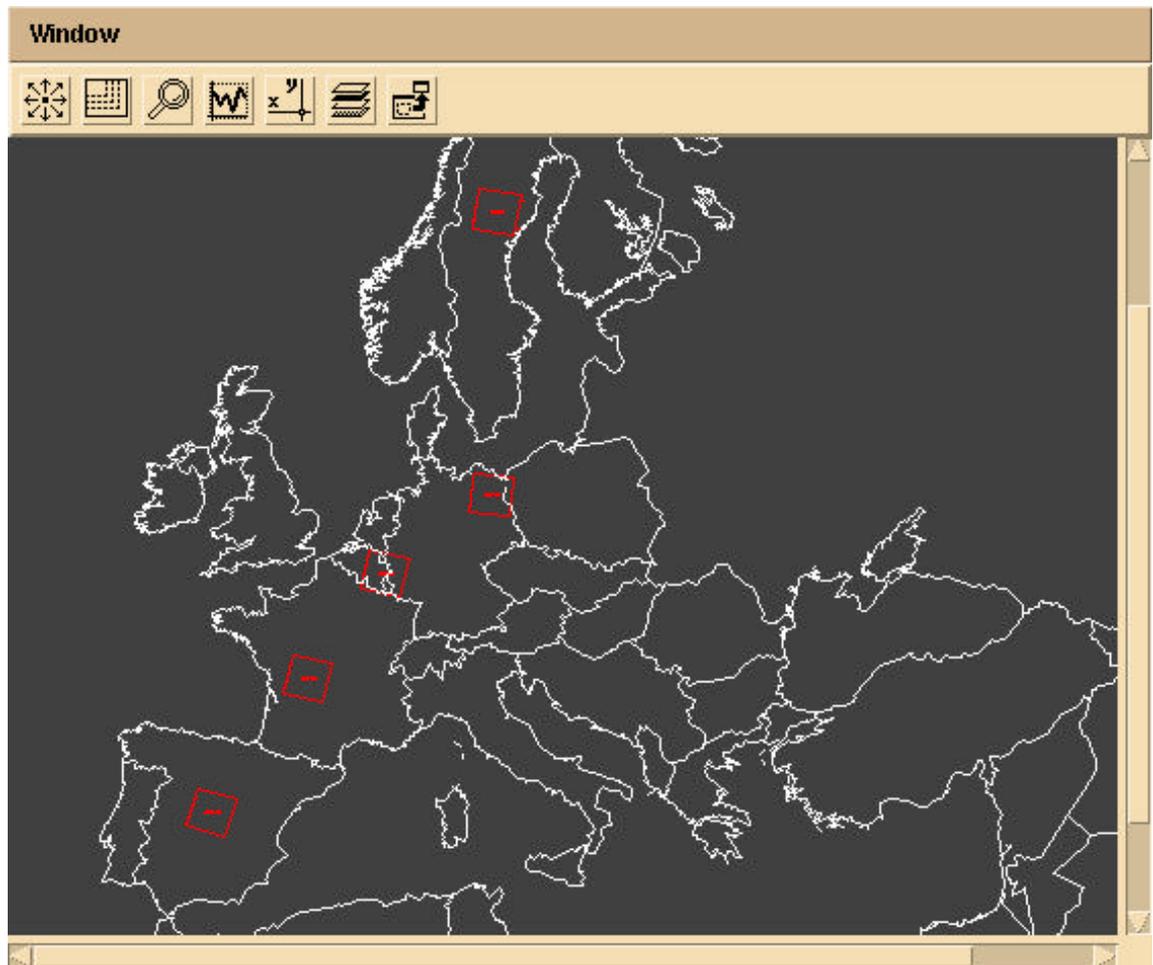


Figure 1.1.a : Situation géographique des scènes Landsat 7 – Phase 1



La figure ci-dessous présente la situation géographique des scènes de la deuxième phase du contrôle qualité (travaux réalisés en juin-juillet 2001). Les pays traités sont les suivants : Autriche, Danemark, Finlande, Pays-Bas et Portugal.

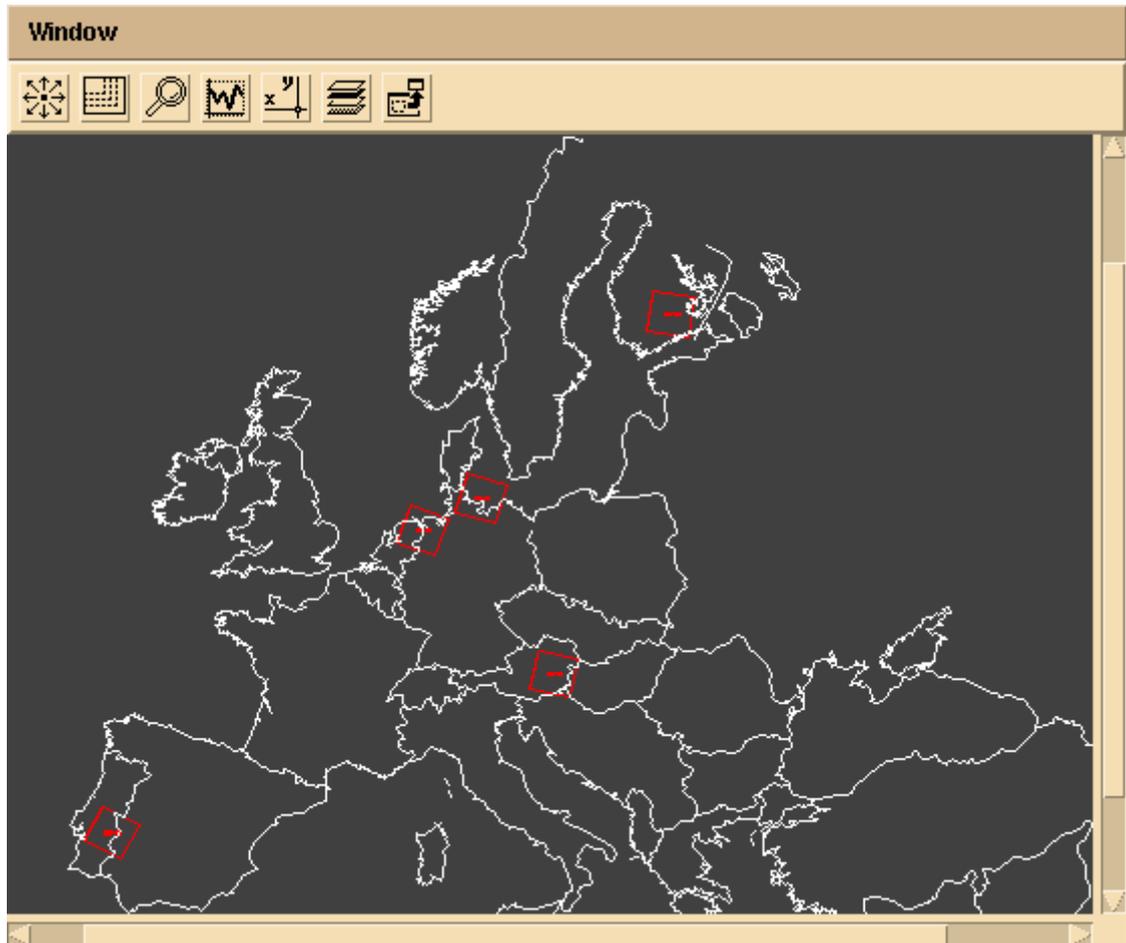


Figure 1.1.b : Situation géographique des scènes Landsat – Phase 2

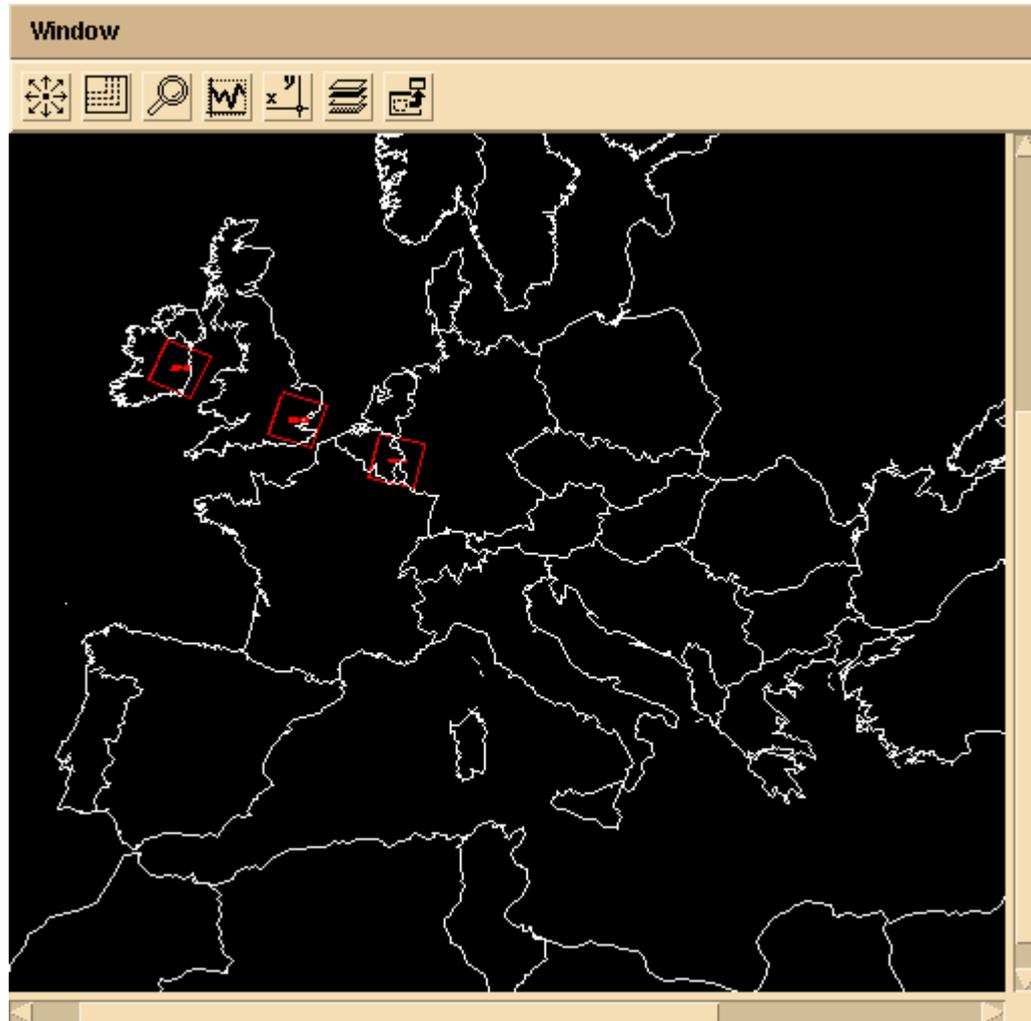


Figure 1.1.c : Situation géographique des scènes Landsat – Phase 3

1.2 Description générale de la méthode

Pour utiliser les images acquises par les satellites, il est nécessaire de les *géocoder* dans une projection particulière. Cette tâche est réalisée en corrigeant les défauts systématiques observés lors de l'acquisition :

- la rotation de la Terre,
- l'effet panoramique,
- la courbure terrestre.

Mais aussi en corrigeant l'image des effets de parallaxe dus au relief. Cette tâche est réalisée en utilisant un modèle numérique de terrain (MNT) et l'image ainsi corrigé est dite *orthorectifiée*. Les scènes Image 2000 objet de ce projet ont été orthorectifiées.

Pour une scène orthorectifiée (spatiocarte), il existe une fonction unique permettant de relier la position (p,q) des pixels de l'image à des coordonnées (φ, λ) exprimées dans le système cartographique défini par la projection utilisée. Dans le cas présent, toutes les projections des scènes orthorectifiées sont des projections cartésiennes pour lesquelles les coordonnées sont toujours exprimées par le couple (*easting, northing*).

1.2.1 Principe de la mesure de la précision de positionnement

La précision de l'orthorectification est évaluée en utilisant un jeu de données de référence appelées *points de contrôle* et en mesurant la distance entre la position observée dans l'image et celle fournie par ces points de contrôle.

Soit un ensemble de N points de contrôle (Φ_i, Λ_i) correspondant aux points de la scène orthorectifiée ((p_i, q_i), (φ_i, λ_i)).

L'erreur de positionnement absolu pour chaque point $i=1..N$ est donnée par le vecteur [$(\Phi_i - \varphi_i), (\Lambda_i - \lambda_i)$] et en particulier par la norme e_i de ce vecteur.

$$e_i = \sqrt{(\Phi_i - \varphi_i)^2 - (\Lambda_i - \lambda_i)^2} \quad \text{Eq. 1}$$

L'erreur quadratique moyenne (EQM ou RMS en anglais) mesurant la précision de positionnement sur l'ensemble des N points de contrôle est donnée par la formule :

$$e_{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N e_i^2}{N}} \quad \text{Eq. 2}$$

1.2.2 Description des références

Les points de contrôle peuvent être produits par différentes techniques (cartes, table à numériser, points géodésiques, relevés GPS, autres images géocodées, orthophotos...). Parmi ces techniques, les deux suivantes ont été retenues :

1. *cartes numérisées* : Des cartes topographiques choisies à une échelle compatible avec la résolution des scènes Landsat ETM+ (ici 1 :20.000ème ou 1 :25.000ème) sont numérisées par scanner et des points de contrôles identifiables à la fois sur la carte et sur l'image Landsat sont extraits par l'application GEOREF (voir figures 1.2.2.a et b).
2. *navigations GPS* : Une série de points GPS acquis toutes les secondes à bord d'un véhicule par un procédé différentiel (DGPS) temps-réel forment des polygones correspondant aux routes parcourues. Les courbes les plus aigues et intersections de ce réseau fournissent les points pour lesquels on recherche un point homologue dans l'image Landsat (voir figure 1.2.2.c).

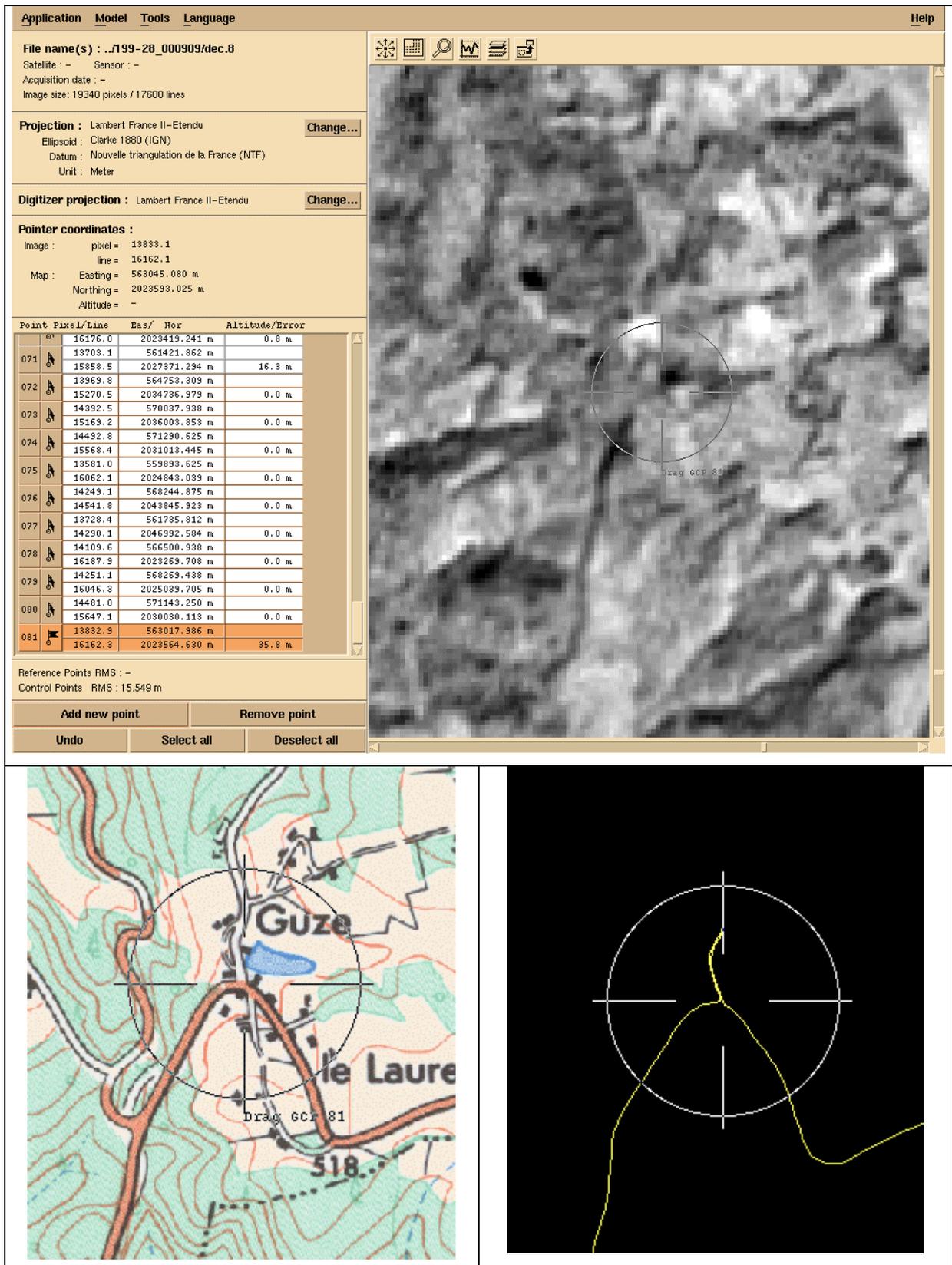


Figure 1.2.2 : Vues au 1 :10.000ème de la scène Landsat PAN (zoom x3), de la carte et du tracé GPS.



Précision des références

1. *cartes numérisées* : Les cartes 1 :25.000ème sont numérisées à 400 dpi fournissant une résolution d'environ 2 mètres. Le scanner à entraînement utilisé induit des erreurs en déformant la carte produite. Ces erreurs ne sont que partiellement corrigées en géocodant la carte numérisée dans sa projection native (voir section 2.2).
2. *navigation GPS* : L'acquisition DGPS fourni une erreur inférieure au mètre. La coïncidence du relevé avec la ligne médiane des routes secondaires empruntées est variable (erreur inférieure à 2 mètres). Lorsque la route a été parcourue dans les deux sens, la position de cette médiane peut être interpolée avec une erreur inférieure à 0,5 mètres.

1.2.3 Appariement Landsat / référence (cartes ou navigation GPS ?)

Les raisons pour lesquelles la navigation GPS ne peut être directement utilisée pour le contrôle des scènes Landsat sont les suivantes :

1. *Différences des échelles* : Ainsi que l'illustre la figure 1.2.2, la résolution des données (15 mètres pour le canal panchromatique de la scène Landsat et la précision supérieure au mètre pour les données GPS) sont difficilement compatibles. Il est particulièrement difficile d'identifier l'intersection de ces deux routes sur la scène Landsat à moins de 3 pixels, soit 45 mètres.
2. *Information filaire* : Lors de la recherche des points homologues dans la scène Landsat, on apprécie particulièrement la diversité des informations présentes dans la carte (réseau complet des routes et chemins, zones boisées, réseau hydrologique, courbes de niveau...). A l'inverse, la navigation GPS ne fournit qu'une information filaire réduite aux quelques routes parcourues. Il est par conséquent très difficile d'identifier les points homologues.
3. *Coût et quantité d'information* : La distribution des points de contrôle sur l'étendue de la scène Landsat est une spécification de qualité. Pas moins de 9 cartes 1 :25.000ème ont été prévues pour contrôler chaque scène. La France en particulier utilise 30 cartes (voir figure 1.2.3). Alors qu'il est possible de considérer l'achat, la numérisation et le géocodage de cartes couvrant tout ou partie de la scène Landsat, il est difficilement envisageable de produire une navigation GPS couvrant les 185x185 kilomètres de la scène Landsat en moins de 15 jours (!).

La navigation GPS est indirectement utilisée pour le contrôle des images Landsat puisqu'elle intervient pour qualifier la précision des cartes utilisées pour contrôler les scènes Landsat.

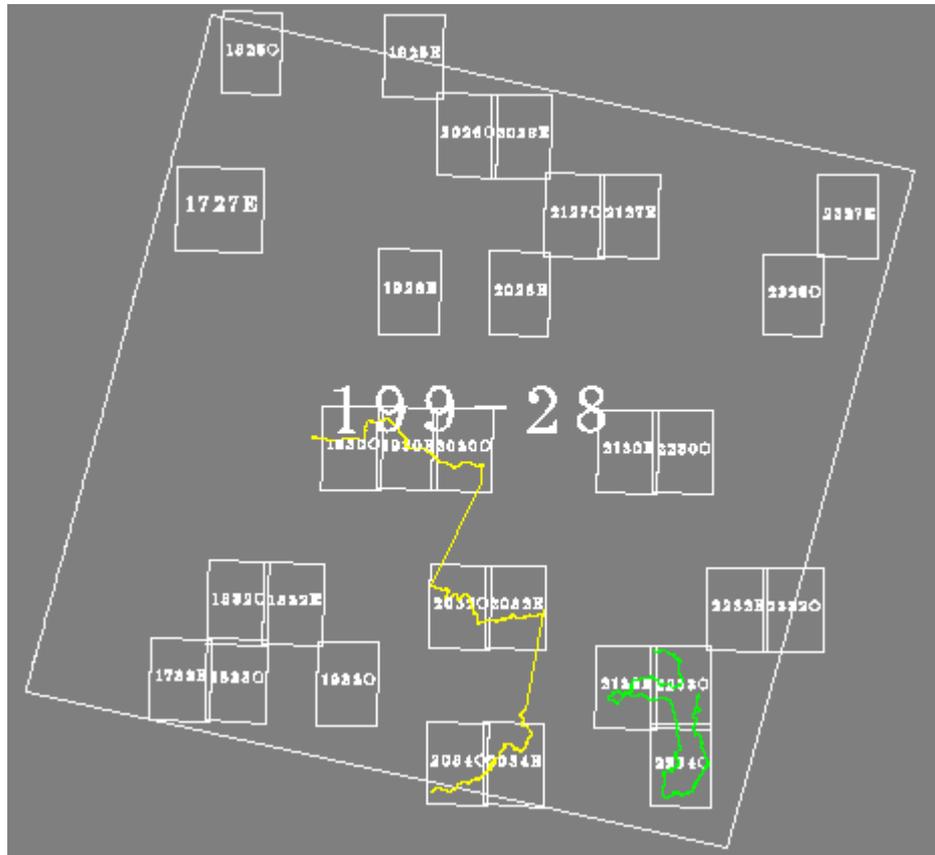


Figure 1.2.4 : Plan de position de la scène France 199-28, des cartes 1 :25.000ème et de la navigation GP des 1^{er} (vert) et 2^{ème} jours (jaune).

1.3 Description des données en entrée

Les données en entrée se répartissent sont de deux types :

- La scène Landsat 7, huit (8) canaux.
- Les cartes papier (numérisées et déjà géocodées uniquement pour l'Allemagne).

Pour chaque pays, nous présentons un tableau récapitulatif de toutes les caractéristiques cartographiques des données et un plan de position vectoriel des cartes et de l'image Landsat.

Ce plan de position montre la localisation des cartes (figurées en blanc) dans la scène Landsat (figurée en rouge).

1.3.1 France

	Scène Landsat 199-28	Cartes
Projection	<p>Lambert II Central meridian : 2 20 14.025 Latitude origin : 46 48 00.000 1st standard : 45 53 56.108 2nd standard : 47 41 45.652 False easting : 600000 False northing : 200000</p>	<p>Lambert II-Etendu Central meridian : 0 00 00 Paris Latitude origin : 46 48 00 1st standard : 45 53 56.108 2nd standard : 47 41 45.652 False easting : 600 000 False northing : 2 200 000</p> <p>Lambert III Central meridian : 0 00 00 Paris Latitude origin : 44 06 00 1st standard : 14 33 37.396 2nd standard : 42 46 03.588 False easting : 234.358 False northing : 185 861.369</p>
Ellipsoïde	Clarke 1880 IGN	Clarke 1880 IGN
Datum	NTF	NTF
Résolution	12.5 m (Pan) et 25 m (VNIR/SWIR)	2 mètres

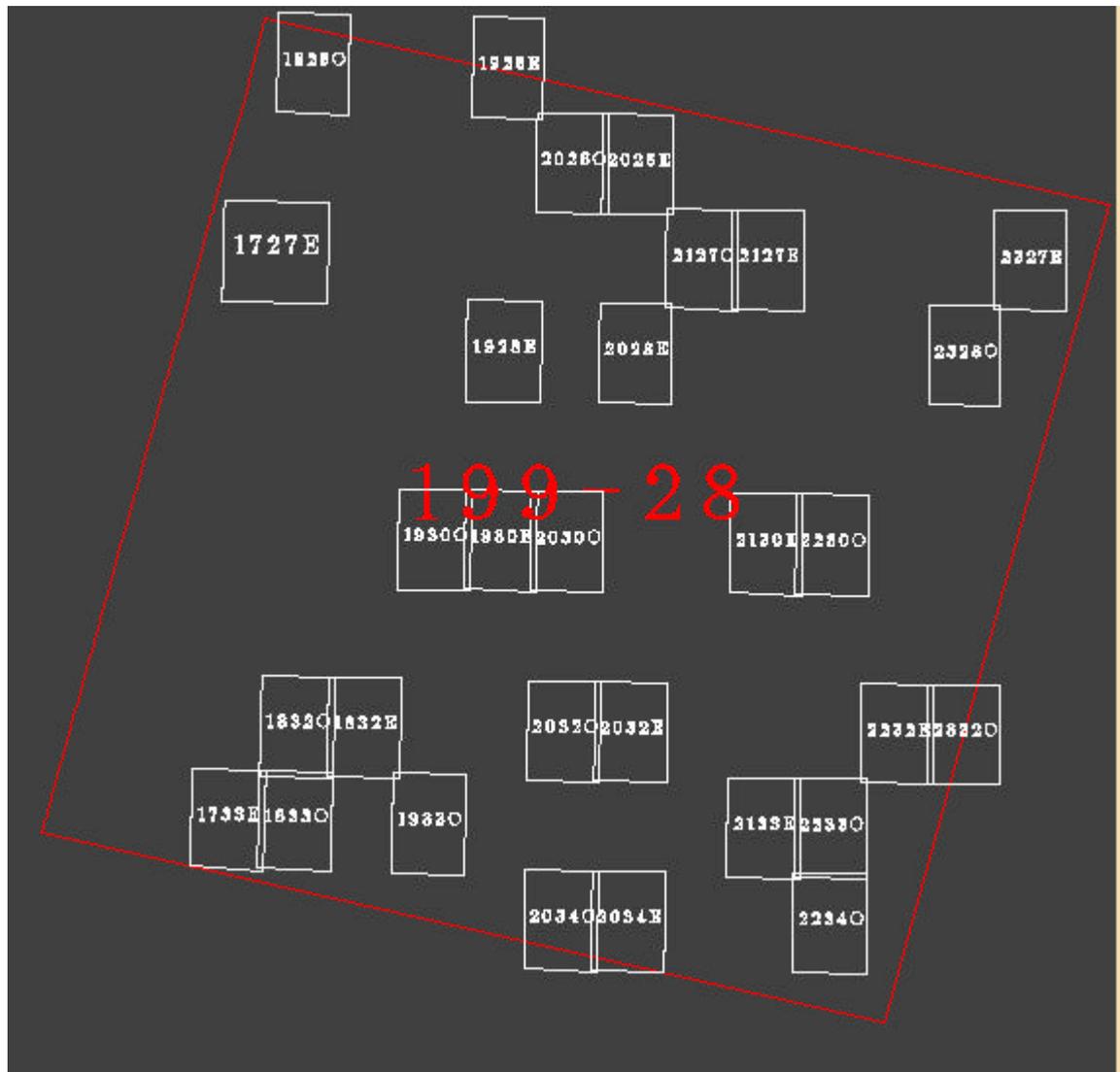


Figure 1.3.1 : Plan de position des cartes dans l'image Landsat 199-28



1.3.2 Espagne

	Scène Landsat 201-32	Cartes
Projection	UTM Zone 30	UTM Zone 30
Ellipsoïde	International Hayford 1924	International Hayford 1924
Datum	ED50	ED50
Résolution	12.5 m et 25 m	2 m

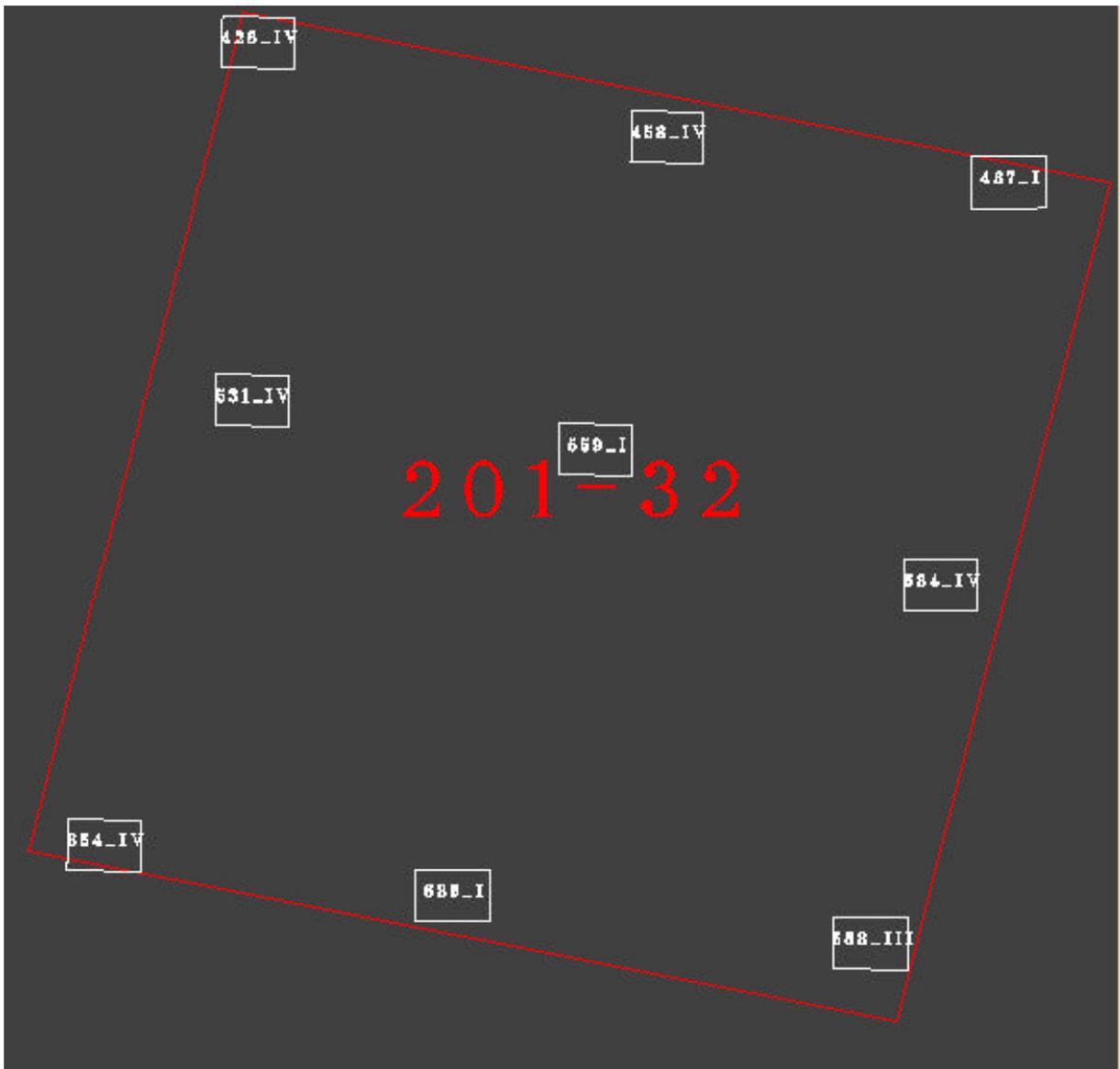


Figure 1.3.2 : Plan de position des cartes dans l'image Landsat 201-32

1.3.3. Allemagne

	Scène Landsat 193-23	Cartes
Projection	Transverse Mercator Central meridian : 12 Latitude origin : 0 False easting : 4500000 False northing : 0 Scale factor : 1	Transverse Mercator Central meridian : 12 Latitude origin : 0 False easting : 4500000 False northing : 0 Scale factor : 1
Ellipsoïde	Bessel 1841	Bessel 1841
Datum	Deutsche Hauptdreiecksnetz	Deutsche Hauptdreiecksnetz
Résolution	12.5 m et 25 m	1.25 m

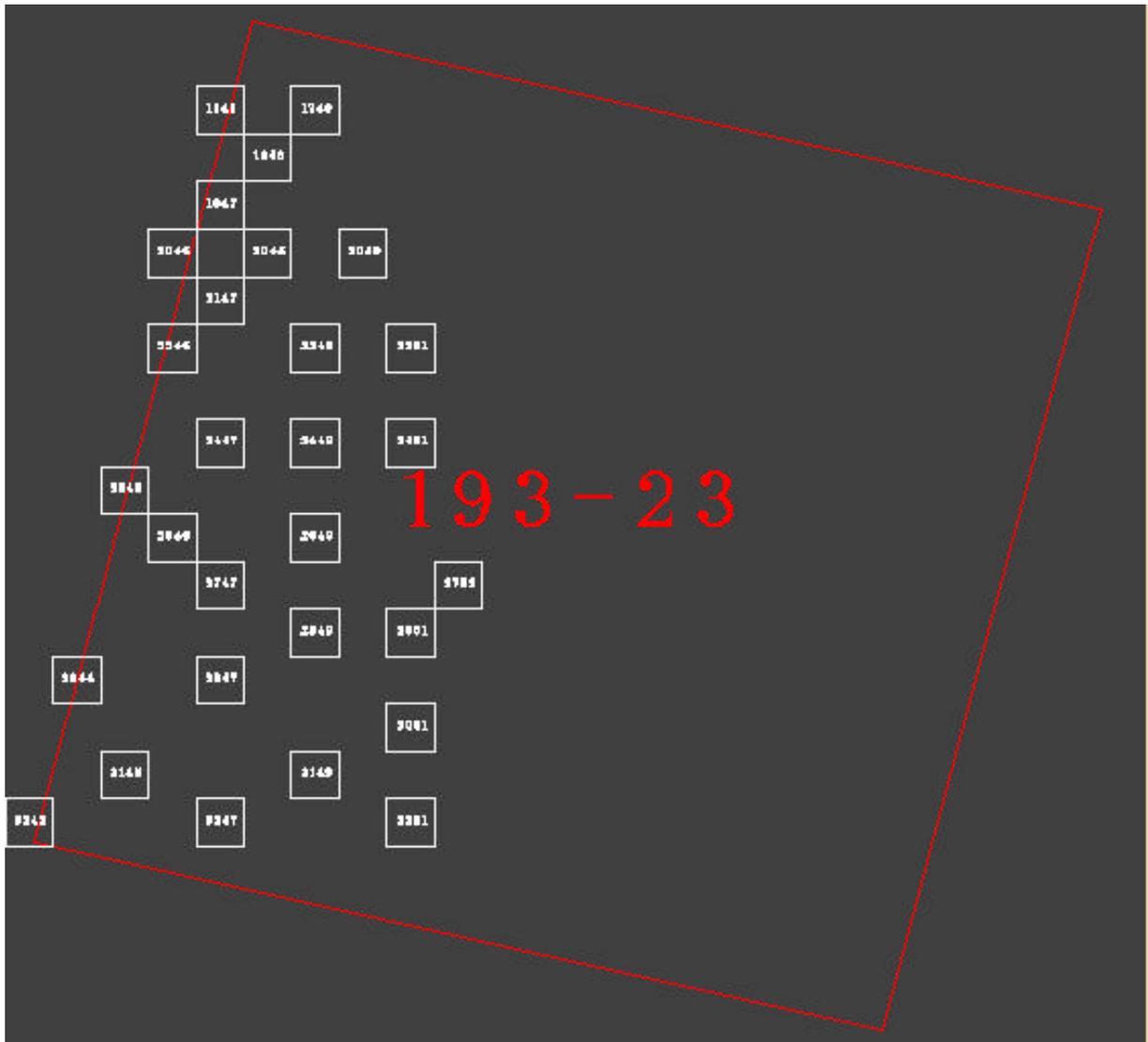


Figure 1.3.3 : Plan de position des cartes dans l'image Landsat 193-23

1.3.4. Luxembourg

	Scène Landsat 197-25	Cartes
Projection	Transverse Mercator Central meridian : 6 10 00.00 Latitude origin : 49 50 00.000 False easting : 80000 False northing : 100000 Scale factor : 1	Transverse Mercator
Ellipsoïde	International Hayford 1924	International Hayford 1924
Datum	ED50	LUREF
Résolution	12.5 m et 25 m	2 m

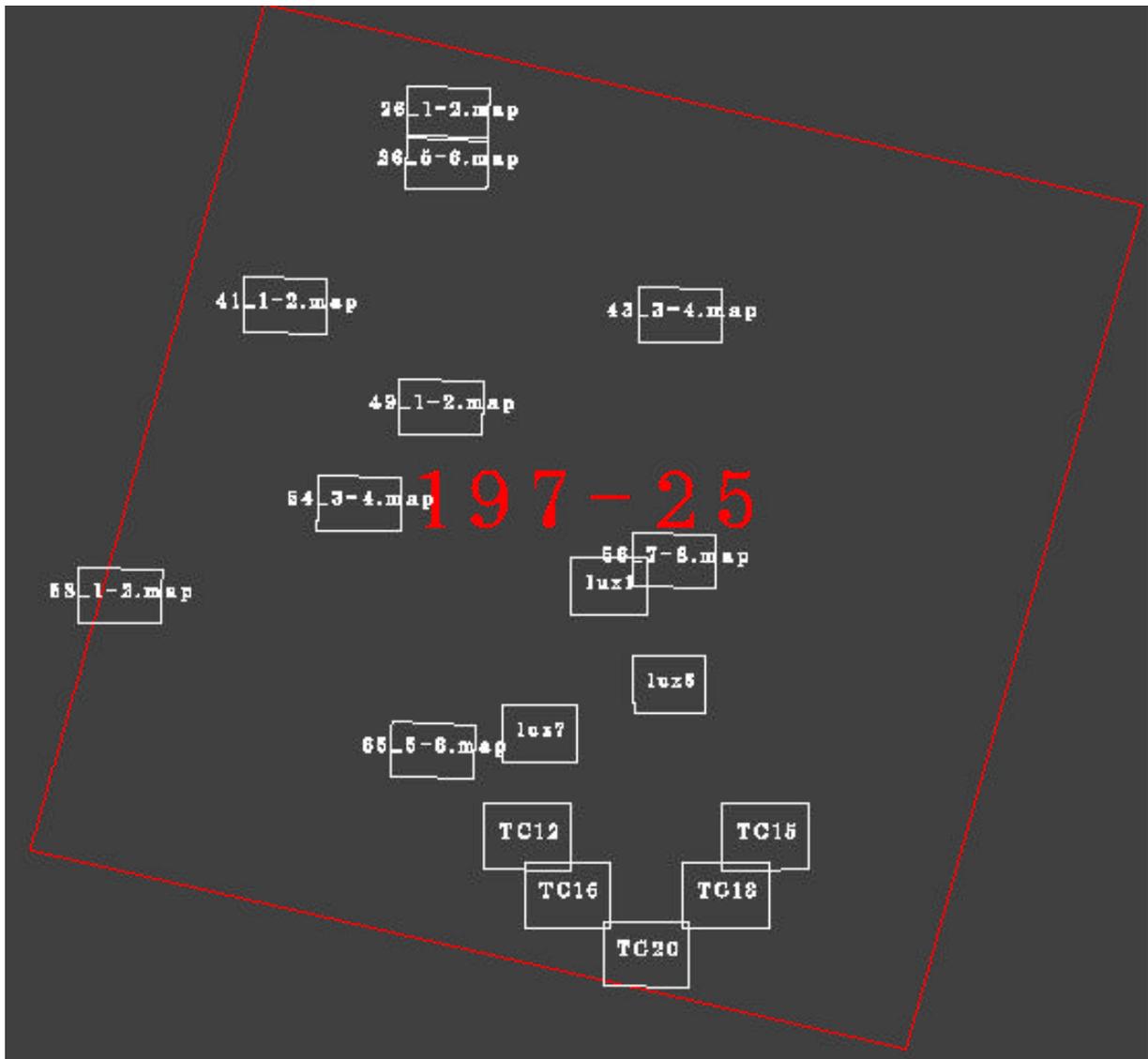


Figure 1.3.4 : Plan de position des cartes dans l'image Landsat 197-25

1.3.5. Suède

	Scène Landsat 195-15	Cartes
Projection	Transverse Mercator Central meridian : 15 48 29.8 Latitude origin : 0 False easting : 1500000 False northing : 0 Scale factor : 1	Transverse Mercator (Gauss-Krüger)
Ellipsoïde	Bessel 1841	Bessel 1841
Datum	RT90	RT90
Résolution	12.5 m et 25 m	2 m

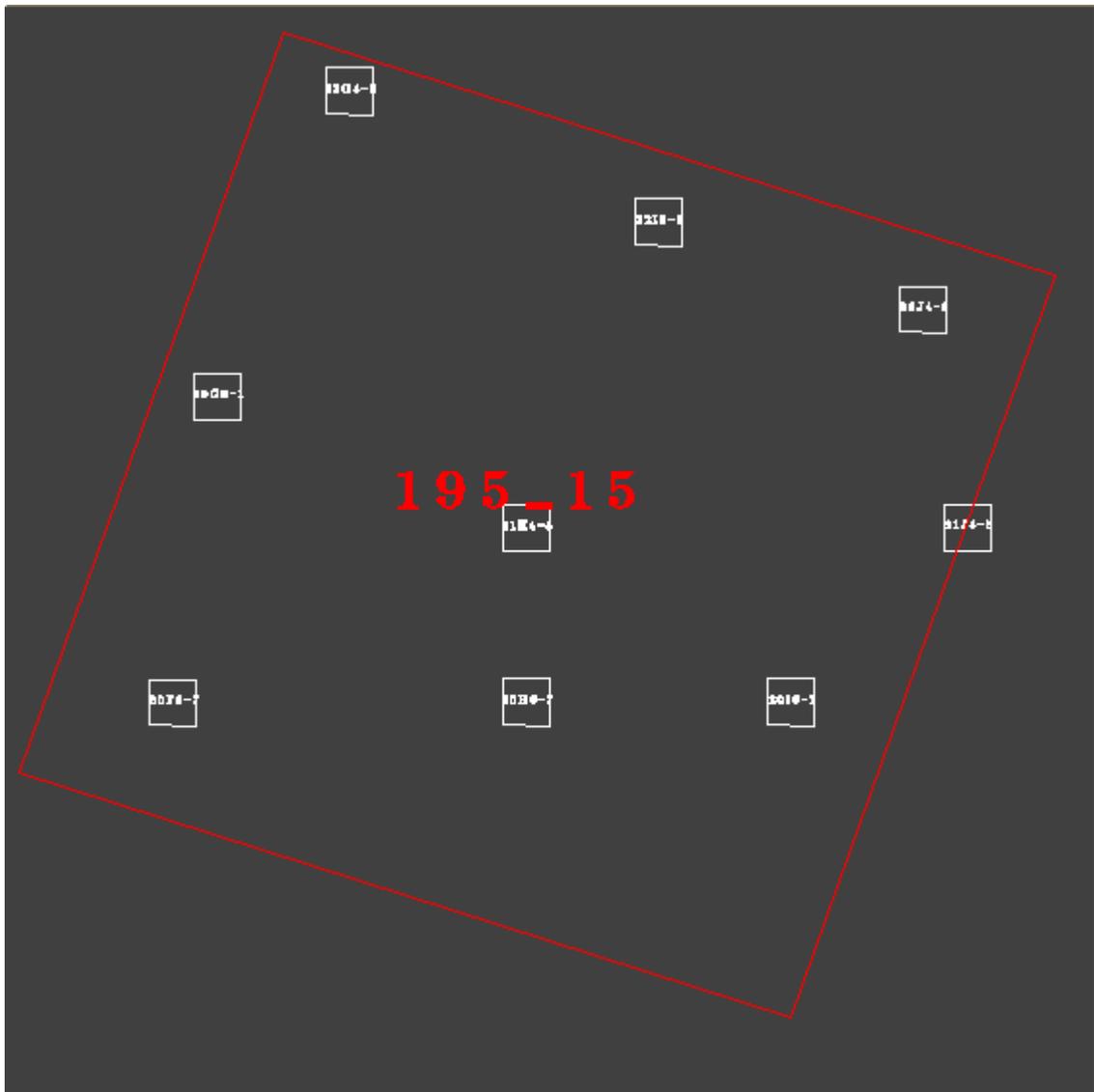


Figure 1.2.5 : Plan de position des cartes dans l'image Landsat 195-15

1.3.6. Autriche

	Scène Landsat 190-27	Cartes
Projection	Lambert Conforme Conique (LCC) Central meridian : 13° 20' Latitude origin : 47° 30' First standard parallel : 46° Second standard parallel : 49° False easting : 400000 False northing : 400000 Scale factor : 1	Transverse Mercator (Zone M28) Central meridian : 10° 20' Latitude origin : 0° False easting : 150000 False northing : -5000000 Scale factor : 1 Transverse Mercator (Zone M31) Central meridian : 13° 20' Latitude origin : 0° False easting : 450000 False northing : -5000000 Scale factor : 1 Transverse Mercator (Zone M34) Central meridian : 16° 20' Latitude origin : 0° False easting : 750000 False northing : -5000000 Scale factor : 1
Ellipsoïde	Bessel 1841	Bessel 1841
Datum	Hermannskogel	Hermannskogel
Résolution	12.5 m et 25 m	3 m

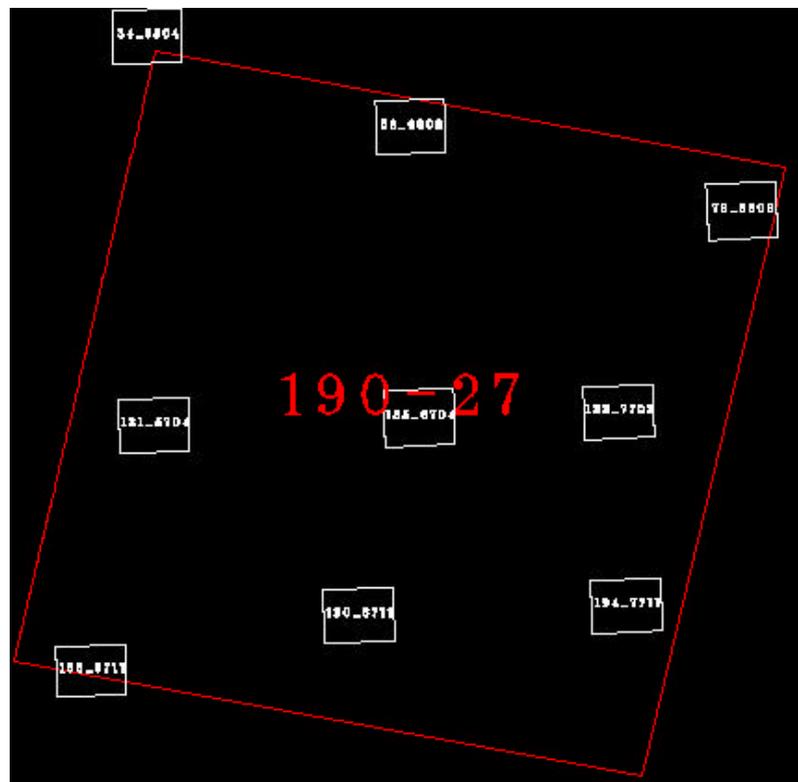


Figure 1.2.6 : Plan de position des cartes dans l'image Landsat 190-27

1.3.7. Danemark

	Scène Landsat 195-22	Cartes
Projection	Universal Transverse Mercator (UTM) Zone 32 False easting : 500000 False northing : 0 Scale factor : 1	UTM Zone 32 False easting : 500000 False northing : 0 Scale factor : 1
Ellipsoïde	International Hayford 1924	Bessel 1841
Datum	ED 50	ED 50
Résolution	12.5 m et 25 m	2 m

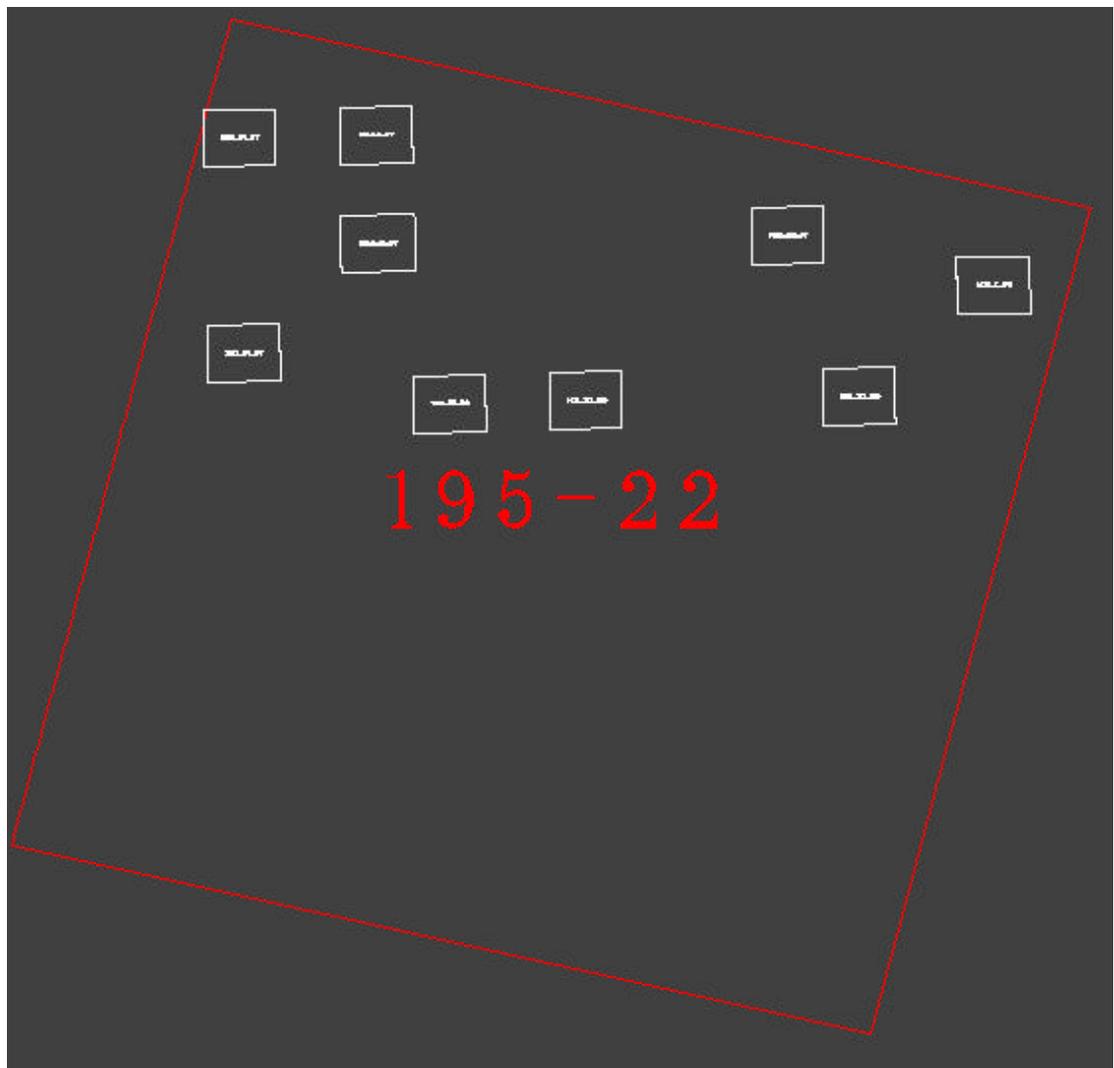


Figure 1.2.7 : Plan de position des cartes dans l'image Landsat 195-22

1.3.8. Finlande

	Scène Landsat 188-00	Cartes
Projection	Transverse Mercator Central meridian : 24 et 27 Latitude origin : 0 False easting : 250000 et 3500000 False northing : 0000 Scale factor : 1	Transverse Mercator Central meridian : 24 et 27 Latitude origin : 0 False easting : 250000 et 3500000 False northing : 0000 Scale factor : 1
Ellipsoïde	International Hayford 1924	International Hayford 1909
Datum	Kartastokoordinaattijärjestelmä (KKJ)	KKJ
Résolution	12.5 m et 25 m	2 m

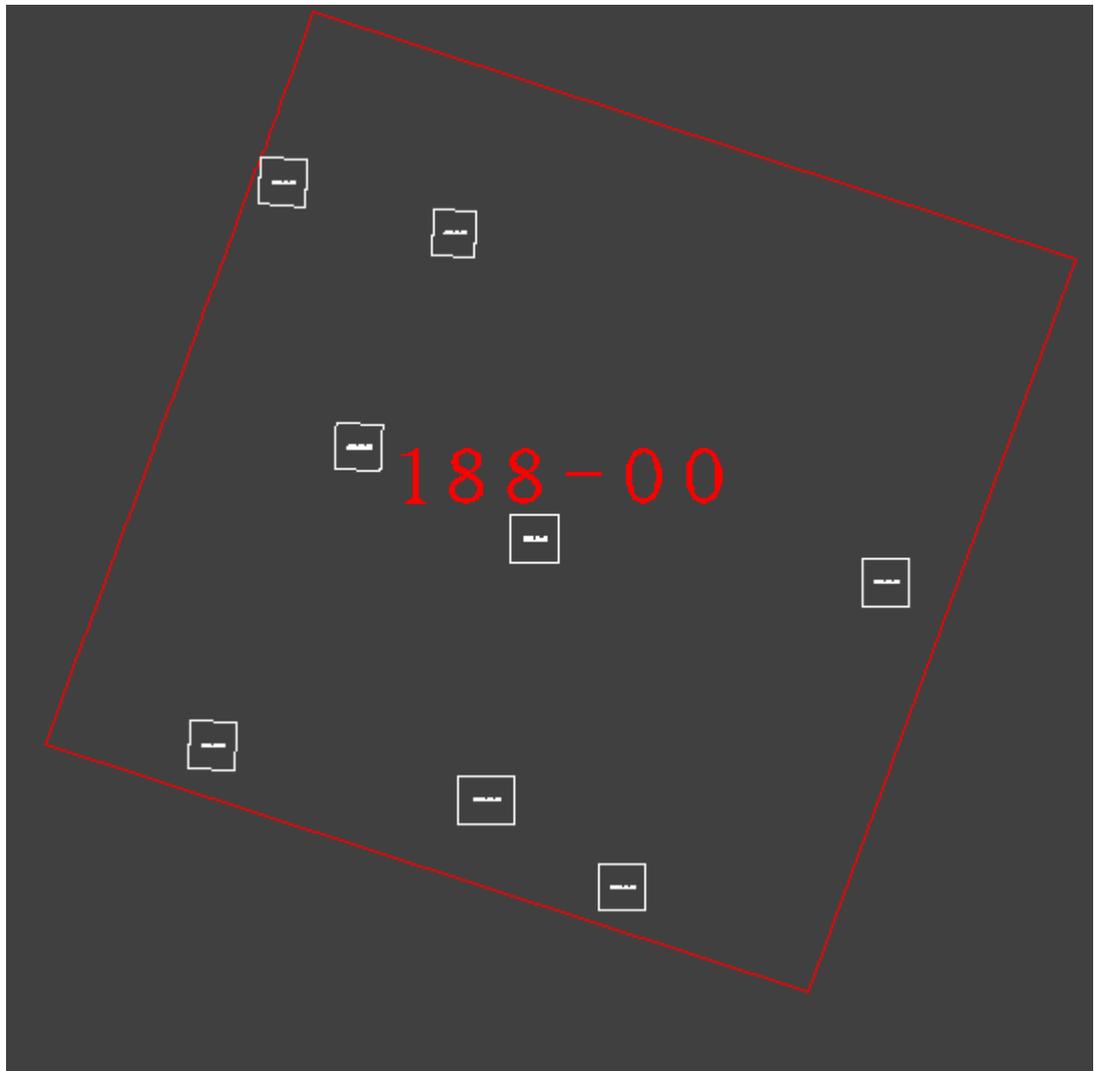


Figure 1.2.8 : Plan de position des cartes dans l'image Landsat 188-00

1.3.9. Pays-Bas

	Scène Landsat 197-23	Cartes
Projection	Oblique Stereographic Central meridian : 5 23 15.5 Latitude origin : 52 09 22.178 False easting : 155000 False northing : 463000 Scale factor : 1	Oblique Stereographic Central meridian : 5 23 15.5 Latitude origin : 52 09 22.178 False easting : 155000 False northing : 463000 Scale factor : 1
Ellipsoïde	Bessel 1841	Bessel 1841
Datum	Amersfoort	Amersfoort
Résolution	12.5 m et 25 m	2 m

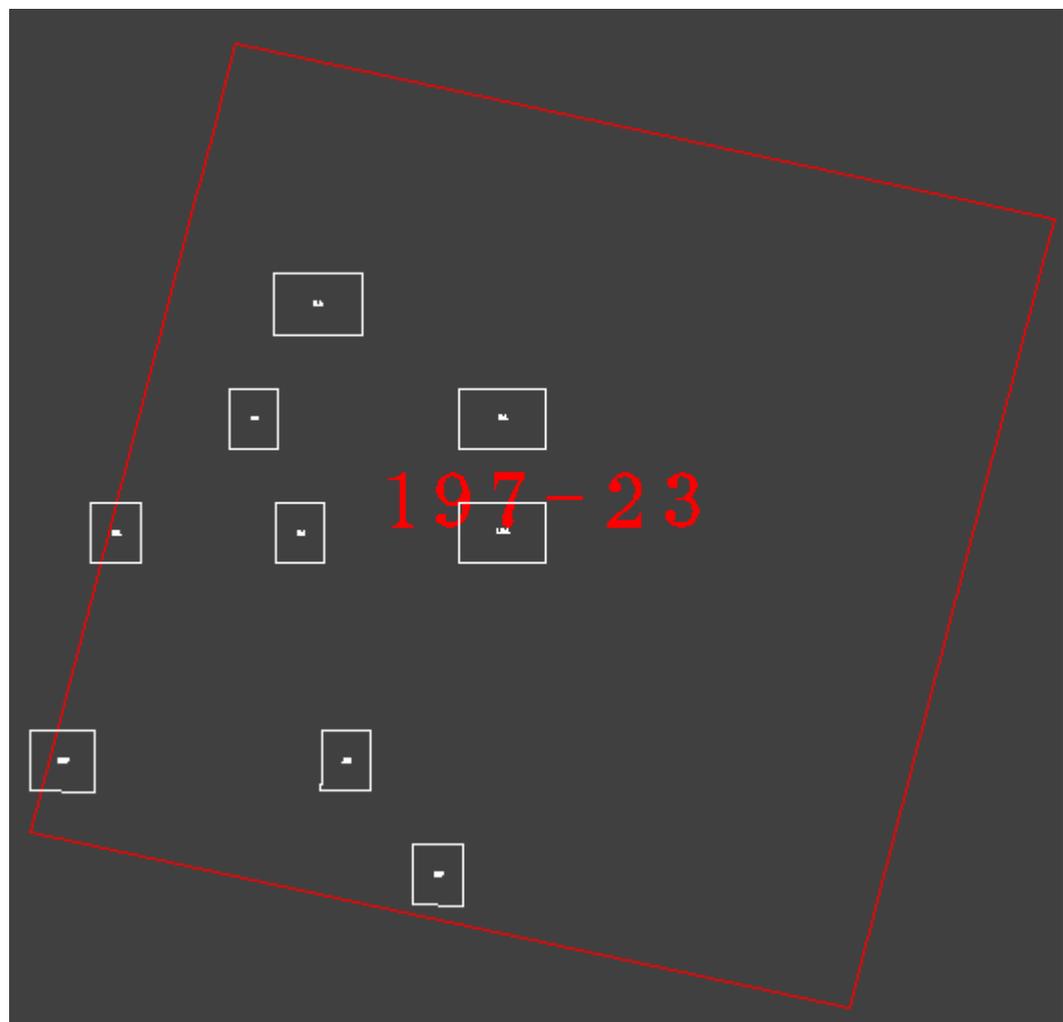


Figure 1.2.9 : Plan de position des cartes dans l'image Landsat 197-23

1.3.10. Portugal

	Scène Landsat 203-33	Cartes
Projection	Transverse Mercator Central meridian : 8 07 54.862 W Latitude origin : 39 40 00.00 False easting : 200000 False northing : 300000 Scale factor : 1	Transverse Mercator Central meridian : 8 07 54.862 W Latitude origin : 39 40 00.00 False easting : 200000 False northing : 300000 Scale factor : 1
Ellipsoïde	International Hayford 1924	International Hayford 1924
Datum	Lisbon	Lisbon
Résolution	12.5 m et 25 m	2 m



Figure 1.2.10 : Plan de position des cartes dans l'image Landsat 203-33



1.3.11. Belgique

	Scène Landsat 197-25	Cartes
Projection	Lambert Conforme Conique (LCC) Central meridian : 4 22 2.952 E Latitude origin : 90 First standard parallel : 49 50 0.00204 Second standard paralel : 51 10 0.00204 False easting : 150000.01300 False northing : 5400088.438 Scale factor : 1	Lambert Conforme Conique Central meridian : 4 22 2.952 E Latitude origin : 90 First standard paralel : 49 50 0.00204 Second standard paralel : 51 10 0.00204 False easting : 150000.01300 False northing : 5400088.438 Scale factor : 1 UTM zone 32 False easting : 500000 False northing : 0 UTM Zone 31 False easting : 500000 False northing : 0
Ellipsoïde	International Hayford 1924	International Hayford 1924 International Hayford 1909
Datum	Belgian 72	Belgian 72, ED 50
Résolution	12.5 m et 25 m	2 m

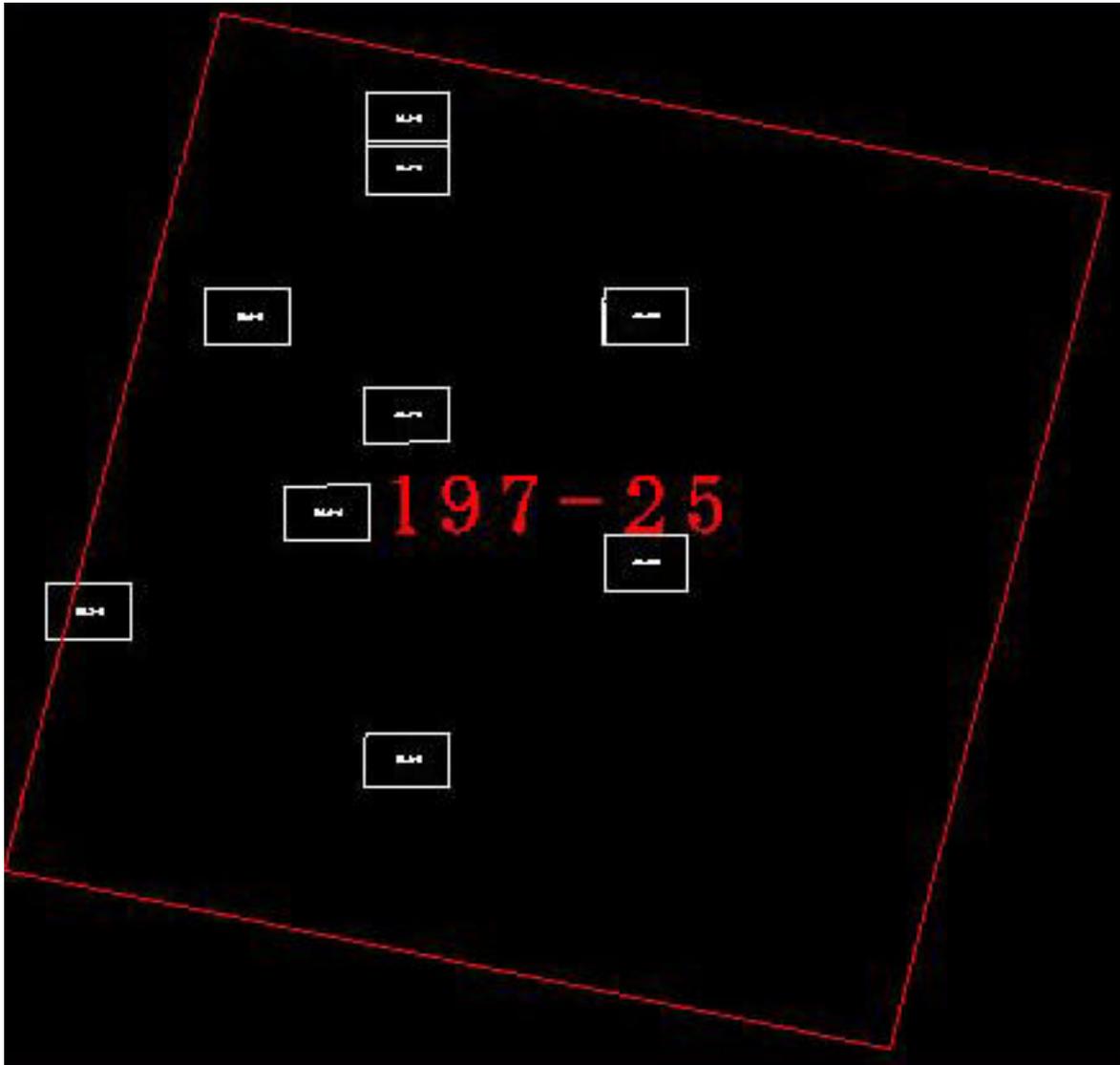


Figure 1.2.11 : Plan de position des cartes dans l'image Landsat 197-25



GAEL
Consultant

**Contrôle Qualité des scènes Landsat 7
Image 2000**

Rapport Technique

référence GAEL-P130-RPT-001

édition 7 révision 1

date 13/03/2002

page 27 de 85

1.3.12. Ireland

	Scène Landsat 206-23	Cartes
Projection	Transverse Mercator Central meridian : 08 00 00 W Latitude origin : 53 30 00 N False easting : 200000 False northing : 250000 Scale factor : 1.000035	Transverse Marcator Central meridian : 08 00 00 W Latitude origin : 53 30 00 N False easting : 200000 False northing : 250000 Scale factor : 1.000035
Ellipsoïde	Airy Modified	Airy Modified
Datum	Ireland 65	Ireland 65
Résolution	12.5 m et 25 m	2 m

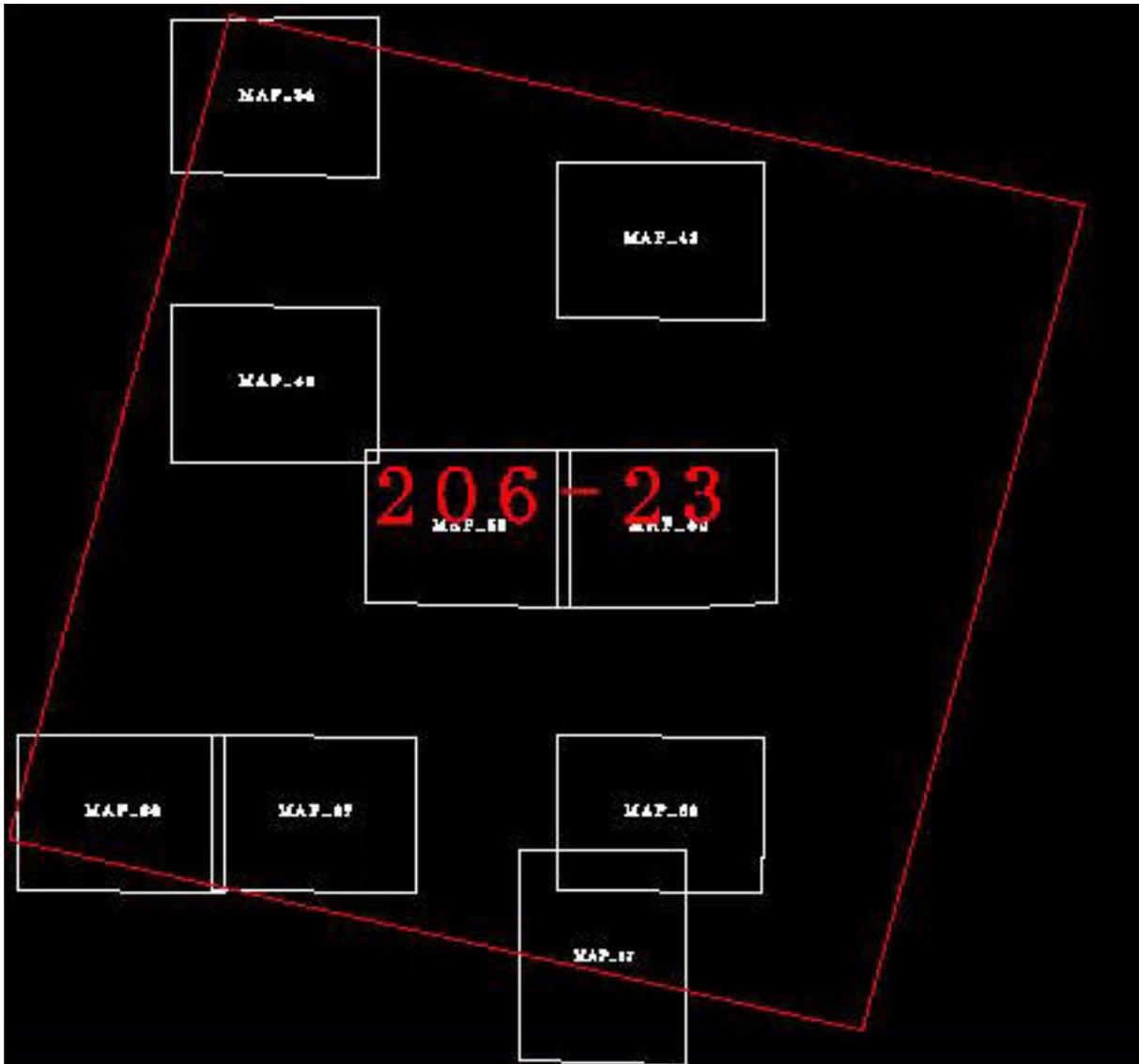


Figure 1.2.12 : Plan de position des cartes dans l'image Landsat 206-23

1.3.13 UK

	Scène Landsat 201-24	Cartes
Projection	Transverse Mercator Central meridian : 02 00 00 W Latitude origin : 49 00 00 N False easting : 400000 False northing : -100000 Scale factor : 0.999601	Transverse Mercator Central meridian : 02 00 00 W Latitude origin : 49 00 00 N False easting : 400000 False northing : -100000 Scale factor : 0.999601
Ellipsoïde	Airy	Airy
Datum	OSGB 1936	OSGB 1936
Résolution	12.5 m et 25 m	2 m

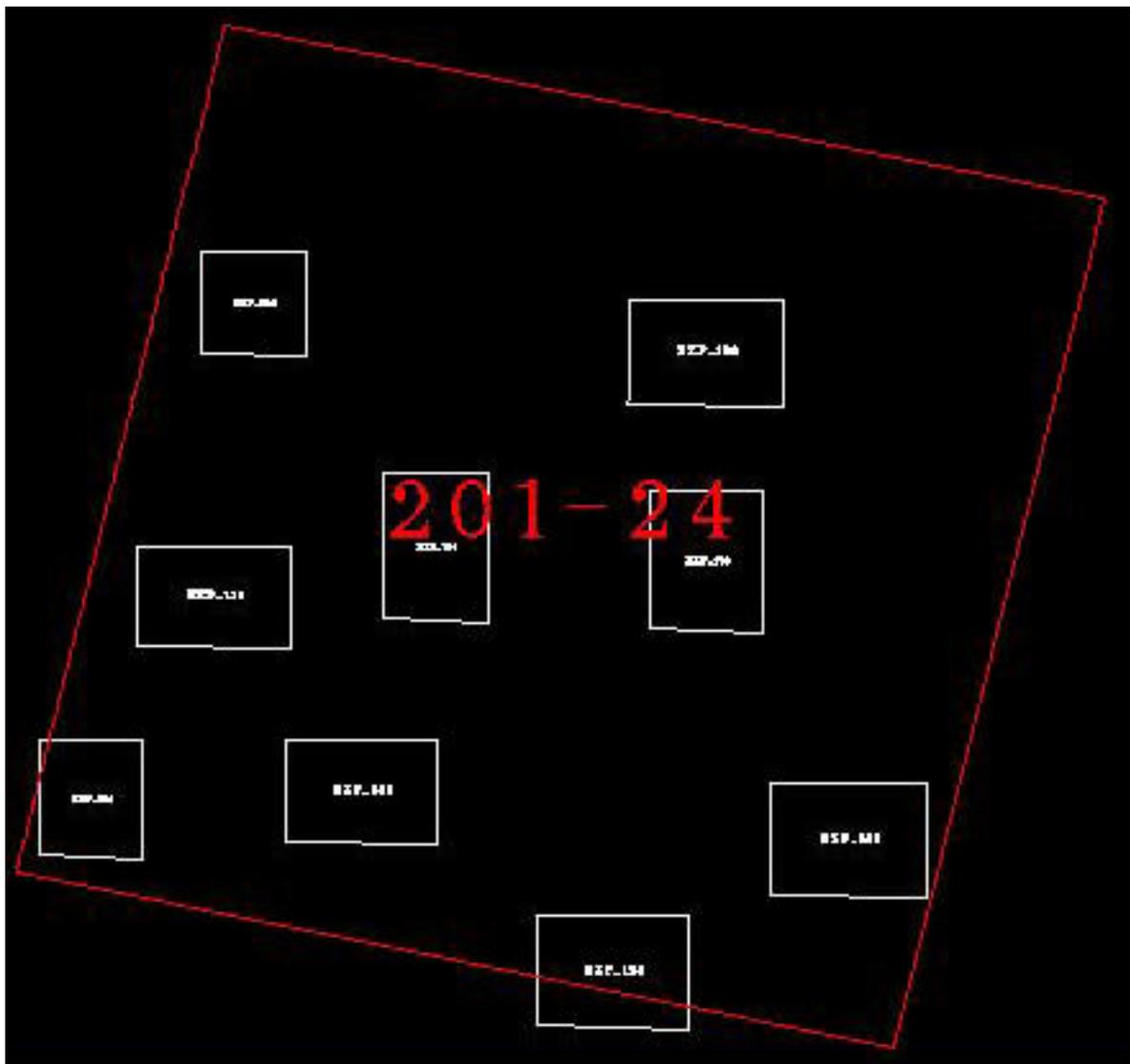


Figure 1.2.13 : Plan de position des cartes dans l'image Landsat 201-24

1.3.14 Italie

	Scène Landsat 192-30	Cartes
Projection	UTM zone 32	UTM 32
Ellipsoïde	WGS 84	Hayford International 1909
Datum	WGS 84	European datum (ED) 1950
Résolution	12.5 et 25 m	2 m

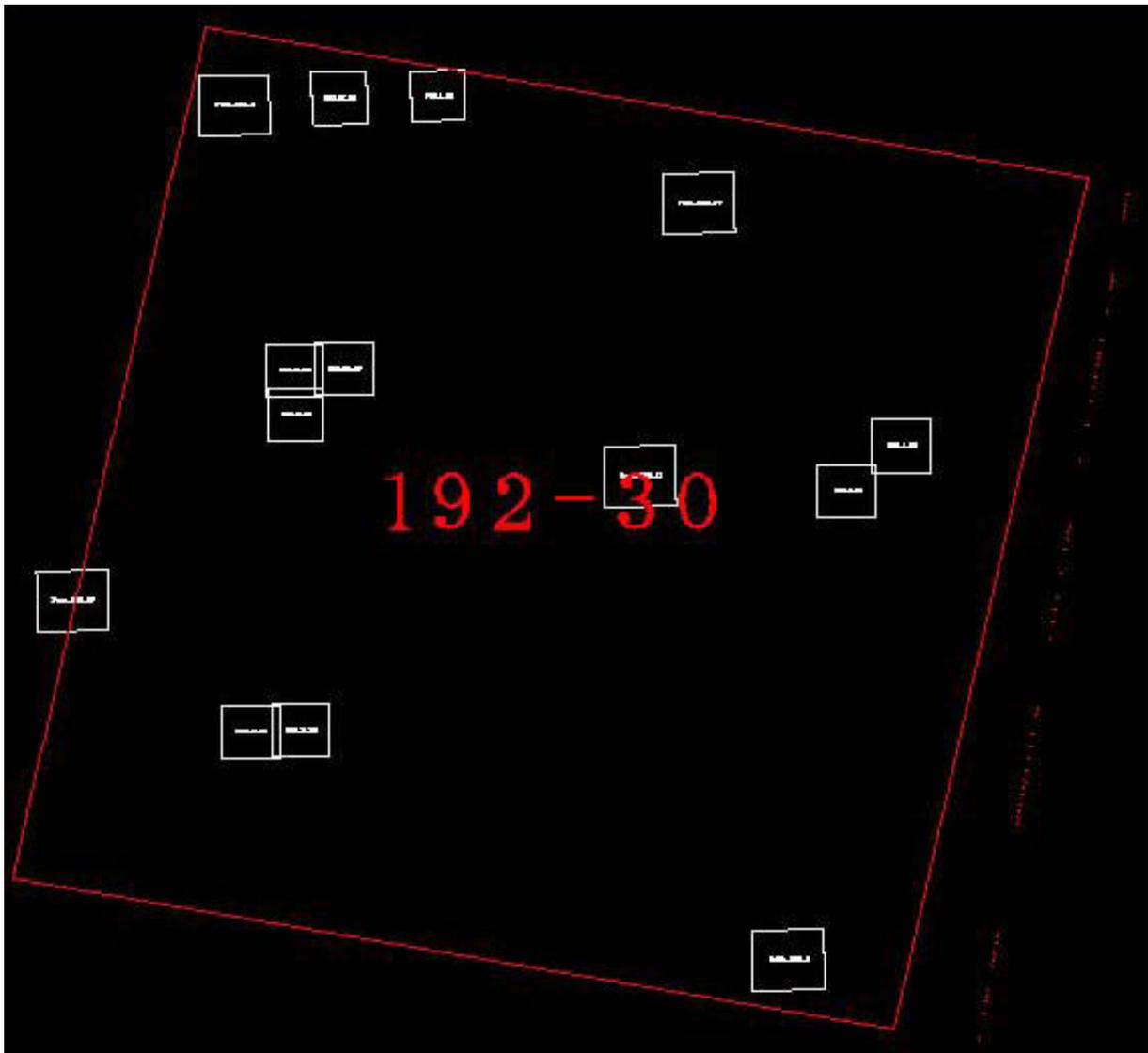


Figure 1.2.14 : Plan de position des cartes dans l'image 192-30

2 CONTROLE DES CARTES PAR NAVIGATION GPS

2.1 Acquisition des données GPS

L'acquisition des données GPS a été confiée à la société TOPOSAT dirigée par Monsieur Bertrand BOULLARD.

Faisant suite à une réunion de préparation de la mission tenue avec TOPOSAT le 5 mars 2001 dans les locaux de GAEL Consultant, Bertrand BOULLARD, ingénieur topographe, a réalisé la navigation GPS les 11 et 12 mars 2001.

Cette section contient le texte du rapport fourni par TOPOSAT le 17 mars 2001

2.1.1. Objet de la mission.

La Commission Européenne (Centre Commun de Recherches d'Ispra) a confié à la société GAEL Consultant une mission de vérification de la qualité géométrique d'images Landsat orthorectifiées. La méthode proposée est basée sur une comparaison entre ces images et des cartes IGN existantes au 1/25000.

La validité de la méthode repose sur la qualité géométrique de ces cartes. Il est donc apparu indispensable de quantifier cette qualité sur le secteur concerné. Ceci doit être réalisé par comparaison des positions « papier » de points ou lignes identifiables de la carte avec leurs homologues « terrain » dont la position a été relevée par GPS.

Cette détermination terrain nous a été confiée par la société GAEL Consultant et fait l'objet de notre mission. Il nous a été demandé de le réaliser au moyen d'une navigation automobile sur une partie des cartes concernées avec enregistrement des positions GPS recueillies (trajectographie).

2.1.2 Organisation de la mission

Date, Lieu

Cette navigation a été effectuée les dimanche 11 et lundi 12 mars 2001.

La localisation de cette navigation a été choisie en fonction des cartes au 1/25000 disponibles chez GAEL Consultant au moment de l'étude. Pour un meilleur repérage, ces cartes ont été reportées sur un fond de plan général de la France. Nous avons utilisé pour cela le logiciel grand public « MS Autoroute Express 2001 » qui permet également le suivi d'une position GPS sur PC portable embarqué.

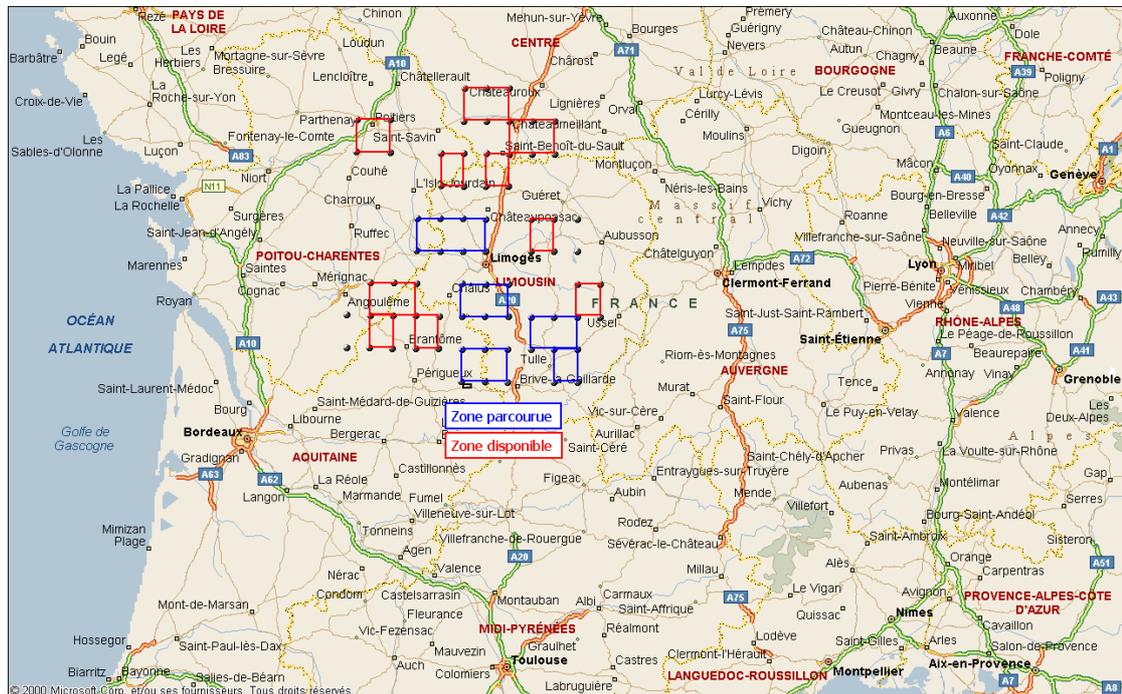


Figure 2.1.2 - Localisation des cartes IGN

Il a été choisi de privilégier le coté sud est de la zone, car il présente le plus de dénivelée.

Personnel, matériel.

La mission a été réalisée par Bertrand BOULLARD, ingénieur géomètre et gérant de la société TopoSat®. La navigation a été suivie par un GPS OmniSTAR 3200 fonctionnant en mode DGPS. Les données (chaîne NMEA) ont été enregistrées directement sur PC Portable. Le récepteur a été paramétré pour ne sortir que des positions GPS corrigées.

2.1.3 Navigation et positions collectées.

Méthode

L'antenne GPS a été installée (support magnétique) sur le toit de la voiture comme le montre la photo ci-dessous :



Figure 2.1.3.a - Antenne GPS

La distance Antenne / Bord de route a été maintenu constante (visuellement) à 1m80 à plus ou moins 0.5 m.

D'un commun accord avec la société GAEL Consultant, il a été décidé d'opter pour une navigation lente le premier jour, sur les 3 cartes les plus au Sud Est, permettant de marquer au mieux les carrefours, et d'une navigation plus rapide le jour suivant pour parcourir une zone plus étendue.

En navigation d'approche, la position GPS était suivie sur « MS Autoroute Express 2001 ». Sur zone, les positions GPS étaient collectées par Hyperterminal.

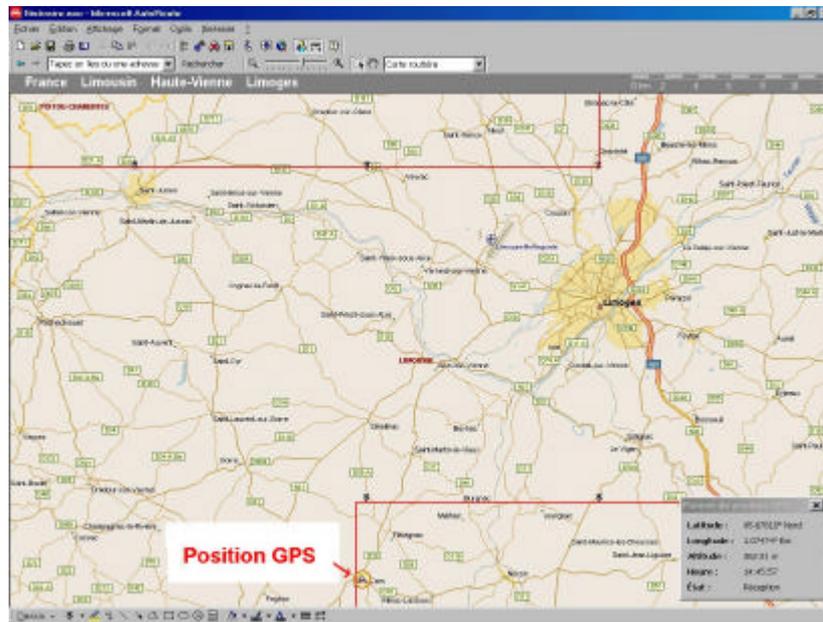


Figure 2.1.3.b- Suivi de la position GPS en approche

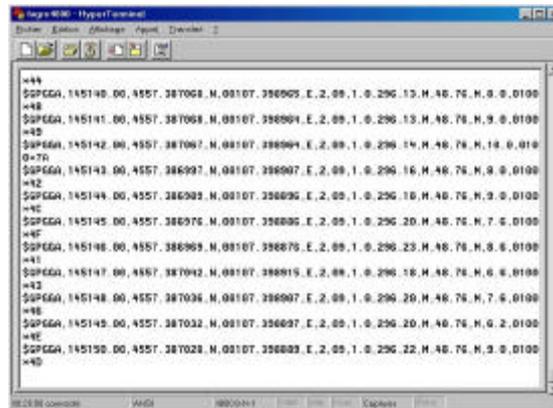


Figure 2.1.3.c - Enregistrement des positions GPS par hyperterminal

Chaîne NMEA

C'est un message ASCII au format standardisé (voir présentation en fin de rapport). Nous avons utilisé le message type GPWGA :

\$GPWGA,143233.00,4555.130333,N,00113.729271,E,2,08,1.2, ,M,48.78,M,11.2,0100*7A

- 143233.00 : heure de la mesure, exprimée en seconde GPS (0 au dimanche à 0 H)
- 4555.130333 : latitude (45 degrés et 55.130333 minutes décimales)
- N : latitude Nord
- 00113.729271 : longitude (1 degré et 13.729271 minutes décimales)
- E : longitude Est
- 2 : position DGPS (1 pour position non corrigée)

429.77	: altitude MSL (Mean Sea Level)
M	: unité d'altitude (mètre)
48.78	: Ondulation du géoïde (H WGS84 – H MSL)
M	: unité d'ondulation (mètre)
11.2	: âge de la dernière correction GPS (en secondes)
0100*7A	: terme de contrôle de validité de chaîne

Trajets suivis

Pour nous rendre sur site, depuis Paris, et effectuer ces trajets nous avons parcouru approximativement une distance totale de 1500 km. La partie utile est d'environ :

- 120 km sur la première journée, en 5 heures, soit une moyenne approximative en opération de 24 km/h
- 160 km sur la seconde journée, en 5 heures également, soit une moyenne approximative en opération de 32 km/h

Si les deux journées semblent équivalentes, avec une meilleure productivité pour la seconde journée, l'analyse des résultats montre cependant que la première a été nettement plus efficace.

En effet, lors de ce premier jour, nous nous sommes attachés à « marquer » au mieux les carrefours, en prenant nombre de voies communales sur quelques dizaines de mètre puis en rebroussant chemin selon le schéma suivant :

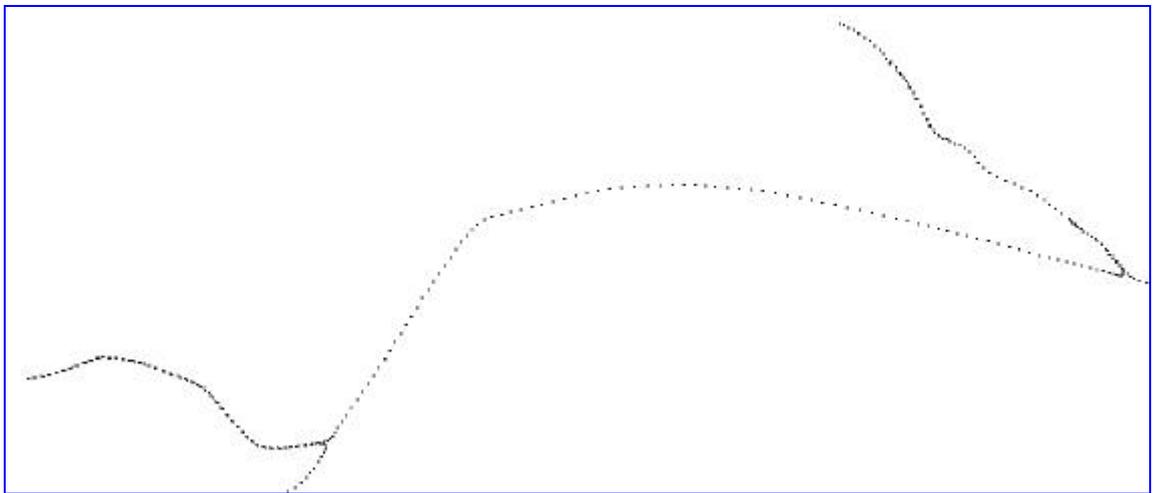


Figure 2.1.3.d - détail d'un carrefour

Toutes ces intersections sont bien repérables sur carte et constituent des points de contrôle indiscutables.

Lors de la seconde journée, et malgré l'impression d'avoir continuellement été ballotté d'un virage à l'autre, le nombre de points utiles a été nettement plus faible.

Définition de l'axe médian de la voie

Notre configuration matérielle avait été organisée pour définir au mieux le bord de route. Il s'avère que les sur largeurs constatées sur la carte IGN – rendues nécessaires pour une catégorisation des voies,



comme par l'échelle de restitution – rendent difficilement exploitable cette donnée et qu'il vaut mieux définir l'axe de route. Cela peut être obtenu de plusieurs manières, fonction de la largeur de la route :

- Voie large (plus de 5 mètres, correspondant à un croisement facile de deux véhicules): mesure de la largeur de la voie (au mètre ruban ou par GPS « stop and go »), mais cela ne peut être que des mesures très ponctuelles sauf à ralentir la navigation dans des proportions importantes. Il paraît plus rapide de faire un aller retour sur un ou quelques tronçons de cette voie pour visualiser au bureau sa largeur. Cette seconde méthode présente de plus l'avantage d'être indépendante de la position de l'antenne sur le toit.
- Voie étroite (de l'ordre de trois mètres) : Ce type de voie correspond à des dessertes individuelles ou à des chemins communaux. Nous ne les avons empruntés que sur quelques centaines de mètres en effectuant un aller retour pour revenir à notre trajet principal. La circulation s'effectue de fait en axe de voie. Avec l'antenne positionnée au centre du toit, il y a superposition de la trace aller et de la trace retour sur cet axe et si elle est sur un des cotés, la médiane des deux traces définit l'axe comme sur les voies larges.
- Voie moyenne : ce sont des voiries secondaires, peu circulées sauf à proximité des grandes villes. Il est facile d'y rouler en suivant au mieux l'axe de route, sauf lors d'un croisement de véhicule. Compte tenu du pas de numérisation de la carte (pixel à deux mètres) et de la précision de la mesure elle-même (de l'ordre du mètre), la définition de l'axe obtenue par la trace directe en roulant avec l'antenne à gauche de la voiture (pays avec conduite à droite) nous semble suffisante.

Conversion Position WGS84 en Lambert 2 étendu

Une des difficultés majeures de l'utilisation du GPS en précision métrique (ou mieux) est la transformation de coordonnées entre les positions géographiques WGS84 et les valeurs projetées sur le système géodésique local.

Dans la plupart des pays européens, des formules générales permettent d'effectuer cette transformation avec une exactitude variant de cinq à dix mètres sur l'ensemble du pays. Ceci est insuffisant pour le travail présenté. Il faut alors effectuer des transformations avec d'autres moyens, qui varie d'un pays à l'autre mais que l'on peut classer ainsi :

1. Aucun paramètres régionaux existant: l'observation de points géodésiques sur la zone est indispensable.
2. Des paramètres régionaux existent : il convient de s'assurer auprès des services locaux de la précision théorique de ces transformations avant de les appliquer.
3. Des méthodes plus fines de transformation ont été développées. Une transformation directe est possible.

En France, l'Institut Géographique National a produit et publié une grille de transformation, constituée d'un ensemble de nœuds espacés de dix minutes en latitude et en longitude. Il faut appliquer point par point une transformation à trois paramètres (datum shift) extrait de cette grille par interpolation bilinéaire.

Extrait de grille :

GR3D 002024 024 20370201

GR3D1 -5.5000 10.0000 41.0000 52.0000 .1000 .1000

GR3D2 INTERPOLATION BILINEAIRE

GR3D3 PREC CM 01:5 02:10 03:20 04:50 99>100

...

...

	(longitude)	(latitude)	DX	DY	DZ	incertitude	N° feuille IGN
00002	600000000	45.300000000	167.110	60.801	319.127	01	1834
00002	600000000	45.400000000	167.159	60.776	319.178	01	1833
00002	600000000	45.500000000	167.223	60.766	319.244	01	1833
00002	600000000	45.600000000	167.288	60.784	319.311	01	1832
00002	600000000	45.700000000	167.338	60.826	319.363	01	1832

...

Notre logiciel utilise cette grille pour les transformations.

2.1.4 Conclusions

Le contrôle d'une carte par navigation automobile avec enregistrement des positions GPS est possible. Il est cependant conseillé de limiter la zone de contrôle journalière à l'équivalent de deux ou trois feuilles IGN au 1/25000 de façon à permettre un « marquage » des points particuliers (carrefours, etc.). Dans ces conditions un kilométrage de 100 à 120 km par jour peut être effectué.

La prise en compte des largeurs de voies est indispensable sur les voies larges. La méthode la plus rapide consiste à effectuer un aller retour sur une partie de cette voie. Sur des voies moyennes ou étroites, le choix d'une position excentrée de l'antenne vers l'axe de la route (pays à conduite à droite) semble suffisant.

Une connaissance détaillée des formules de transformations de coordonnées applicables dans le pays, et leur niveau de précision est indispensable.

2.2 Contrôle des cartes

Les cartes ont été numérisées par un scanner couleur à entraînement Colortrac 340GX+ à une résolution de 400 dpi. La précision nominale de ce scanner est de 0,1% en X et Y (notice constructeur).

Les images numériques (*cartes brutes*) sont ensuite géoréférencées par une méthode classique décrite en section 2.2.1 et projetées dans leur *projection native* (c'est-à-dire celle pour laquelle les axes coordonnés rectangulaires sont rigoureusement à angle droit et parallèles aux bords de la carte).

Les données de navigation GPS sont utilisées pour contrôler la précision des cartes selon la méthode décrite en section 2.2.2 et qui permet de séparer et mesurer :

- les erreurs de numérisation, et
- les erreurs internes à la carte.

2.2.1. Méthode de géoréférencement et de géocodage des cartes

Géoréférencement

Les *points d'appui* (ou Ground Reference Points, ou GRPs) à partir desquels un modèle de déformation sera calculé, sont saisis à partir des cartes en repérant les croix de la grille de carroyage (voir figure 2.2.1.a). Les légendes fournissent la valeur des coordonnées de ces points (dans la figure ces légendes exprimées en kilomètres pour le northing/easting de la projection Lambert III sont entourées en bleu)

Les croix de la grille de carroyage ne sont pas toujours présentes. Elles peuvent avoir été recouvertes par une information issue d'une autre couche thématique (généralement la toponymie).

L'application GEOREF (voir figure 2.2.1.b) développée par GAEL Consultant est utilisée pour la saisie de ces points d'appui. Un modèle de déformation peut être sélectionné et les erreurs de positionnement (voir formules en section 1.2.1) sont immédiatement reportées ainsi que l'erreur quadratique moyenne. Tous ces éléments seront rassemblés dans un rapport tel que ceux figurant en annexe (section 4).

La carte devant être reprojétée dans sa projection native, le modèle de déformation sélectionné est un polynôme de degré 1 (bilinéaire).

Pour chaque carte, au moins 25 points d'appui sont extraits, régulièrement espacés et répartis sur toute la carte.

Le champ des vecteurs d'erreur (voir figure 2.2.1.b) permet d'apprécier les déformations produites par un scanner à entraînement. Dans l'exemple illustré en figure 2.2.1.b, on remarque en particulier l'étirement provoqué par les galets en introduisant la carte par le côté Ouest, puis la compression progressive Nord-Sud subie au cours de la numérisation.

Géocodage

A partir des points d'appui saisis et en utilisant le modèle de déformation sélectionné, l'application MAPPER réalise le ré-échantillonnage des données dans la projection native. La méthode d'interpolation utilisée dans le cas des cartes est le plus proche voisin.

Puisque les mêmes fonctions et formules sont utilisées dans l'application de géoréférencement (GEOREF) et celle de mise en projection (MAPPER), on ne reportera en annexe que les rapports issus de GEOREF.

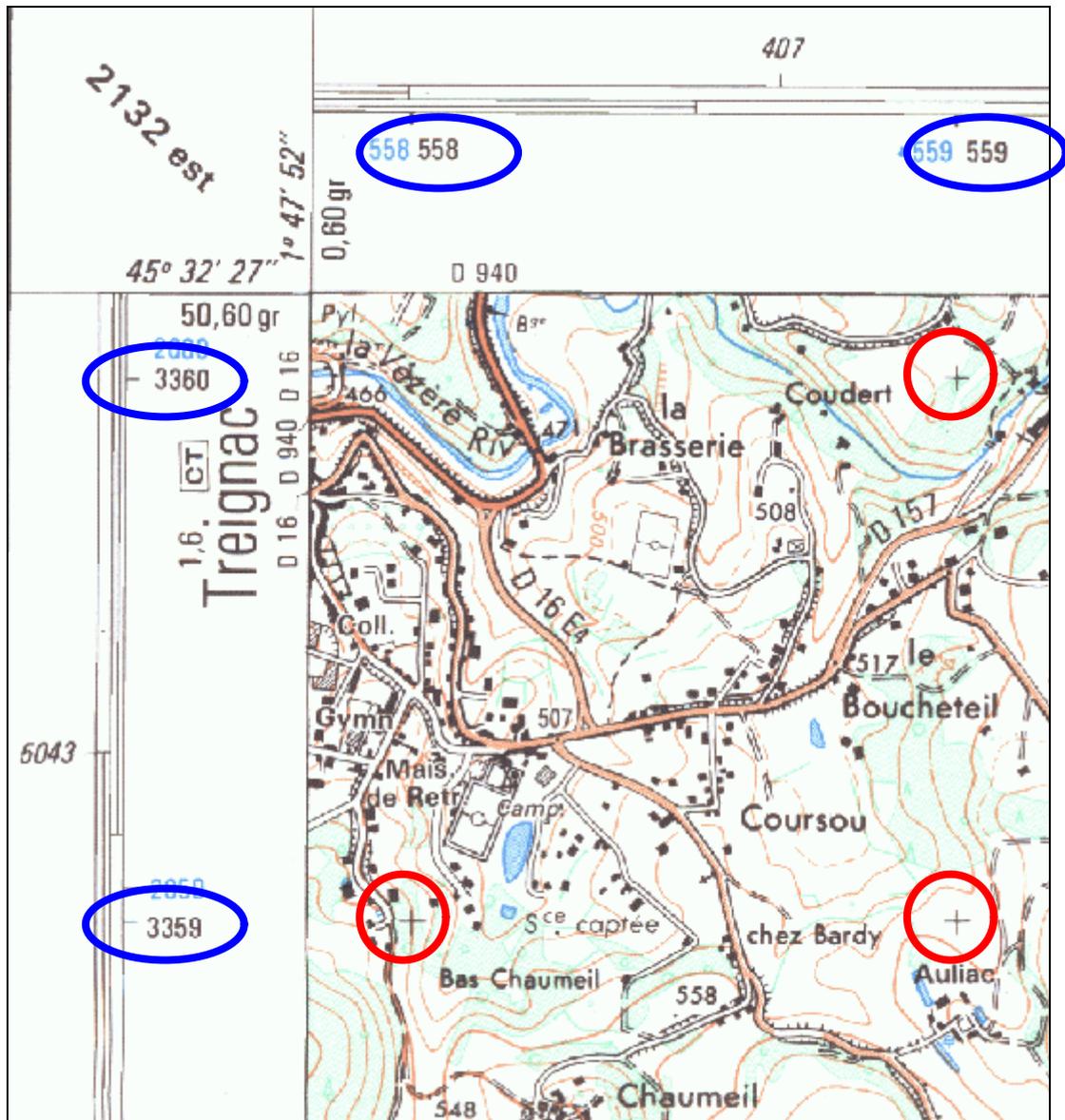
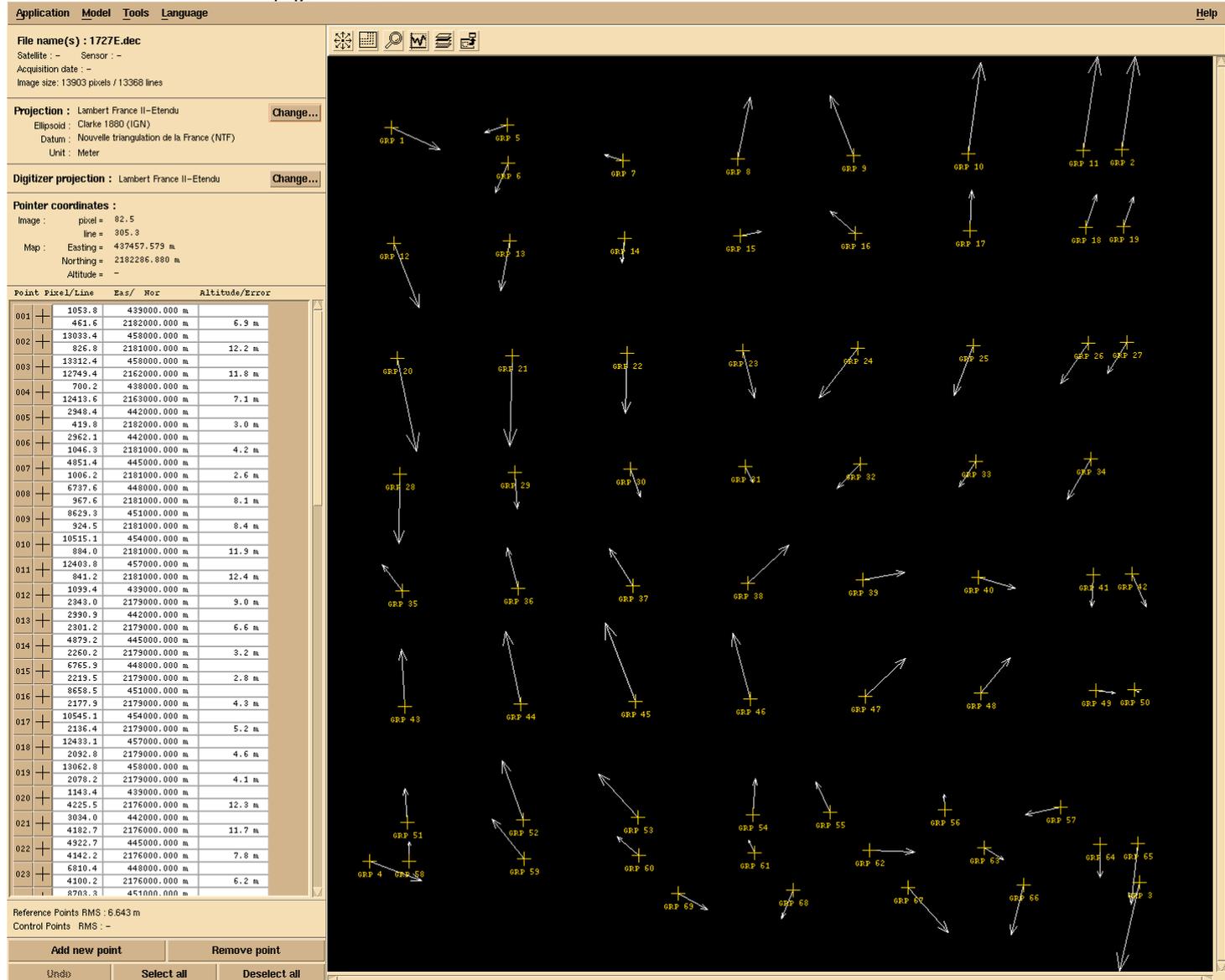


Figure 2.2.1.a : Points de la grille de carroyage utilisés pour le géoréférencement des cartes brutes.

Figure 2.2.1.b : Champ des vecteurs d'erreur (facteur multiplicatif x100)



Ce document contient des informations pour lesquelles GAEL Consultant se réserve tous les droits de propriété.

Les destinataires de ce document ne sont pas autorisés à dupliquer ou diffuser tout ou partie de ce document en dehors de l'accomplissement des tâches pour lesquelles ce document, leur a été délivré. "

2.2.2. Contrôle des cartes par les données de navigation GPS

Alors que les croix des grilles de carroyage sont utilisées dans GEOREF comme points d'appui (points à partir desquels est calculé le modèle de déformation), les points issus de la navigation GPS sont utilisés comme points de contrôle (voir figures 2.2.2.a et 2.2.2.b).

Vecteur d'erreur carte/GPS

Pour chaque point de contrôle, les points les plus identifiables dans la navigation GPS sont relevés. On entend par point identifiable :

- tout point permettant d'interpoler une intersection de routes,
- les points présentant un maximum local de courbure.

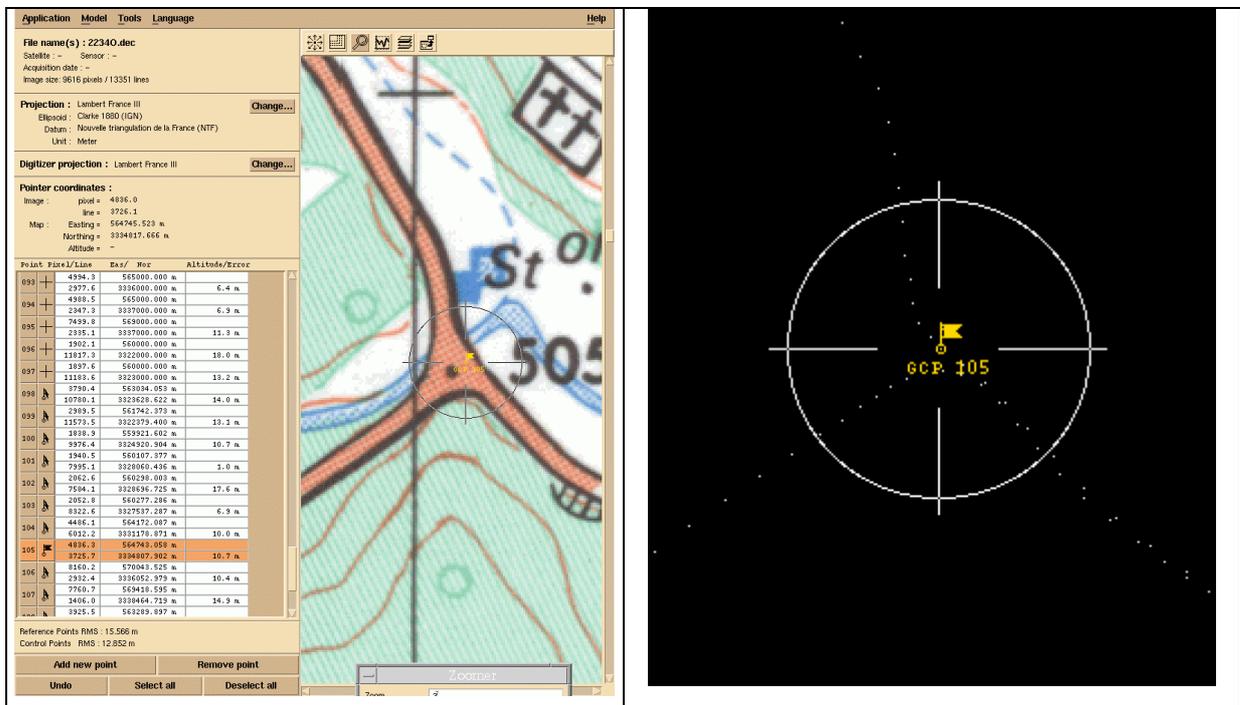


Figure 2.2.2.a: Appariement du 8^{ème} GCP de la carte 22340 (à gauche) et du point interpolé dans la navigation GPS (à droite) vus à l'écran à l'échelle 1 :2500^{ème}.

Le vecteur d'erreur $v_{GPS}=(dx_{GPS},dy_{GPS})$ est calculé par différence entre la position observée sur le terrain et celle relevée sur la carte.

Ce vecteur d'erreur v_{GPS} intègre au moins les deux types d'erreur suivants :

1. l'erreur due aux *déformations de numérisation* (vecteur d'erreur v_{SCAN}) et
2. l'erreur propre à la carte et à la méthode de levée (vecteur d'erreur v_{MAP}) .

$$\vec{v}_{GPS} = \vec{v}_{SCAN} + \vec{v}_{SCAN} \quad \text{Equation 3}$$

Ce dernier type d'erreur, appelé *erreur interne de la carte*, intègre lui-même des causes diverses, parmi lesquelles :

1. *la généralisation* – Pour supporter une lecture au 1 :25000^{ème} ou pour des raisons d'impression (des formes ne peuvent figurer avec une épaisseur sans rapport avec la réalité, des objets présents en particulier dans les zones habitées sont déplacés pour pouvoir tous figurer, la courbure des virages est diminuée...).



2. *l'échelle* – Les cartes au 1 :25000^{ème} sont visualisées au 1 :2500^{ème}.
3. *la méthode de levée* – Malgré le plus grand soin apporté à des saisies de points à grande échelle (1 :2500^{ème}), nous avons dû écarter de nombreux points à posteriori. Il est difficile d'estimer la précision des interpolations réalisées pour –estimer la position de l'axe médian de la route (lorsque celle-ci a été empruntée dans les deux sens) ou –l'intersection de deux routes.

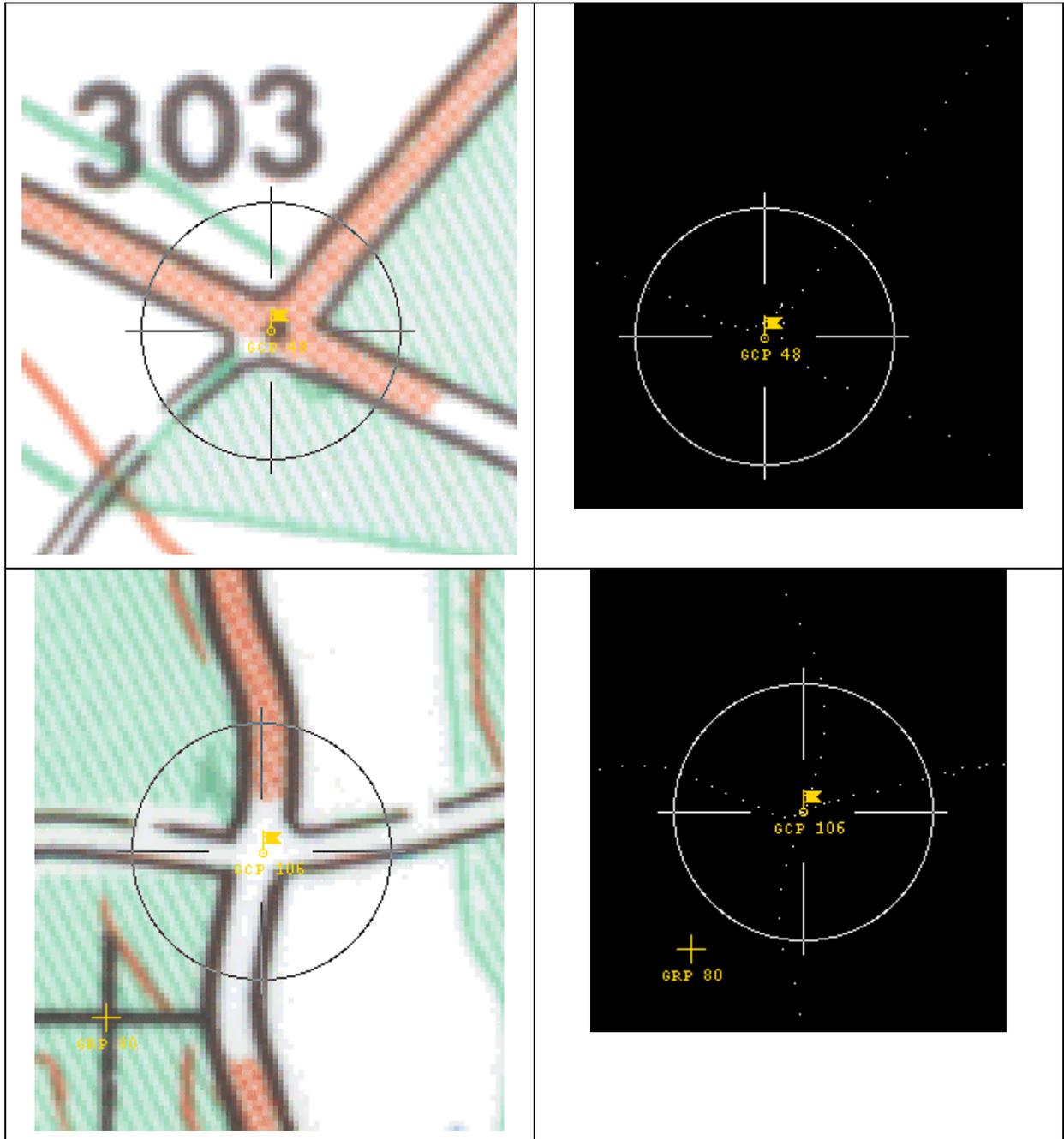


Figure 2.2.2.b: Appariement du 1^{er} (en haut) et 9^{ème} (en bas) GCPs des cartes 20300 et 22340 (à gauche) et du point interpolé dans la navigation GPS (à droite).

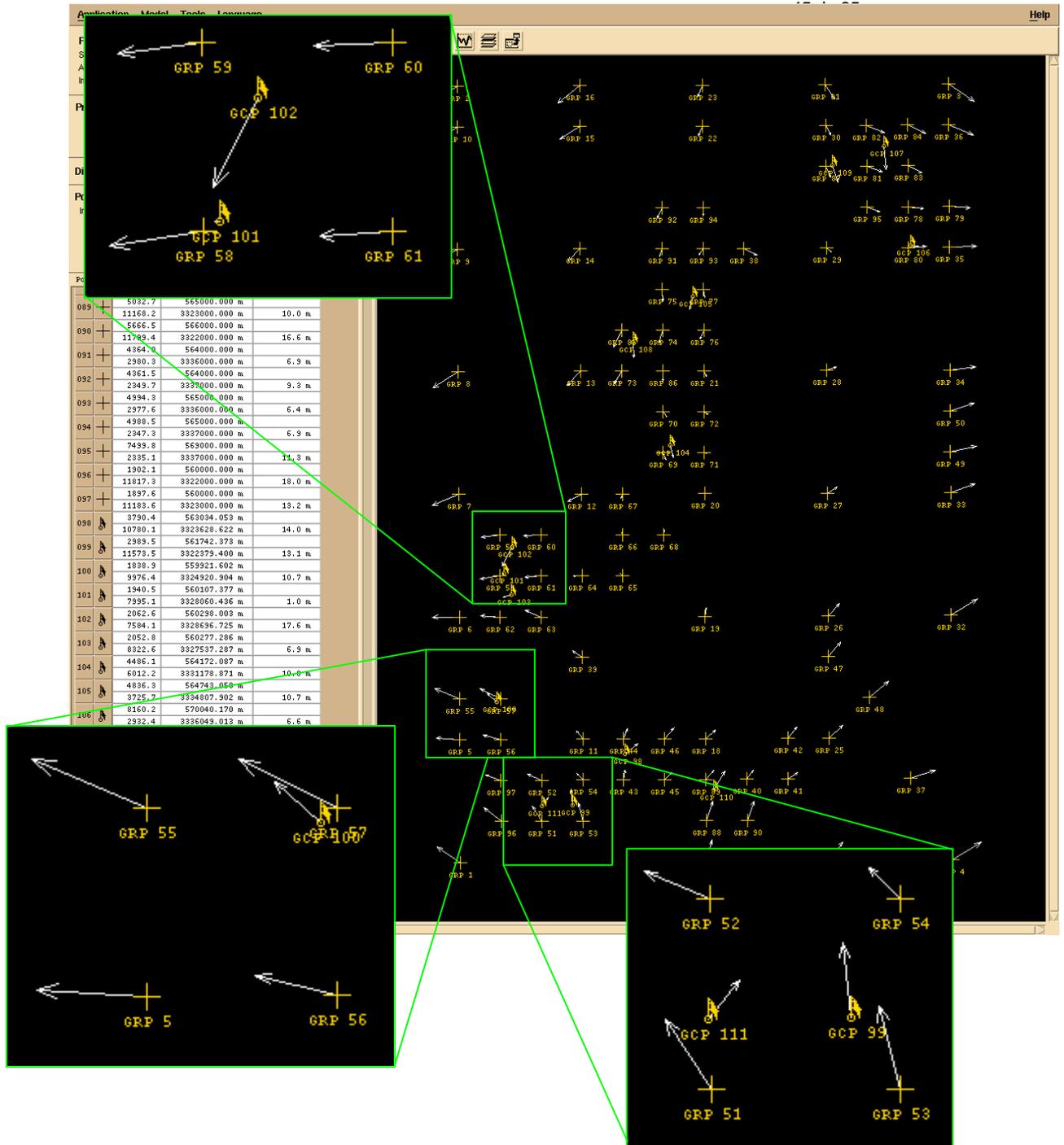


Figure 2.2.2.c: Points d'appui (GRPs représentés par des croix) extraits du carroyage de la carte et pointe de contrôle (GCPs représentés par des drapeaux) issus de la navigation GPS.

Vecteur d'erreur de scan

Le vecteur de scan v_{SCAN} présent dans l'équation 1 peut être estimé à partir des vecteurs d'erreurs de scan observés pour les quatre (4) croix de la grille de carroyage placées autour du point de contrôle (voir figure 2.2.2.d).

Cette interpolation est de type bilinéaire et tient compte de la distance entre le point de contrôle (GCP) et le point d'appui situé en bas à gauche (GRP_{LL}) ainsi que des distances entre les autres points d'appui (GRP_{UL} , GRP_{UR} et GRP_{LR}).

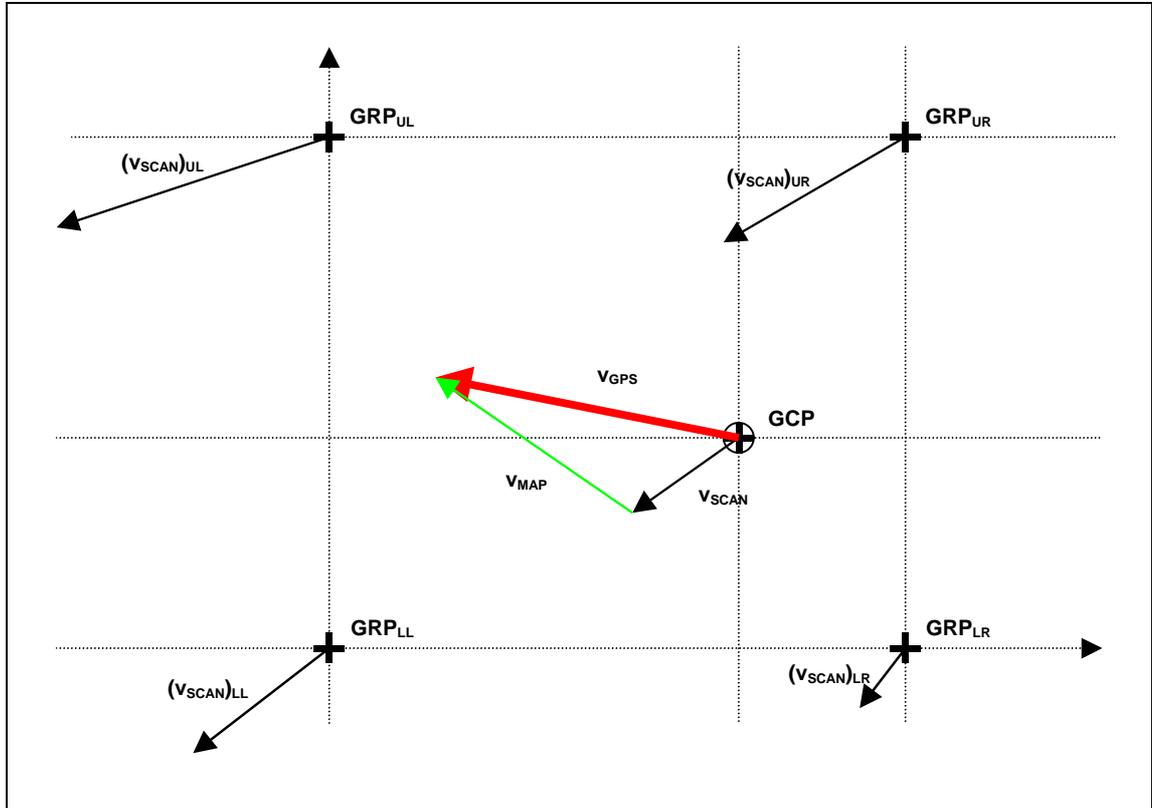


Figure 2.2.2.d: Vecteur d'erreur observé en référence au GPS (v_{GPS}) décomposé en vecteur d'erreur de numérisation interpolé (v_{SCAN}) et vecteur d'erreur interne de la carte (v_{MAP}).

Vecteur d'erreur interne de la carte

D'après l'équation 1, il vient que le vecteur d'erreurs interne de la carte est donné par :

$$\vec{v}_{MAP} = \vec{v}_{GPS} - \vec{v}_{SCAN} \quad \text{Equation 4}$$

2.3 Résultats

Les résultats détaillés de la séparation des erreurs observées dans les cartes à partir des données GPS sont reportés en annexe (section 6). La table 2.3 ci-après résume les moyennes arithmétique, quadratique et l'écart-type mesurés sur l'ensemble des points pris dans la carte.

	ARITHMETIC MEAN	STANDARD DEVIATION	QUADRATIC MEAN
MAP 1930E.dec			
NUMBER OF POINTS = 8			
OVERALL ERROR	3.414	1.432	3.702
ERROR DUE TO SCAN	2.320	1.396	2.708
ERROR DUE TO MAP	4.249	2.350	4.856
MAP 1930O.dec			
NUMBER OF POINTS = 6			
OVERALL ERROR	12.085	1.528	12.182
ERROR DUE TO SCAN	2.824	1.100	3.031
ERROR DUE TO MAP	11.243	1.693	11.369
MAP 2030O.dec			
NUMBER OF POINTS = 3			
OVERALL ERROR	8.164	6.583	10.487
ERROR DUE TO SCAN	1.696	0.705	1.837
ERROR DUE TO MAP	8.500	6.531	10.719
MAP 2032E.dec			
NUMBER OF POINTS = 10			
OVERALL ERROR	8.198	4.351	9.282
ERROR DUE TO SCAN	3.083	1.011	3.244
ERROR DUE TO MAP	7.203	4.070	8.273
MAP 2032O.dec			
NUMBER OF POINTS = 6			
OVERALL ERROR	12.141	2.883	12.479
ERROR DUE TO SCAN	3.380	1.196	3.586
ERROR DUE TO MAP	10.610	2.958	11.014
MAP 2034E.dec			
NUMBER OF POINTS = 8			
OVERALL ERROR	5.761	2.411	6.245
ERROR DUE TO SCAN	2.185	1.286	2.536
ERROR DUE TO MAP	6.772	2.454	7.203
MAP 2034O.dec			
NUMBER OF POINTS = 2			
OVERALL ERROR	4.615	3.004	5.507
ERROR DUE TO SCAN	3.470	1.338	3.718
ERROR DUE TO MAP	5.344	0.297	5.352
MAP 2133E.dec			
NUMBER OF POINTS = 3			
OVERALL ERROR	5.651	1.403	5.823
ERROR DUE TO SCAN	6.179	2.457	6.649
ERROR DUE TO MAP	5.076	2.983	5.888
MAP 2233O.dec			
NUMBER OF POINTS = 14			
OVERALL ERROR	6.737	4.971	8.372
ERROR DUE TO SCAN	4.321	2.081	4.796
ERROR DUE TO MAP	7.960	5.397	9.617
MAP 2234O.dec			
NUMBER OF POINTS = 14			
OVERALL ERROR	10.213	3.772	10.887
ERROR DUE TO SCAN	3.080	1.890	3.614
ERROR DUE TO MAP	9.255	4.480	10.283

Table 2.3: Résultats de la séparation des erreurs mesurées sur les cartes.

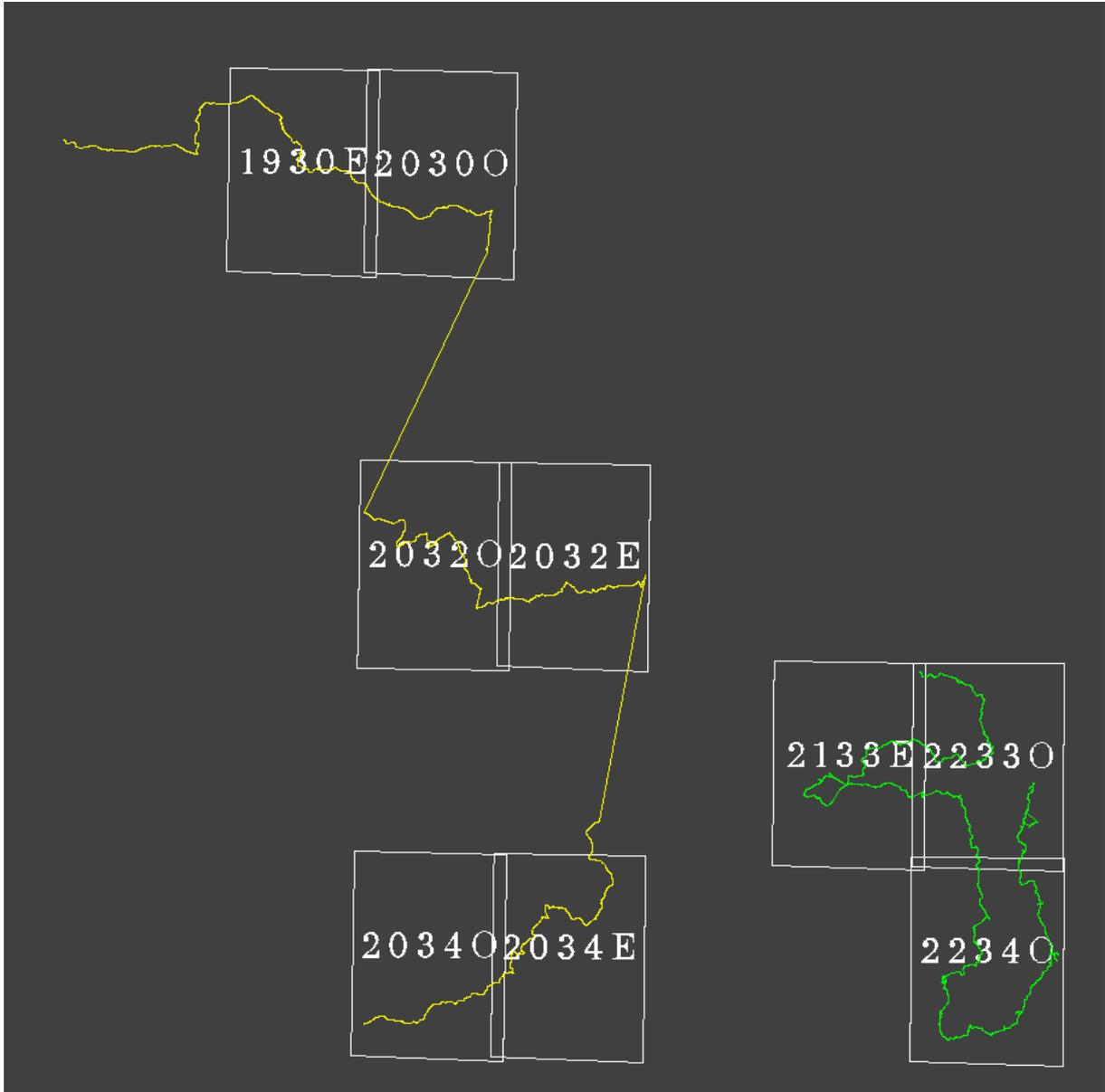


Figure 2.3: Plan de position des 10 cartes contrôlées et trace de la navigation GPS effectuée le 1^{er} jour (navigation lente figurée en vert) et le 2^{ème} jour (navigation rapide figurée en jaune).

2.4 Conclusions

2.4.1 Navigation lente ou rapide

Comme il en avait été convenu lors de la réunion de préparation de la mission terrain, deux types de navigation ont été testés :

- *navigation lente* : Réalisée le 1^{er} jour, ce type de navigation d'une durée d'environ 7 heures ne peut prétendre parcourir plus de trois cartes au 1 :25000^{ème}. Le nombre de points extraits de la navigation est de 31 (3+14+14). La sélection de ces points à l'écran est relativement aisée (nombreux carrefours, nombreux aller-retours dans les chemins, courbure des virages plus marquée...).

- *navigation rapide* : Réalisée le 2^{ème} jour, ce type de navigation d'une durée de 7 heures a tenté de parcourir sept cartes réparties en trois groupes. L'ambition était de disperser la distribution des points afin d'occuper environ un quart de la scène Landsat (voir figure 1.2.4). Le nombre de points extraits est de 43 (8+6+3+10+6+8+2). La sélection et l'utilisation de ces points à l'écran ont été nettement plus difficile que pour la navigation lente. Les interpolations sont beaucoup moins fiables, les courbures des virages bien moins marquées.

Il est recommandé de choisir la navigation lente en augmentant la densité des parcours sur les cartes. Dans ces conditions, on ne peut espérer parcourir plus de deux (2) cartes par jour, voire trois (3) cartes pendant deux (2) jours.

2.4.2 Précision des points terrain :

Ainsi que le relevait Peter SPRUYT lors de sa venue le 15 mars 2001, la pratique des interpolations pour déterminer la ligne médiane des routes (cas des aller-retours) ou des extrapolations pour déterminer l'intersection aux croisements n'a pas la précision d'un lever de point en descendant de voiture et en effectuant la mesure.

On doit néanmoins faire remarquer que les interpolations ont été réalisées à l'écran à l'échelle 1 :2500^{ème} et que dans ces conditions, la pratique des interpolations/extrapolations ne devrait pas produire des erreurs supérieures au mètre, ce qui reste très en deçà de l'erreur interne des cartes qui demeure dans l'intervalle [5 m, 11 m] (voir table 2.3).

De la même manière, l'estimation rigoureuse de la largeur des routes ne peut être établie que lorsque le véhicule se maintient à une distance prédéfinie du bord droit (1,80 mètres dans notre cas) et si la route a été empruntée (même) partiellement dans les deux sens. Lorsque cela fut réalisé, on observe que la trace aller coïncide assez bien avec la trace de retour (ce qui confirme la stabilité de l'acquisition DGPS) et s'en écarte au plus de moins de deux mètres. Ceci confirme que les routes et chemins empruntés en aller-retour étaient d'une largeur inférieure à 5,5 mètres.

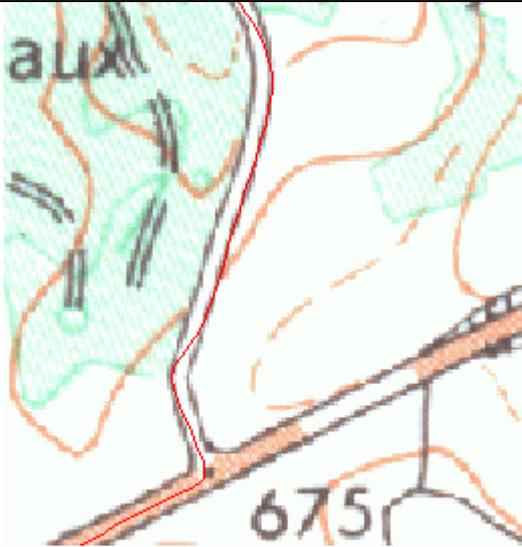
2.4.3 Erreurs de scan

L'interpolation des erreurs de numérisation demeure dans l'intervalle [2 m, 6.6 m] avec une moyenne située entre 3 et 4 mètres. Ce résultat est en accord avec les erreurs quadratiques moyennes relevées sur toutes les cartes (voir section 3.2).

2.4.4 Erreur interne des cartes

Les valeurs de l'erreur quadratique moyenne à attribuer aux cartes (mis en évidence dans la table 2.3) constitue le résultat le plus intéressant. On est surpris de constater que cette erreur est importante et se situe dans l'intervalle [5m, 11 m]. Même si l'on connaît le professionnalisme de l'Institut Géographique National français, force est de constater que les pratiques de généralisation, les contraintes dues à l'échelle, aux exigences de lisibilité et d'impression, d'éventuelles erreurs de photo-interprétation conduisent à des erreurs dans la levée des points à partir de la carte.

Les exemples donnés dans les figures ci-dessous fournissent quelques cas de généralisation ou d'erreurs par rapport à la réalité terrain. Ces images ont été extraites des cartes corrigées par un modèle de déformation bilinéaire (polynôme de degré 1) utilisant uniquement les points d'appui extraits des croix de carroyage (voir section 3.2). La ligne de navigation GPS est reportée sur les cartes en utilisant les couleurs jaune ou rouge.



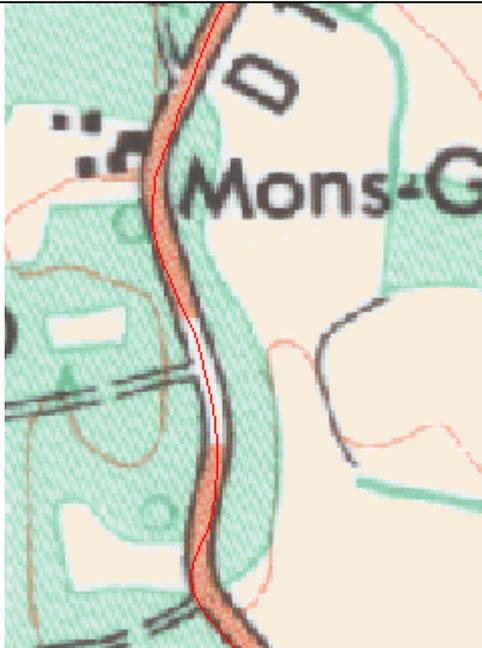
a.

Les courbes des virages de la route située au Nord ont été sous-estimées.



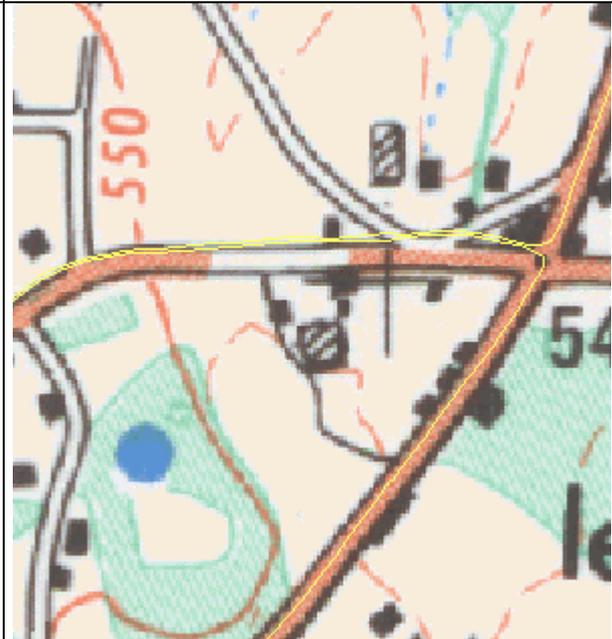
b.

La route située au Nord-Ouest dans le village a été déplacée (sans doute pour mieux faire figurer les cimetières).



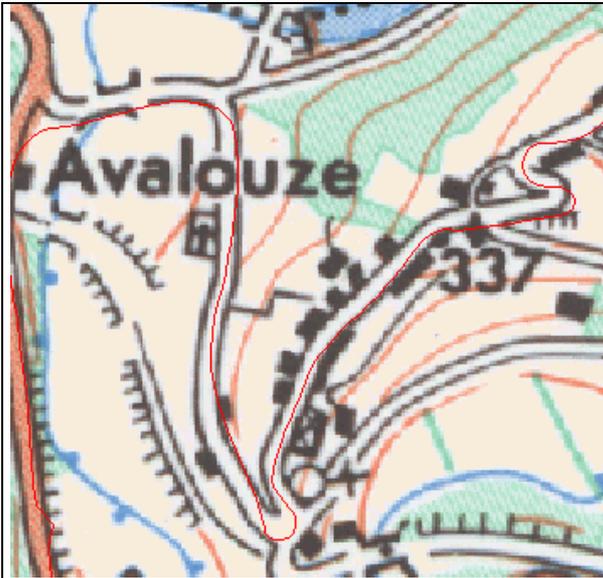
c.

Les courbes de cet enchaînement de virages sont sous-estimées.



d.

Des deux routes/chemins adjacents, celui situé au Nord a « poussé » l'autre.



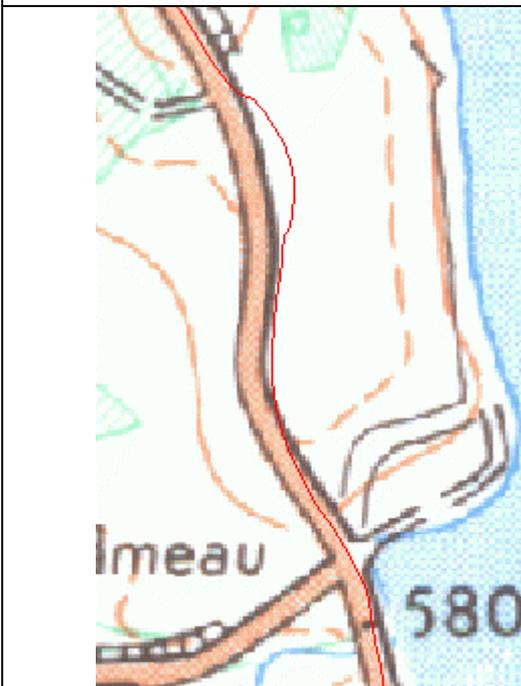
e.

Dans ce village, toutes les chicanes ont été raccourcies.



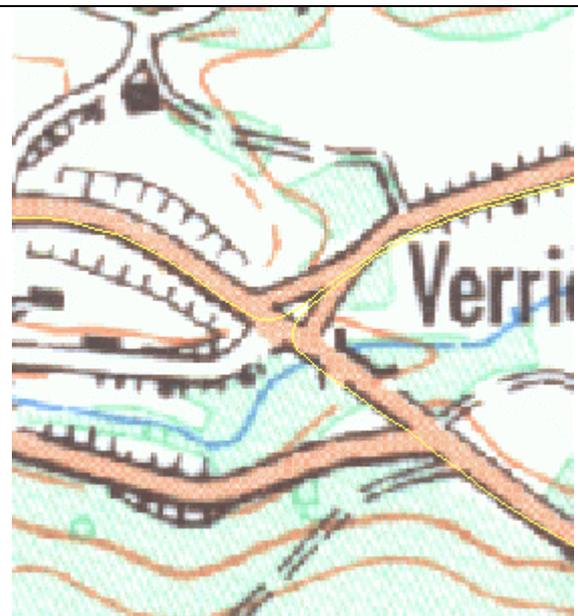
f.

Hormis le décalage sans doute dû à la numérisation, la position du triangle d'intersection est mal placée.



g.

Les courbures ont été sous-estimées par le photo-interprète ou la route a changé (?).



h.

Le terre-plein d'intersection est sur-dimensionné.

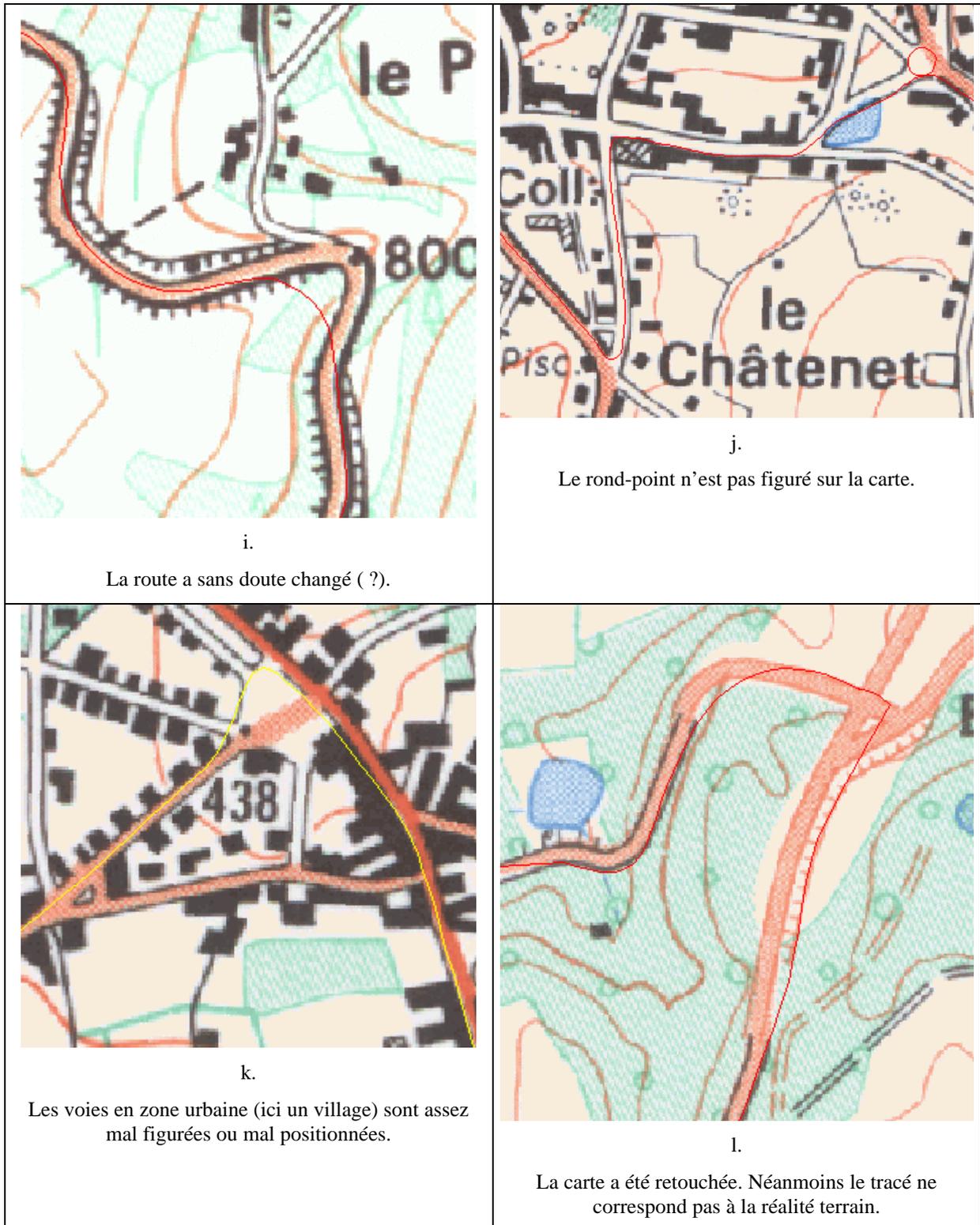


Figure 2.4: Quelques exemples (vus au 1 :5000^{ème}) d'erreurs de la carte ou d'effets de la généralisation.

2.4.5 Conclusion générale concernant l'utilisation de données GPS

Les principales conclusions concernant l'utilisation de données GPS sont les suivantes :

Ce document contient des informations pour lesquelles GAEL Consultant se réserve tous les droits de propriété. Les destinataires de ce document ne sont pas autorisés à dupliquer ou diffuser tout ou partie de ce document en dehors de l'accomplissement des tâches pour lesquelles ce document leur a été délivré.



1. Pour des questions d'échelle et d'étendue des couvertures, il n'est pas possible d'utiliser les données GPS de précision sub-métrique directement pour le contrôle des données Landsat ETM+ de résolution 15 et 30 mètres.
2. L'utilisation de données GPS a permis d'évaluer l'erreur présente dans les cartes 1 :25000^{ème} de l'IGN. Cette erreur prend ses valeurs dans l'intervalle [5,11] mètres.
3. Sauf à considérer un grand nombre de points de contrôle et en s'appuyant sur la Loi des Grands Nombres, l'intervalle [5,11] mètres rend difficilement envisageable d'utiliser les cartes 1 :25000^{ème} pour le contrôle d'images dont la résolution est inférieure à 5 mètres (IKONOS, EROS, photos aériennes...).
4. L'utilisation de données GPS pour le contrôle de cartes dont l'échelle est supérieure au 1 :25000^{ème} fournit les moyens d'évaluer la qualité de ces cartes et l'erreur minimale attendue lorsque ces cartes servent à géoréférencer d'autres images. Cette technique de contrôle pourrait être utilisée pour qualifier la précision de cartes dans d'autres pays (Portugal, Grèce, Italie, Allemagne...).
5. La méthode « navigation GPS » n'offre pas la précision d'un relevé posté (descente de voiture et acquisition en un point précis). La proportion de points effectivement exploitables par navigation GPS n'est pas encore significativement supérieure aux nombres de points acquis par relevé posté. Cette proportion pourrait être augmentée de manière sensible en considérant des techniques d'appariement automatique avec une carte ou une image de résolution équivalente (sujet de recherche).

3 CONTROLE DES SCENES LANDSAT

Ce contrôle, effectué à partir des cartes géocodées utilise les applications **GEOREF** et **REGIST**. La section 3.1 donne une description de la méthodologie mise en œuvre dans ce projet.

3.1 Description de la méthode

3.1.1. Contrôle qualité de la scène panchromatique

A partir des cartes géocodées constituant les données de référence (vérité terrain), des points de contrôle (angle de champs, croisement de routes ou de chemins, carrefours, etc ..), sont identifiés à la fois sur la carte et dans l'image orthorectifiée à contrôler. Ainsi, pour chaque point identifié, une évaluation de sa localisation absolue est fournie en temps réel. Les points sont répartis de telle manière que toutes les variations d'altitude, soient prises en compte. A l'issue de la prise des points, un rapport de contrôle qualité (voir annexe en section 5) est édité afin de quantifier la localisation absolue et une capture d'écran des Vecteurs d'erreur permettant d'apprécier qualitativement les déplacements.

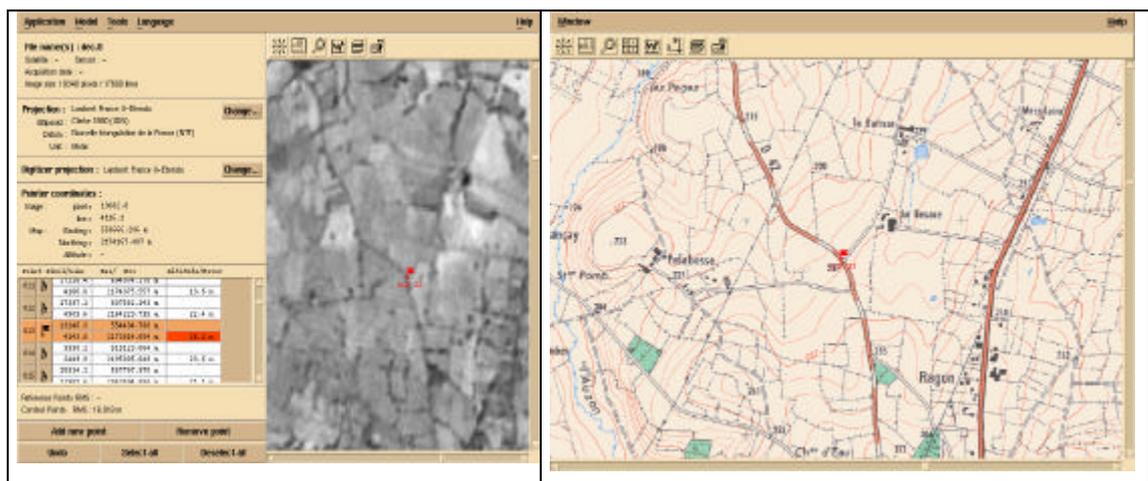


Figure 3.1: Identification des points contrôle (GCP)

3.1.2. Contrôle qualité des canaux multi-spectraux

Le contrôle de superposabilité entre les canaux panchromatique (référence) et VNIR/SWIR est fait avec l'application REGIST. Les canaux multi-spectraux VNIR/SWIR sont ramenés à la même résolution que le canal panchromatique. La première étape consiste à vérifier la superposabilité des canaux 8 (PANCHRO) et 1. Une fois celle-ci validée, le canal 1 devient la référence. Les autres canaux (2 à 7) sont ensuite contrôlés par rapport au canal 1.

3.2 Contrôle qualité des cartes

Les cartes sont géoréférencées et géocodées dans leur projection native c'est à dire celle qui définit le carroyage rectangulaire de la carte. Suivant la densité du carroyage de la carte, un point sur trois ou sur deux (2) est saisi. Cette règle conduit à un nombre de points allant de 35 à 50 points par carte avec un modèle de déformation polynomial de degré 1. A chaque carte correspond un rapport de contrôle qualité (voir annexes) donnant le nombre de points, les erreurs quadratiques moyennes (EQM ou RMS en anglais) en x, en y et l'EQM totale sur l'ensemble des points. Les résultats obtenus pour chacun des pays sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Notons que les cartes d'Allemagne ont été déjà géocodées et ne figurent donc pas dans ce tableau.

Seules cinq (5) cartes sur l'Italie ont été scannées et géocodées, le reste existait déjà .

	Nbre cartes	Echelle	Résolution	*RMS moyenne	RMSmin	RMSmax
<u>Phase 1</u>						
France	29	25000	400 dpi	4.473 m	3.059 m	6.647 m
Espagne	9	25000	400 dpi	3.735 m	2.490 m	4.936 m
Luxembourg	9	25000	400 dpi	3.289 m	1.972 m	9.980 m
Belgique	9	25000	400 dpi	4.741 m	2.981 m	6.884 m
Suède	9	25000	400 dpi	2.364 m	1.820 m	2.865 m
<u>Phase 2</u>						
Autriche	9	25000	400 dpi	3.390 m	2.574 m	5.439 m
Danemark	9	25000	400 dpi	2.296 m	1.826 m	2.688 m
Finlande	9	25000	400 dpi	1.856 m	1.157 m	2.573 m
Pays-Bas	9	25000	400 dpi	1.846 m	0.391 m	2.842 m
Portugal	9	25000	400 dpi	3.390 m	2.930 m	4.266 m
<u>Phase 3</u>						
Ireland	9	50000	400 dpi	3.331	2.652 m	4.513 m
Uk	9	25000	400 dpi	4.267	2.728 m	7.683 m
<u>Phase 4</u>						
Italie	5	25000	400 dpi	2.270	1.407	2.846

*Moyenne des RMS obtenues pour l'ensemble des cartes du pays.

3.3 Contrôle qualité des scènes Landsat

En appliquant la méthodologie exposée en section 3.1, on obtient les valeurs d'EQM résumées dans le tableau suivant (le rapport détaillé pour chacune de ces scènes est disponible à l'Annexe 5). Les variations de relief constituent l'une des principales difficultés du traitement d'orthorectification. A ce titre, le tableau reporte quelques statistiques (valeurs minimal, maximal, moyenne et écart-type) des valeurs d'altitude relevées dans un Modèle Numérique de Terrain incluant la scène.

	Points	RMS	RMS_X	RMS_Y	Hmin	Hmax	Hmean	σ_h
<u>Phase 1</u>								
France	71	16.029	10.065	12.475	10	966	282	177.913
Espagne	36	16.496	11.223	12.089	323	2386	794.727	266.763
Allemagne	73	15.018	11.994	9.038	1	171	47.084	25.671
Luxembourg	68	16.757	12.362	11.313	18	782	289.093	156.825
Suède	40	14.811	10.792	10.145	1	748	335.751	104.209
<u>Phase 2</u>								
Autriche V1	47	59.302	52.607	27.372	1	2366	628.686	419.345
Danemark	57	15.303	10.211	11.399	1	139	14.879	20.350
Finlande	39	16.768	12.383	11.306	1	246	100.114	37.412
Pays-Bas	39	15.390	13.278	7.782	1	106	8.032	14.077
Portugal	43	15.715	11.829	10.345	49	1080	342.883	136.643
<u>Phase 3</u>								
Belgique	62	18.024	13.903	11.472	2	774	263.402	155.380
Ireland	52	21.954	12.690	17.915	1	911	96.334	78.913
UK	37	13.669	8.899	10.375	1	260	48.479	42.080
<u>Phase 4</u>								
Autriche V2	55	26.745	15.595	21.728	1	2366	628.686	419.345
<u>Phase 5</u>								
Autriche V3	55	20.256	14.569	14.072	1	2366	628.686	419.345
<u>Phase 6</u>								
Italie	44	15.979	12.242	10.270	1	1810	314.540	260

3.4 Topographie des régions

Les figures ci-dessous présentent les différents reliefs sur chaque scène Landsat 7. Les courbes de niveau correspondent à des lignes d'isovaleur de 100 mètres d'intervalle. Le Modèle Numérique de Terrain (MNT) utilisé est représenté en niveaux de gris.

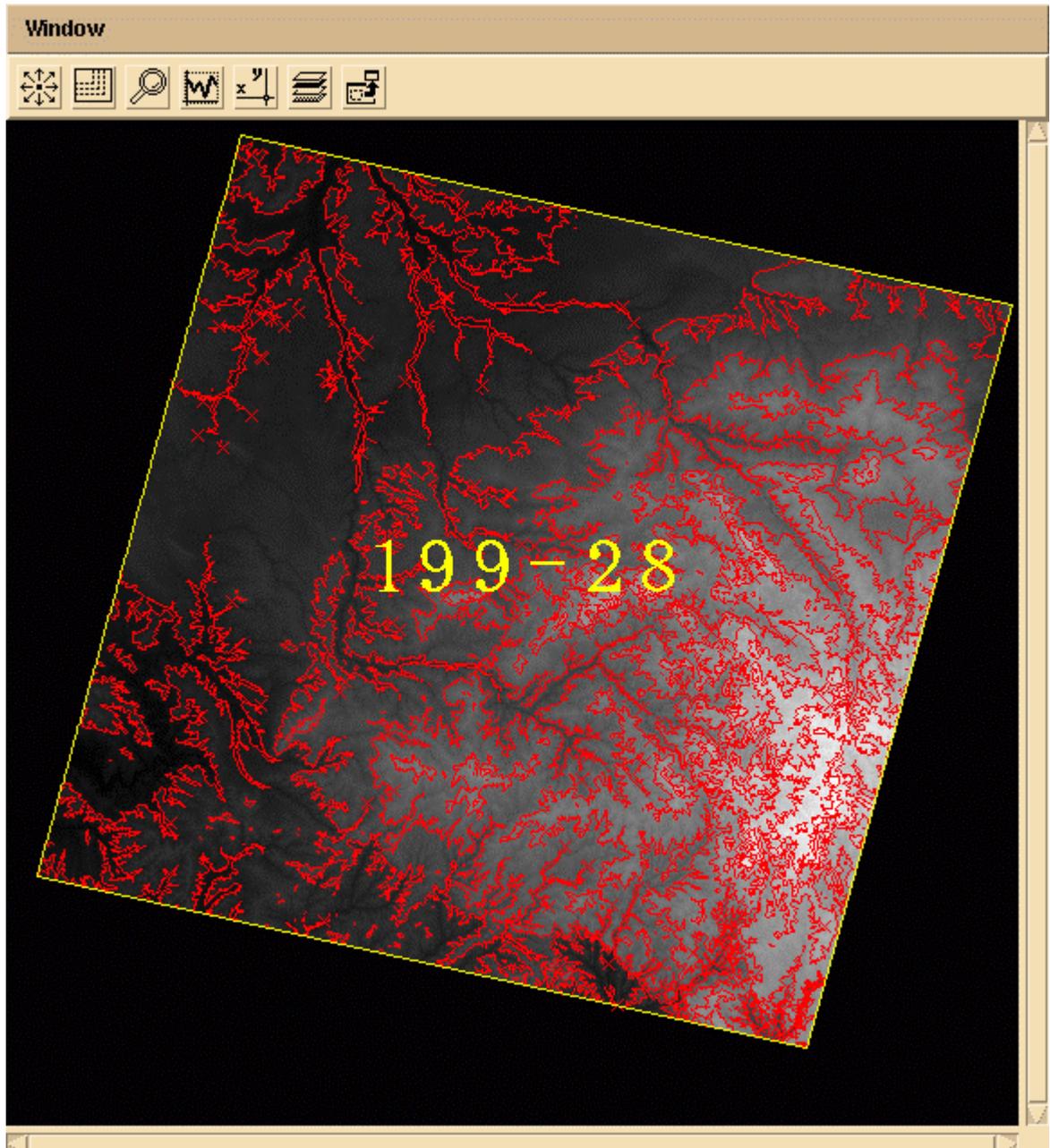


Figure 3.3-a : Relief France

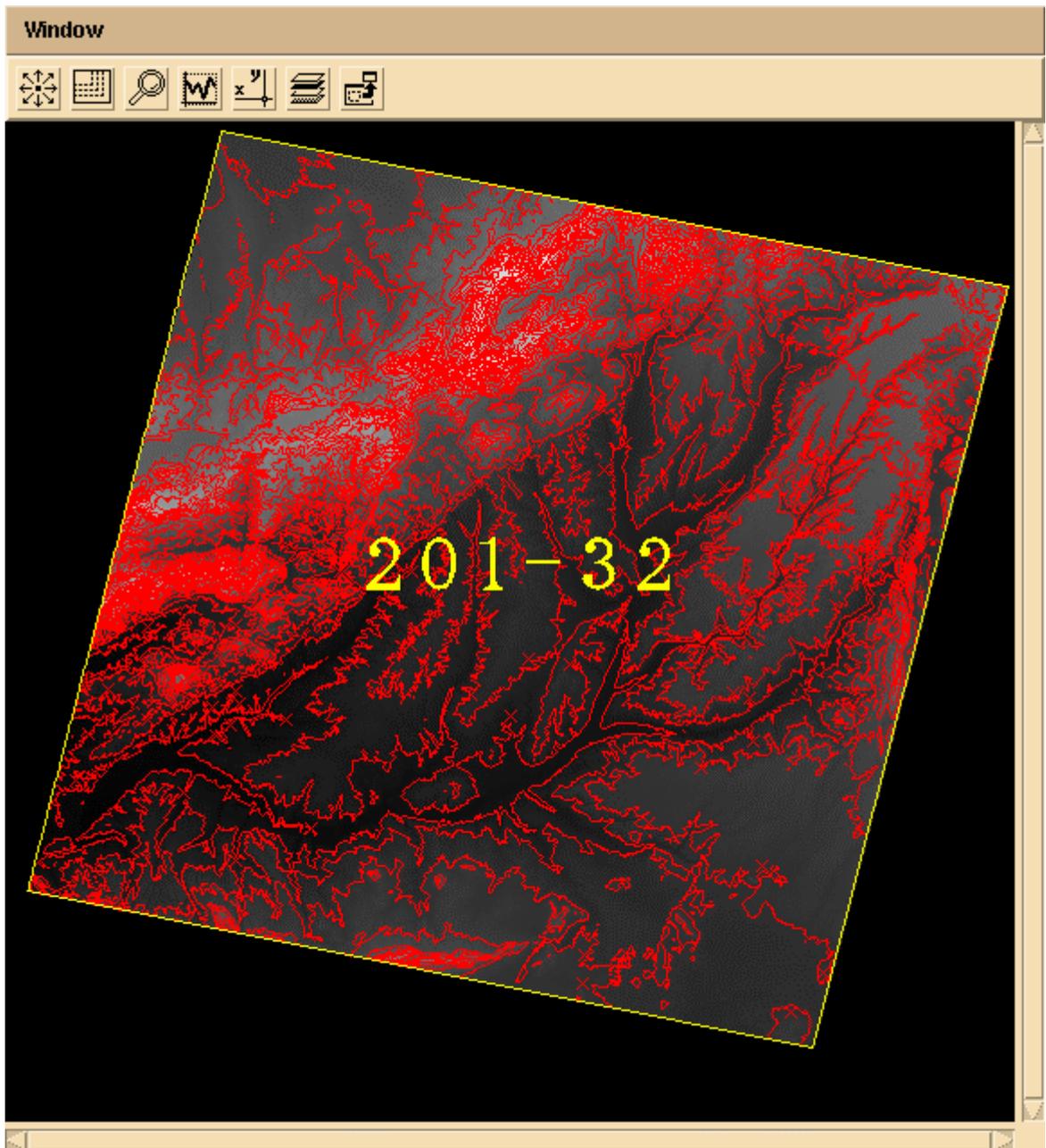


Figure 3.3-b : Relief Espagne

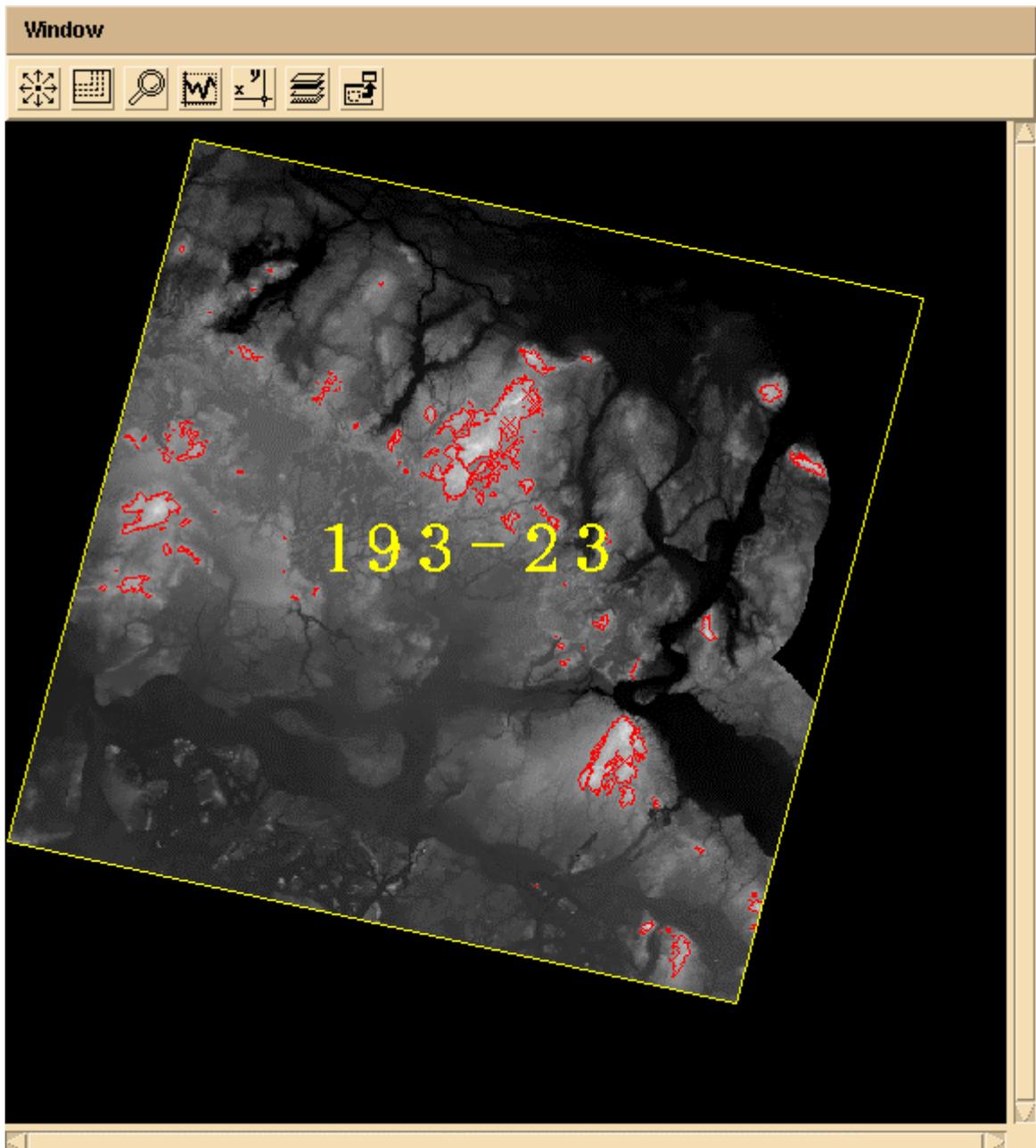


Figure 3.3-c : Relief Allemagne

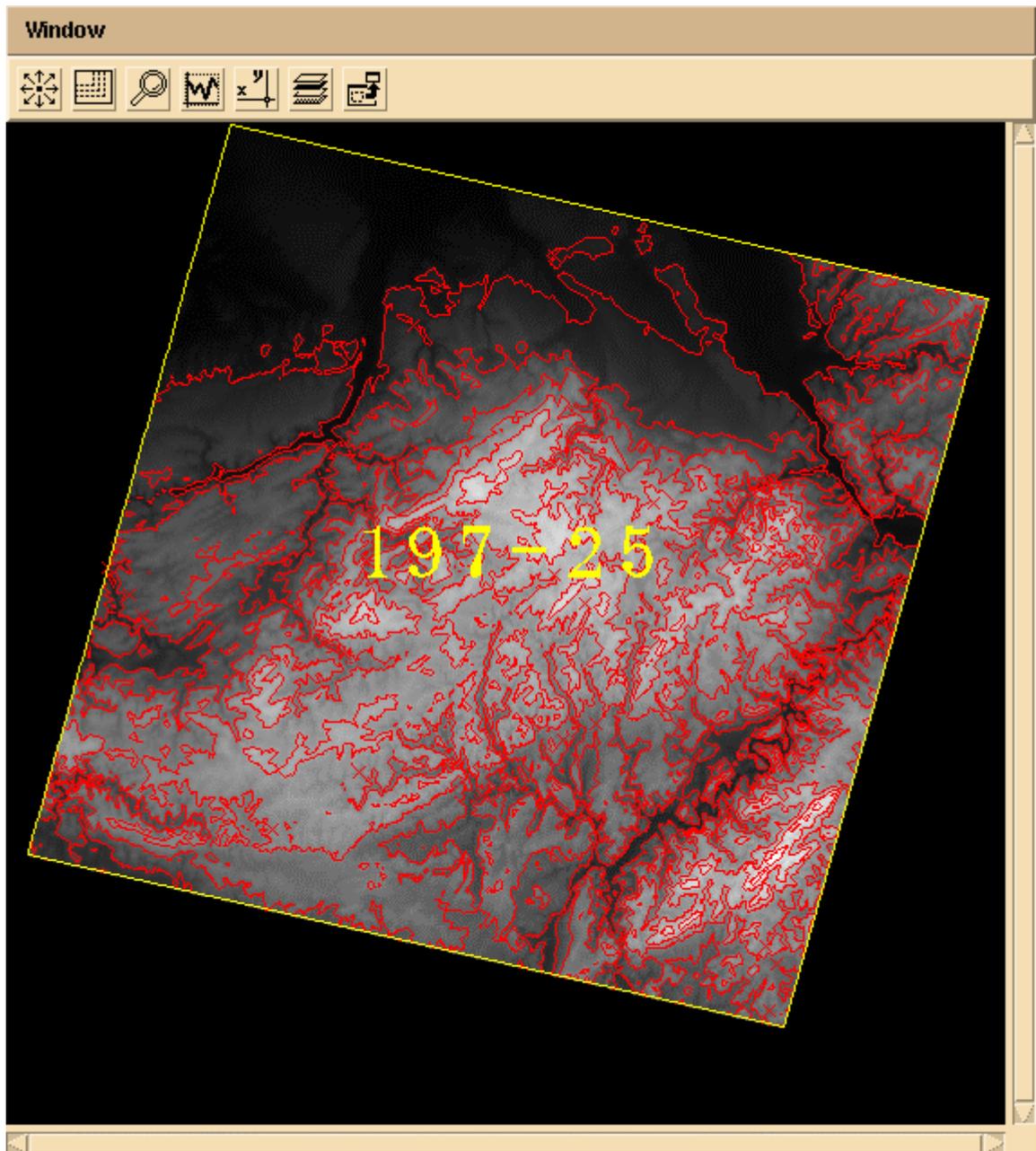


Figure 3.3-d : Relief Luxembourg

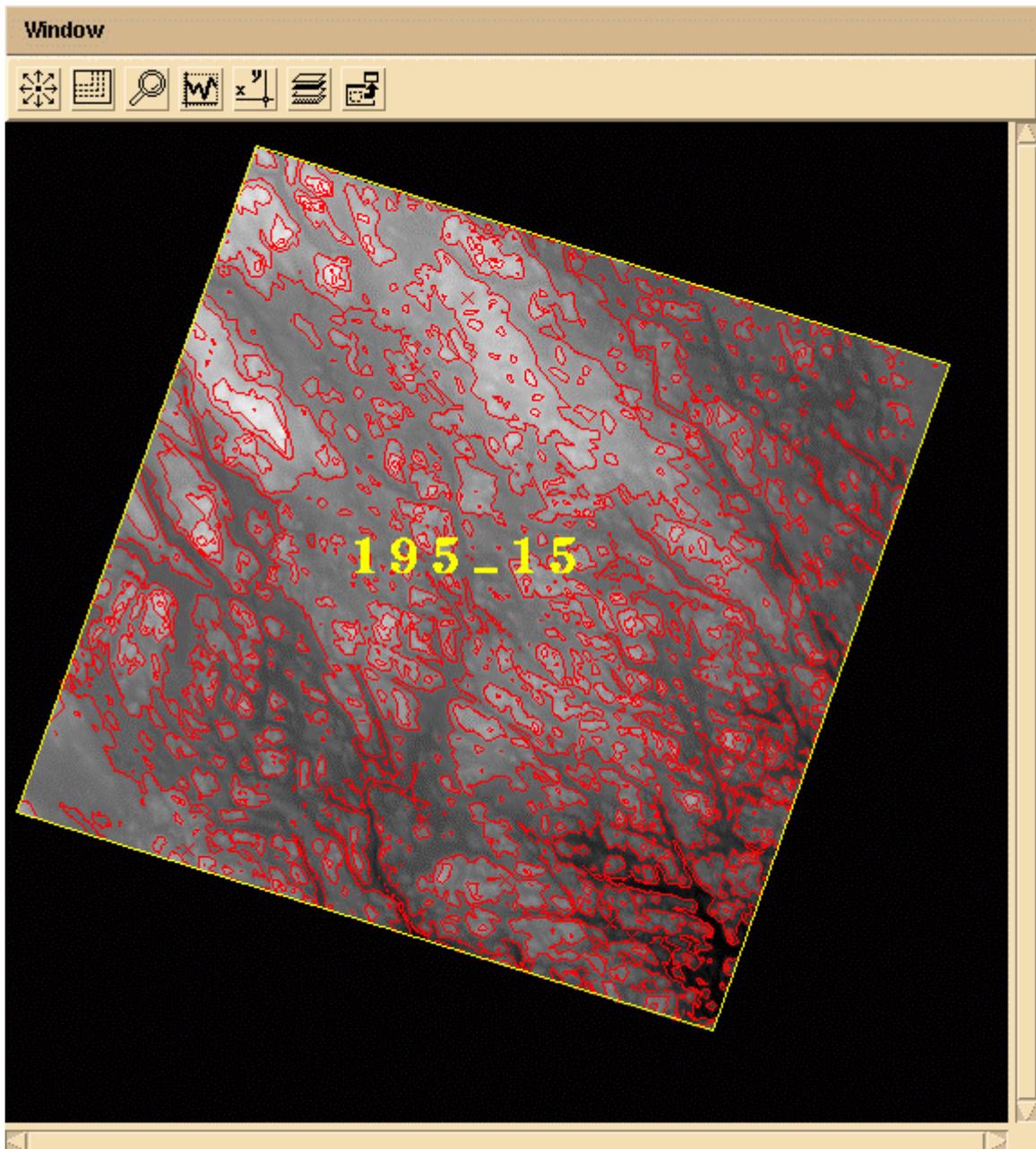


Figure 3.3-e : Relief Suède

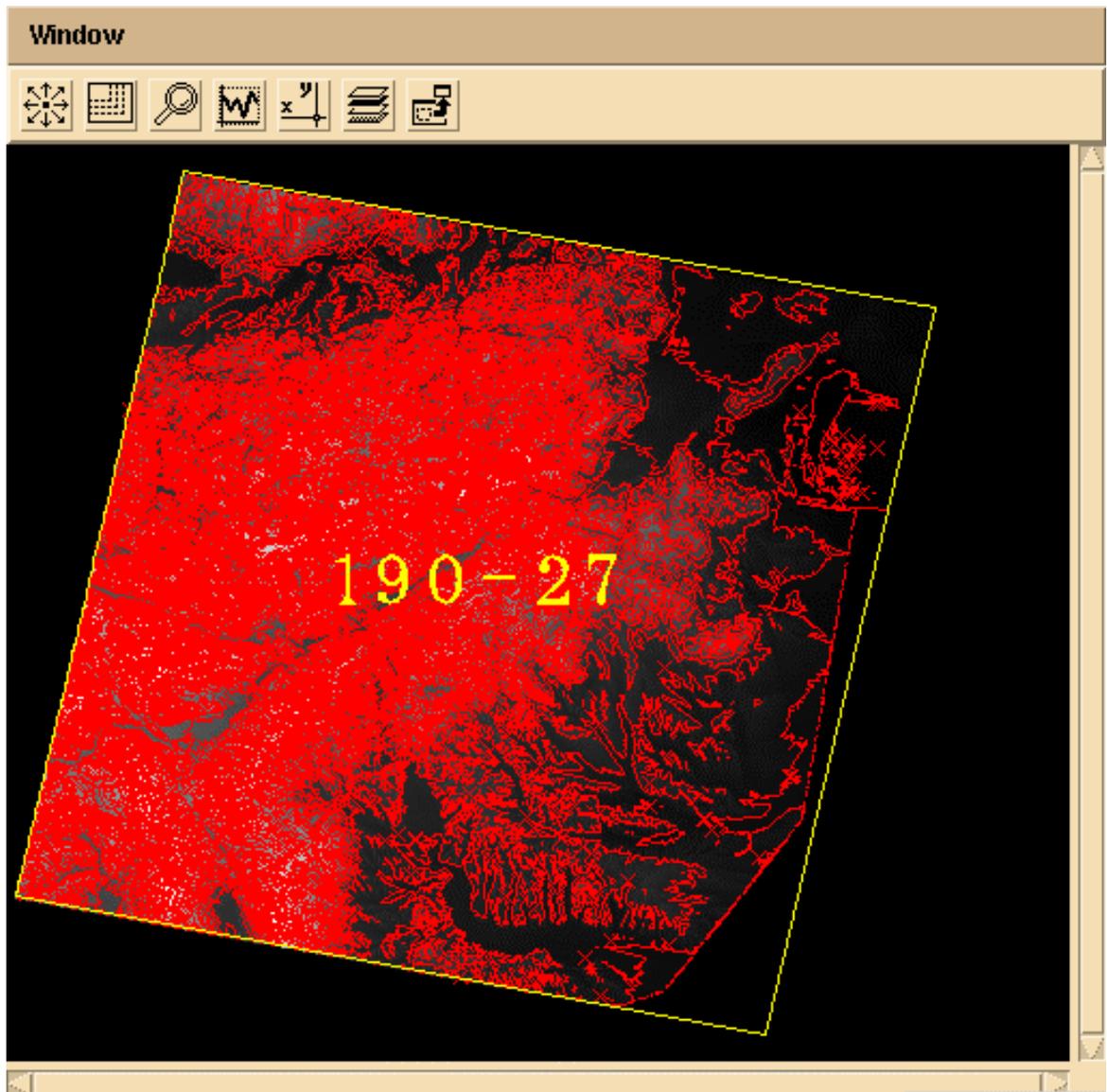


Figure 3.3-f: Relief Autriche

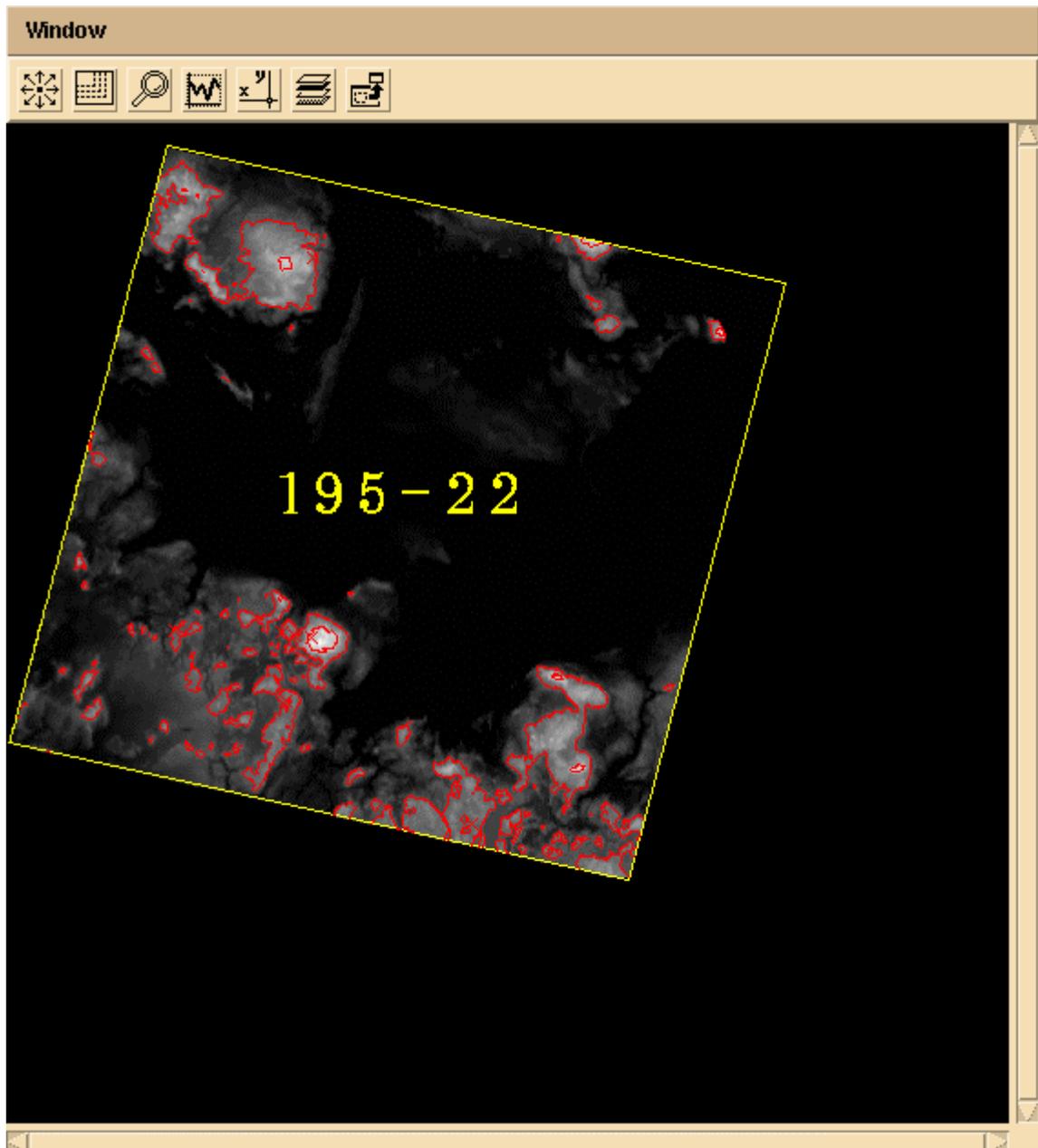


Figure 3.3-g : Relief Danemark

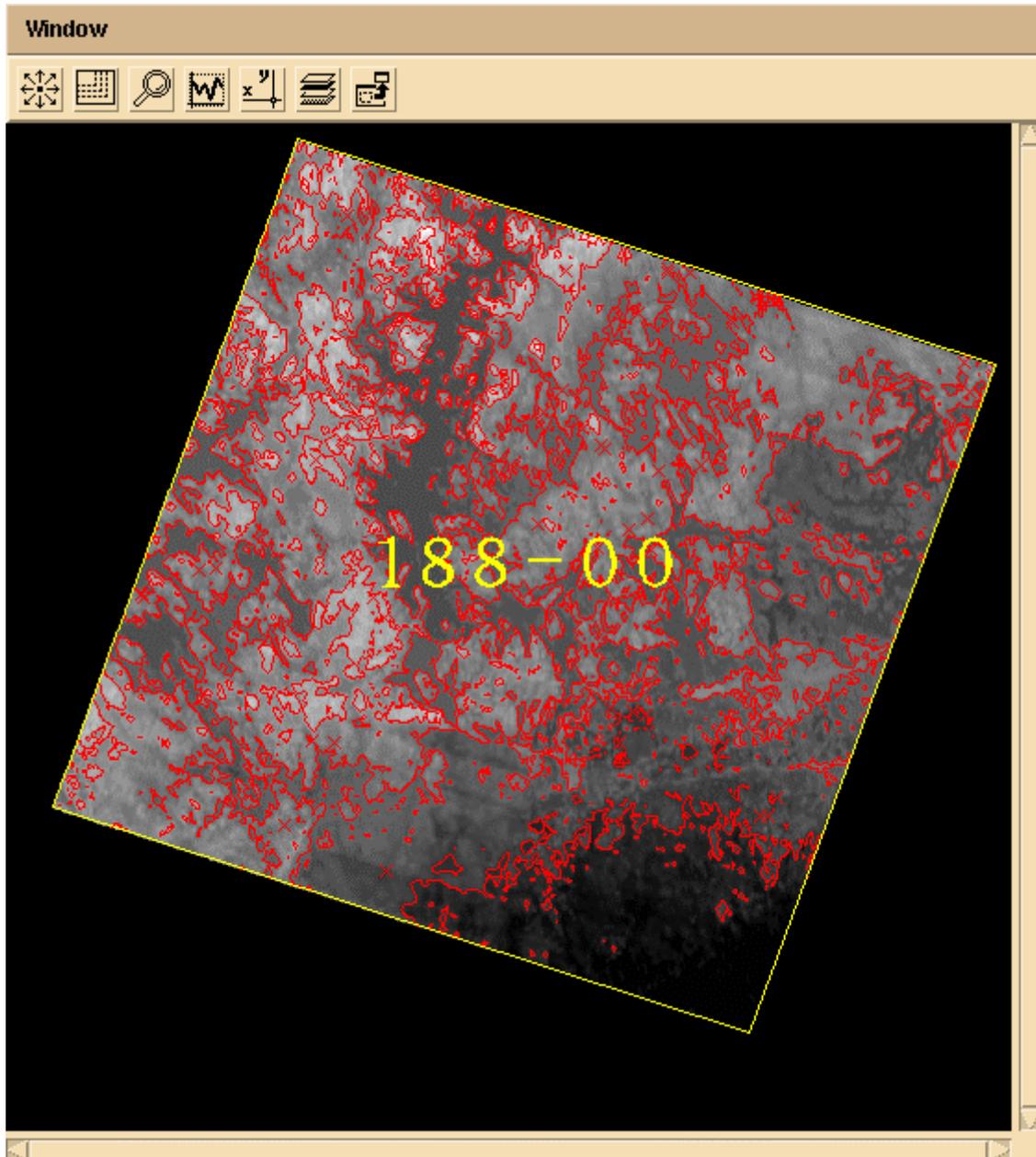


Figure 3.3-h : Relief Finlande

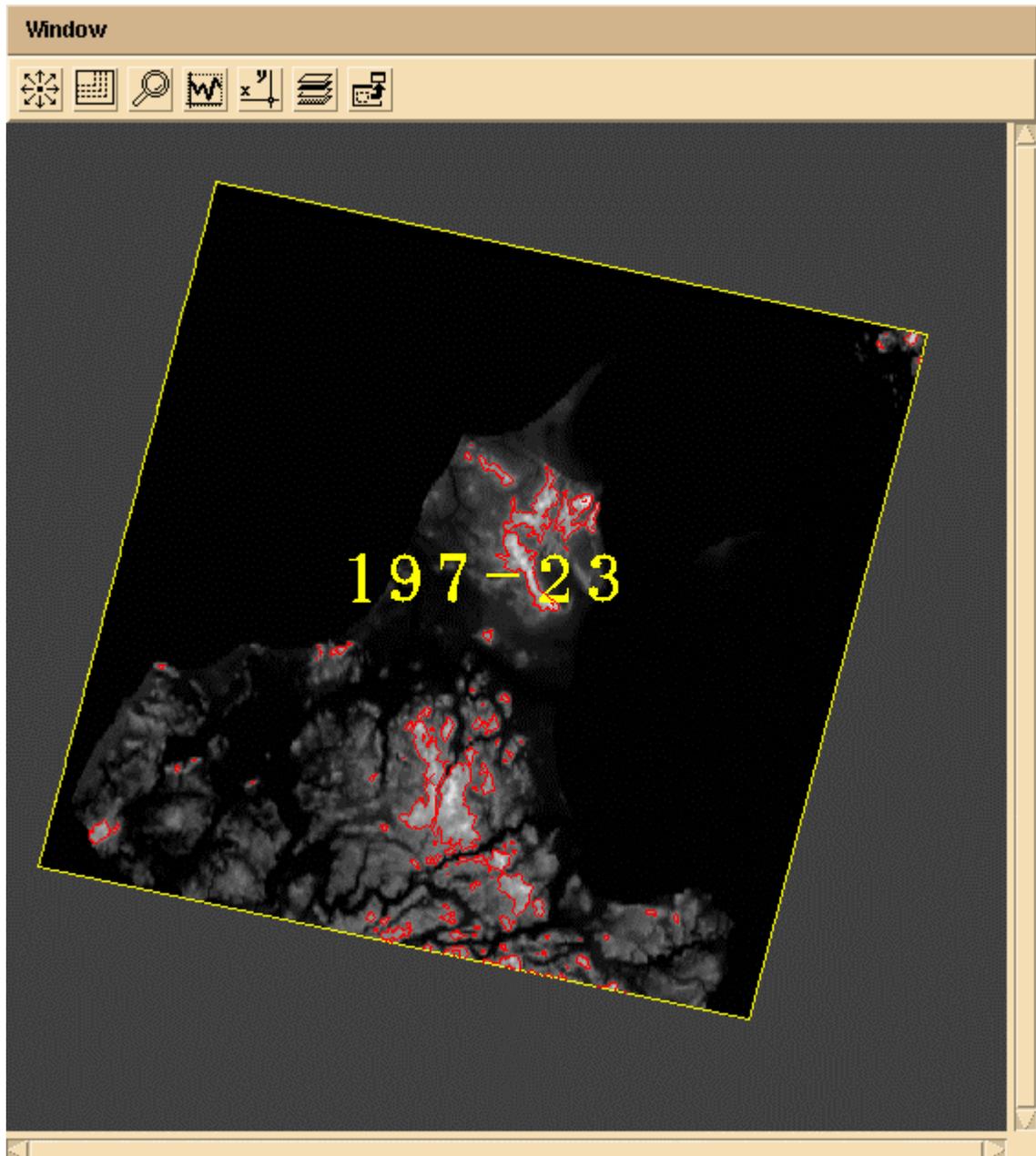


Figure 3.3-i : Relief Pays-Bas

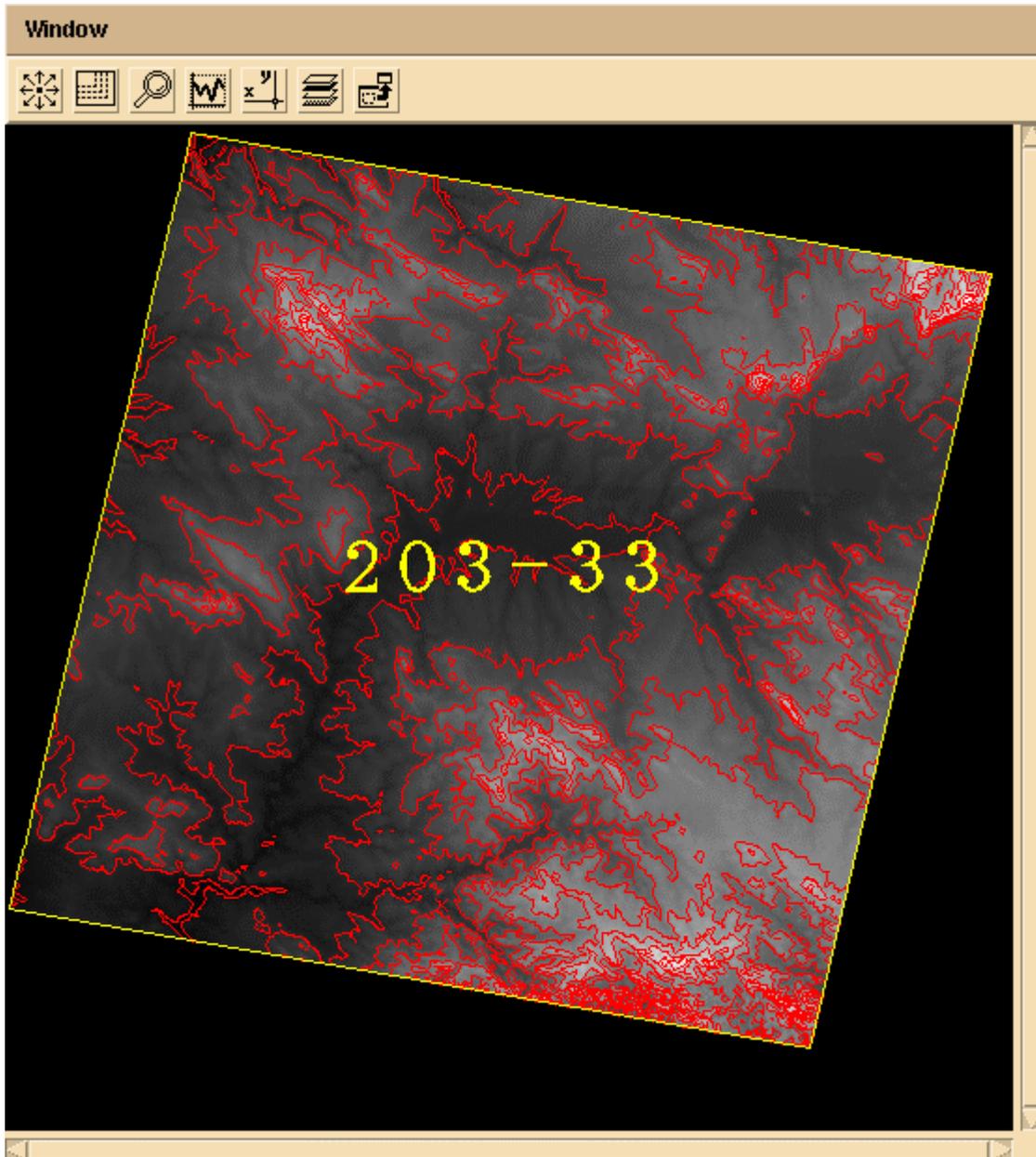


Figure 3.3-j : Relief Portugal

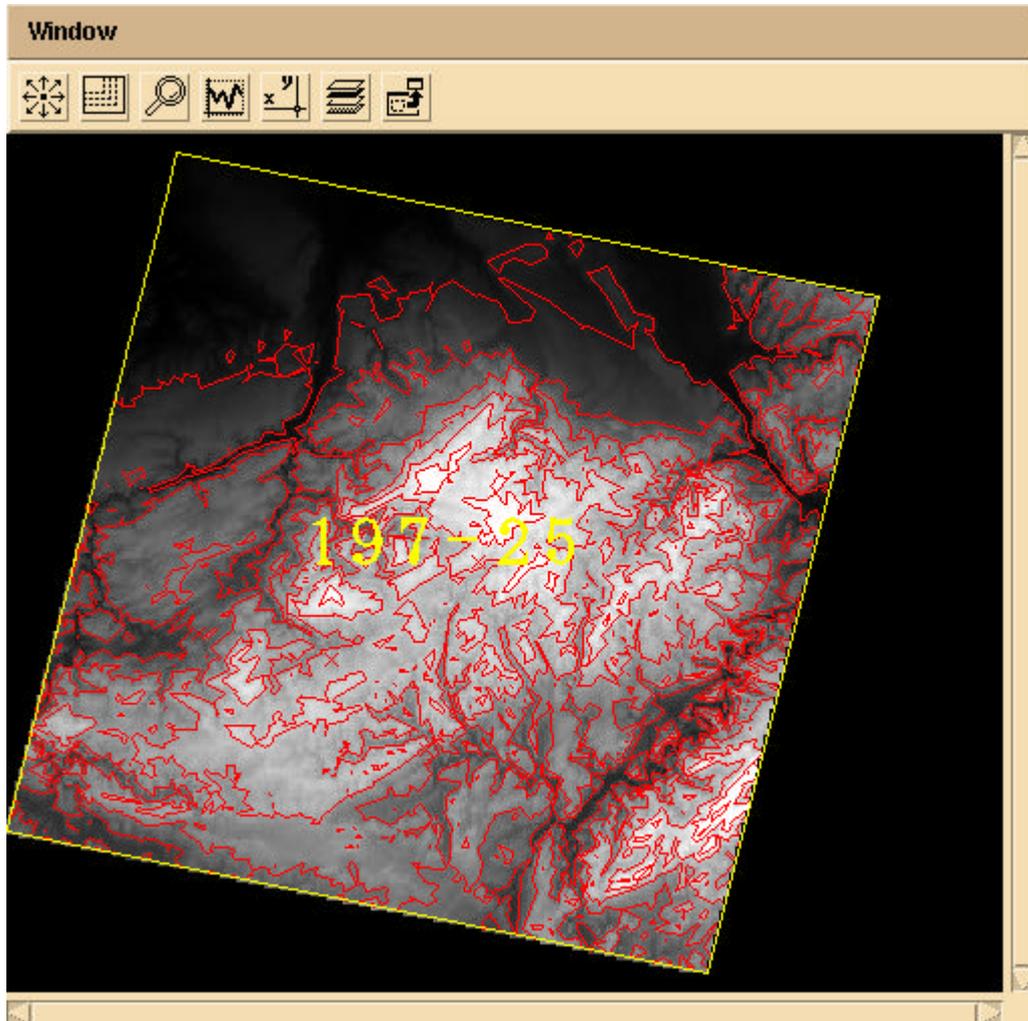


Figure 3.3-k : Relief Belgique

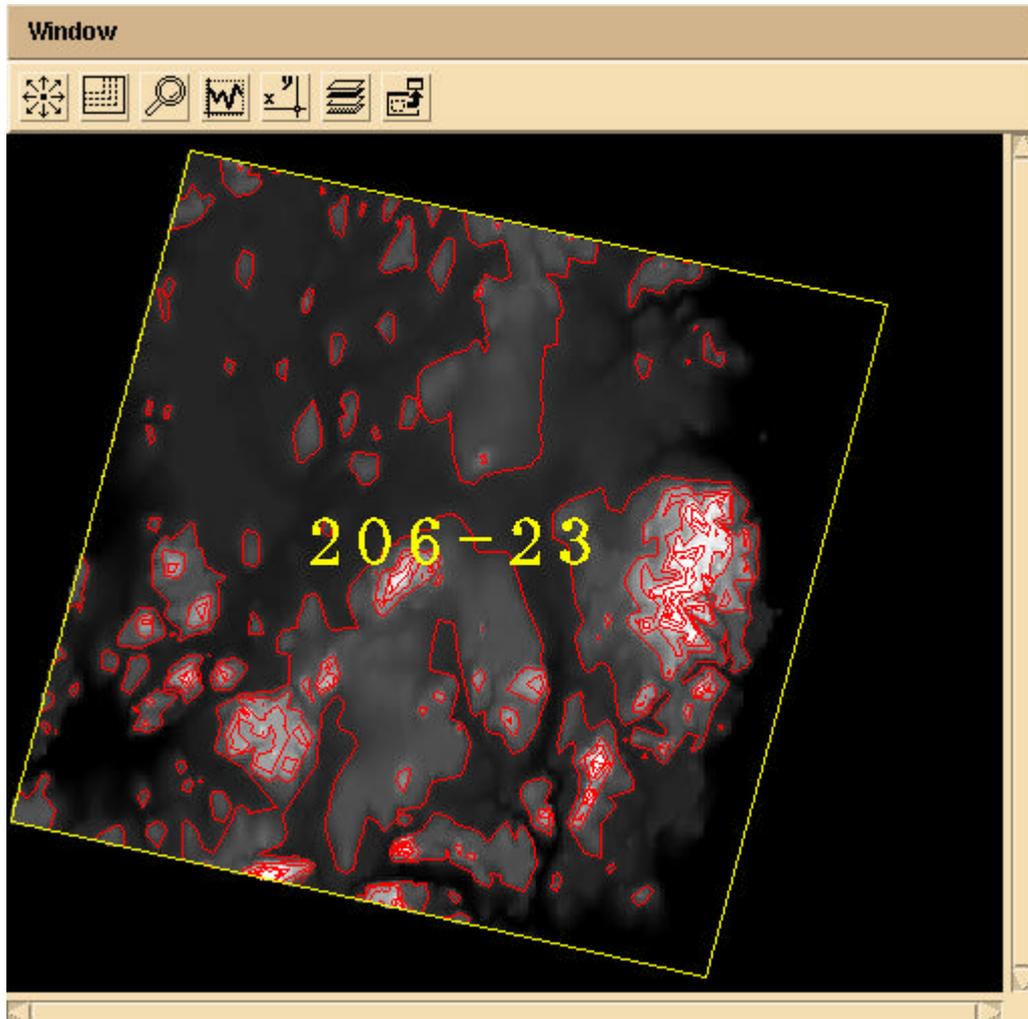


Figure 3.3-k : Relief Irlande

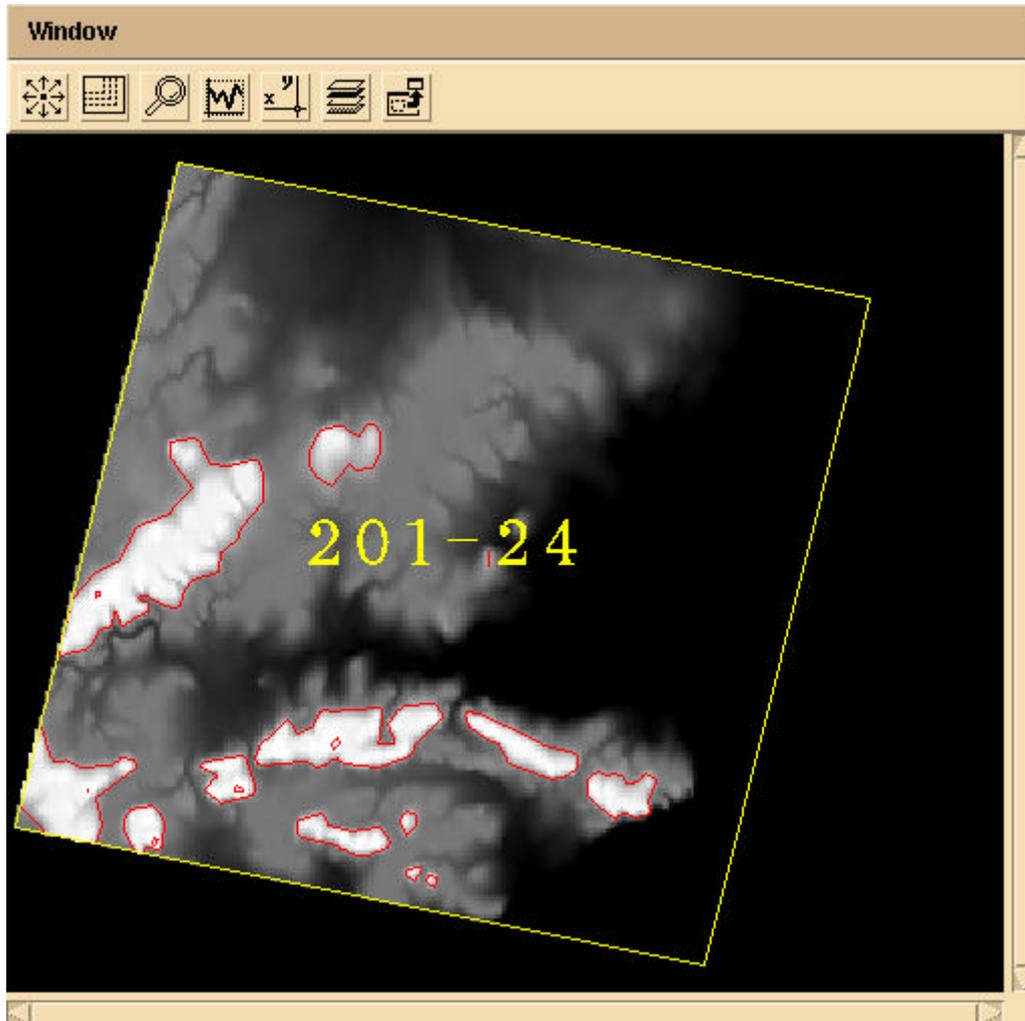


Figure 3.3-1: Relief UK



GAEL
Consultant

Contrôle Qualité des scènes Landsat 7
Image 2000

Rapport Technique

référence GAEL-P130-RPT-001

édition 7 révision 1

date 13/03/2002

page 70 de 85

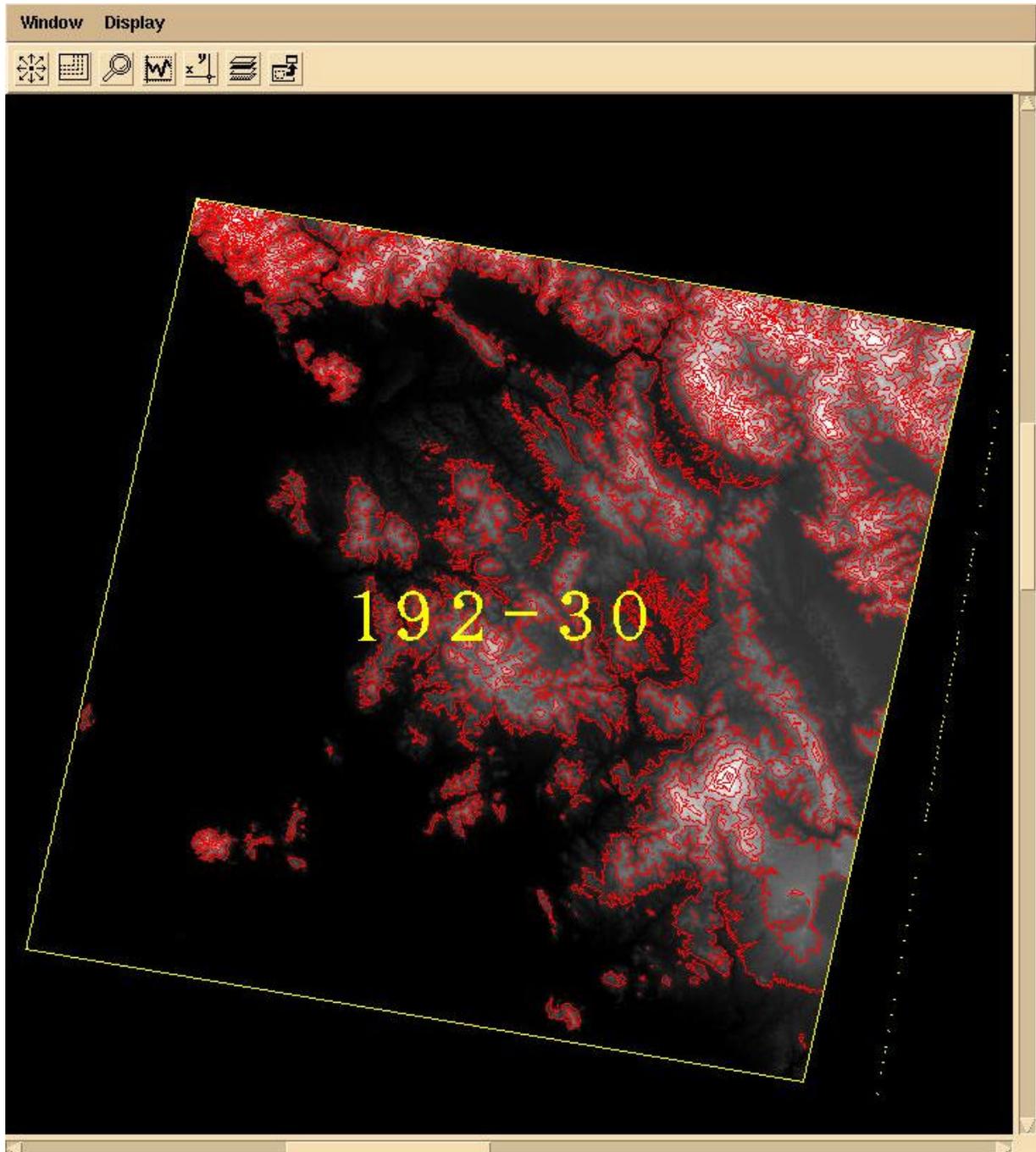


Figure 3.3.m : Relief Italie

3.5 Orthorectification et contrôle qualité de la scène 190-27 V3 (Autriche)

Cette scène a été orthorectifiée en utilisant le DEM "dem_austriany" afin de comparer la qualité de la scène orthorectifiée V3 avec celle de la scène V2 (cf § 3.5.6).

3.5.1 Méthodologie d'orthorectification

Données en entrée :

- Une scène Landsat ETM+ 190- 27 du 10/09/2000, Fast format
- Neuf (9) Cartes au 1/25000
- Un Modèle numérique de terrain avec une résolution de 50 mètres

La phase de géoréférencement (Application GEOREF) pendant laquelle se fait la prise des points d'appui, prend en compte le DEM et la tolérance de 25 mètres. Les points de référence sont pris sur les cartes à l'échelle du 1/25000 (voir l'exemple sur figure ci-dessous). Nous avons donc en temps réel la valeur de l'altitude du point sur lequel on est et peut être comparer à la valeur lue sur la carte.

L'image géoréférencée est ensuite orthorectifiée (Application MAPPER) dans la projection Lambert Conforme Conique, définie ci-après :

Projection : Lambert Conforme Conique

Ellipsoïde : Bessel 1841

Datum : Hermannskogel

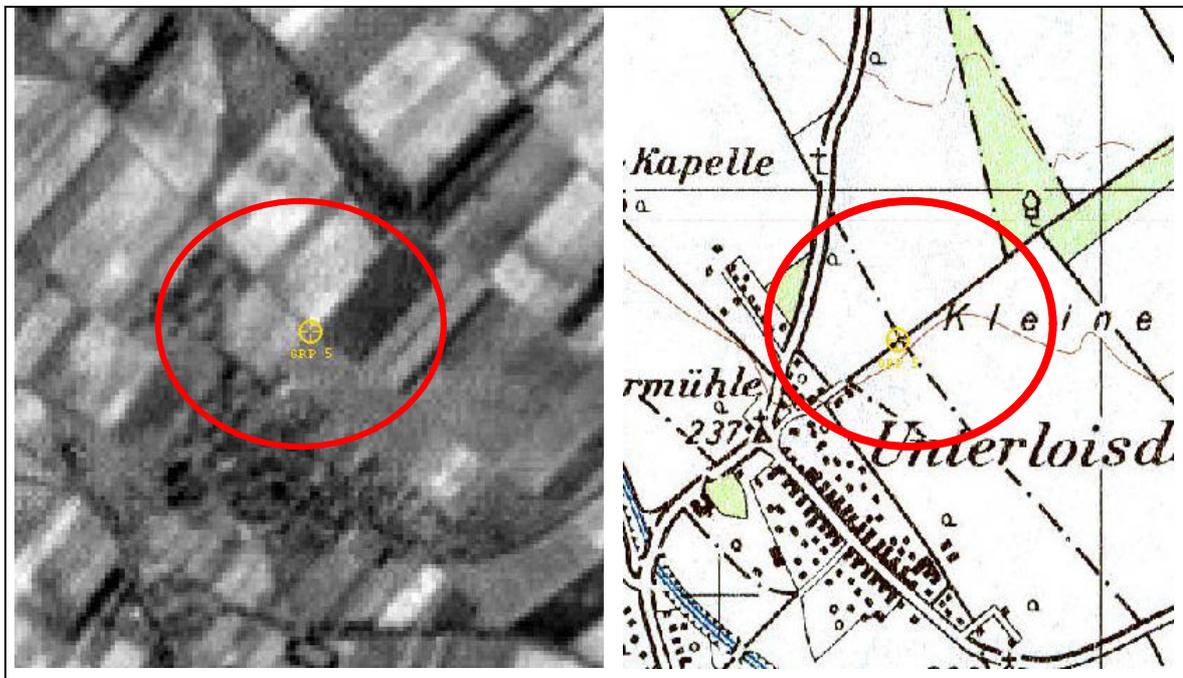


Figure 3.5.a: Géoréférencement de l'image

Les résultats du géoréférencement sont récapitulés dans le tableau ci-dessous. Nous obtenons une RMS totale de 16.170 mètres sur 36 points de référence.

Scène	Nombre de points	Ecart type X	Ecart type Y	Ecart type final	RMS_X	RMS_Y	RMS finale
190-27	36	10.633	12.180	14.520	10.635	12.181	16.170

3.5.2 Contrôle qualité et résultats obtenus

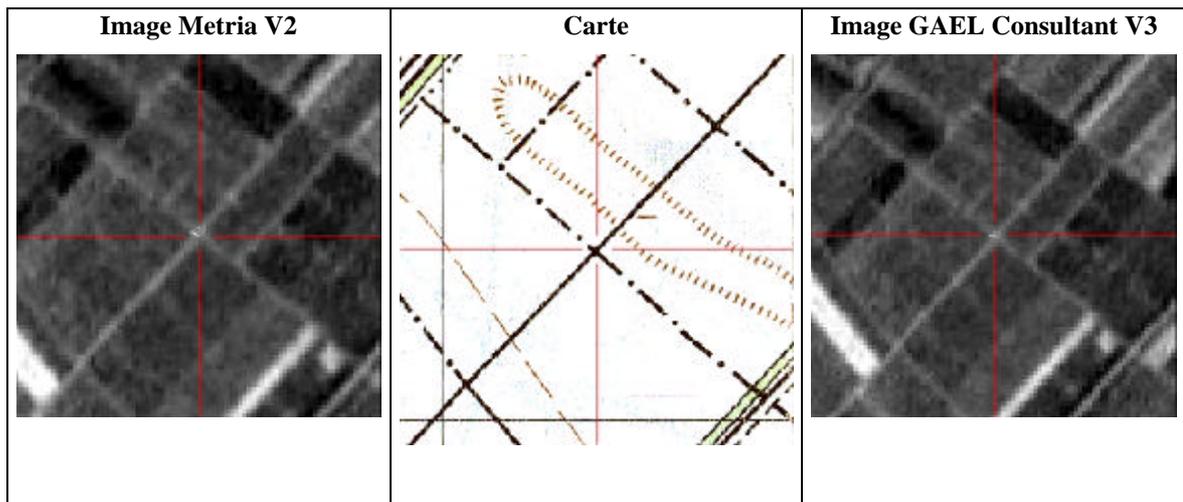
Le procédé du contrôle qualité géométrique s'est effectué en deux phases :

- Export de l'image orthorectifiée au format BIL, afin de suivre la procédure habituellement appliquée aux images fournies par Metria.
- Passage du format BIL au format interne (telimago) du logiciel de GAEL Consultant.

Les points de contrôle ayant servi pour la validation de la deuxième version de l'image traitée par Metria ont été gardés pour effectuer ce contrôle. Les cartes et les points de contrôle utilisés sont donc **exactement les mêmes** pour les scènes V2 et V3. Les résultats numériques sont rassemblés dans le tableau ci-dessous.

Scène	Nombre de points	Ecart type X	Ecart type Y	Ecart type final	RMS_X	RMS_Y	RMS finale
190-27 V2	55	14.091	20.451	14.087	15.636	21.777	26.777
190-27 V3	55	14.354	14.045	10.940	14.569	14.072	20.256

Localisation des dix premiers points de contrôle dans les deux images et sur la carte. Les résultats complets sont disponibles dans les rapports HTML





GAEL
Consultant

Contrôle Qualité des scènes Landsat 7
Image 2000

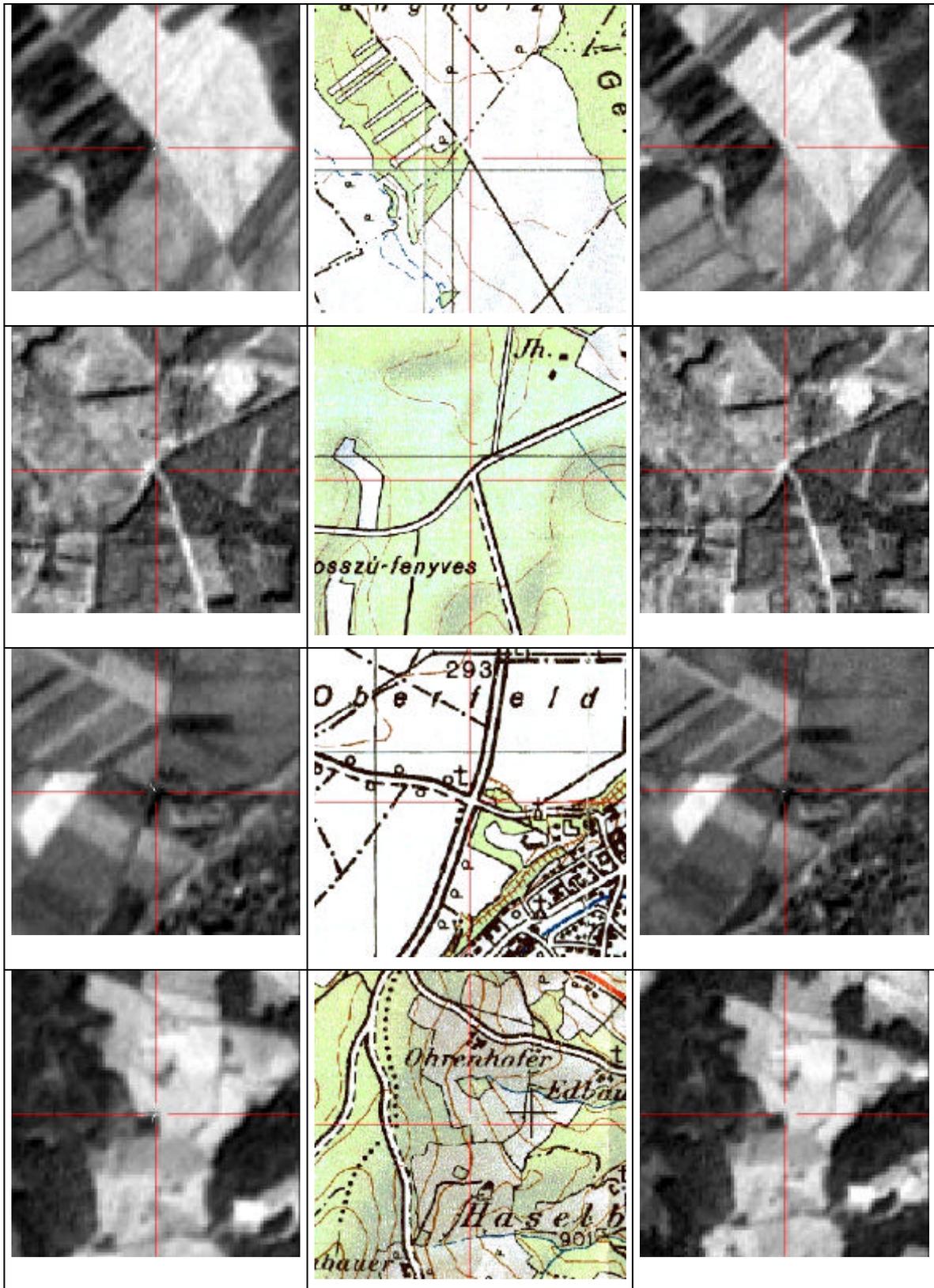
Rapport Technique

référence GAEL-P130-RPT-001

édition 7 révision 1

date 13/03/2002

page 73 de 85



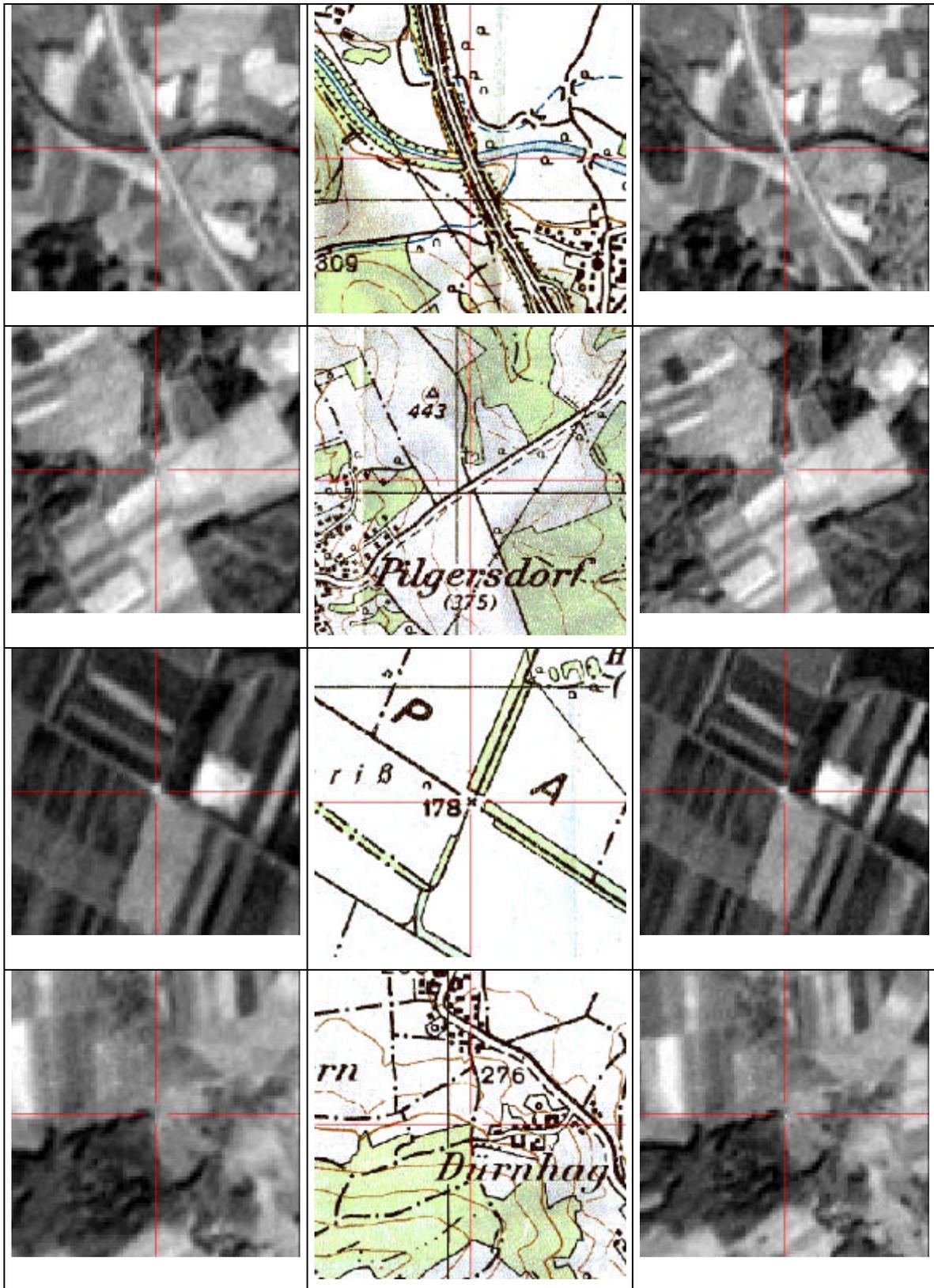




Figure 3.5 : Vecteurs scène 190-27 (X500)

3.6 Conclusions

Le contrôle qualité réalisé fait apparaître les éléments suivants:

3.6.1 Scan des cartes

La numérisation des cartes à la résolution de 400 dpi est largement suffisante pour effectuer ce type de contrôle. Le géoréférencement des cartes a donné des moyennes de RMS inférieures à 5 mètres. Le modèle de déformation utilisé étant un modèle polynomial de degré 1 (bilinéaire), la répartition des points de référence (GRP) sur l'ensemble de la carte à géocoder est rigoureuse.

3.6.2 Contrôle qualité du canal panchromatique

Les valeurs d'erreur obtenues en effectuant le contrôle des scènes Landsat 7 ETM+ PAN (RMS toujours inférieure à 17 mètres) sont en dessous de la spécification géométrique fixée à 25 mètres en RMS. L'utilisation des cartes numériques aux échelles 1/20000 et 1/25000 est parfaitement adaptée.

3.6.3 Contrôle qualité des canaux multi-spectraux

Le contrôle qualité réalisé n'a pas permis de d'observer un décalage entre les canaux supérieur au pixel (12,5 mètres).

Enfin, les défauts suivants ont été constatés.

3.6.4 Défaut observé pour le datum de la scène Landsat Luxembourg

Sur la scène du Luxembourg, après vérification à partir des cartes géocodées, nous avons noté que le datum qui a été utilisé n'est pas ED50 comme mentionné sur les documents mais plutôt LUREF (Luxembourg Reference Frame).

3.6.5 Défaut de radiométrie observé dans la scène Landsat Suède

La scène 195-15 sur la Suède présente dans sa partie Est des pixels à 0 (valeur plutôt réservée pour faire figurer pixels de background dû à l'inclinaison de la scène). Ces pixels à 0 ont été mis en évidence en réalisant l'image vectorielle de leur limite (ligne en pointillé dans la partie Est de l'image ci-après).

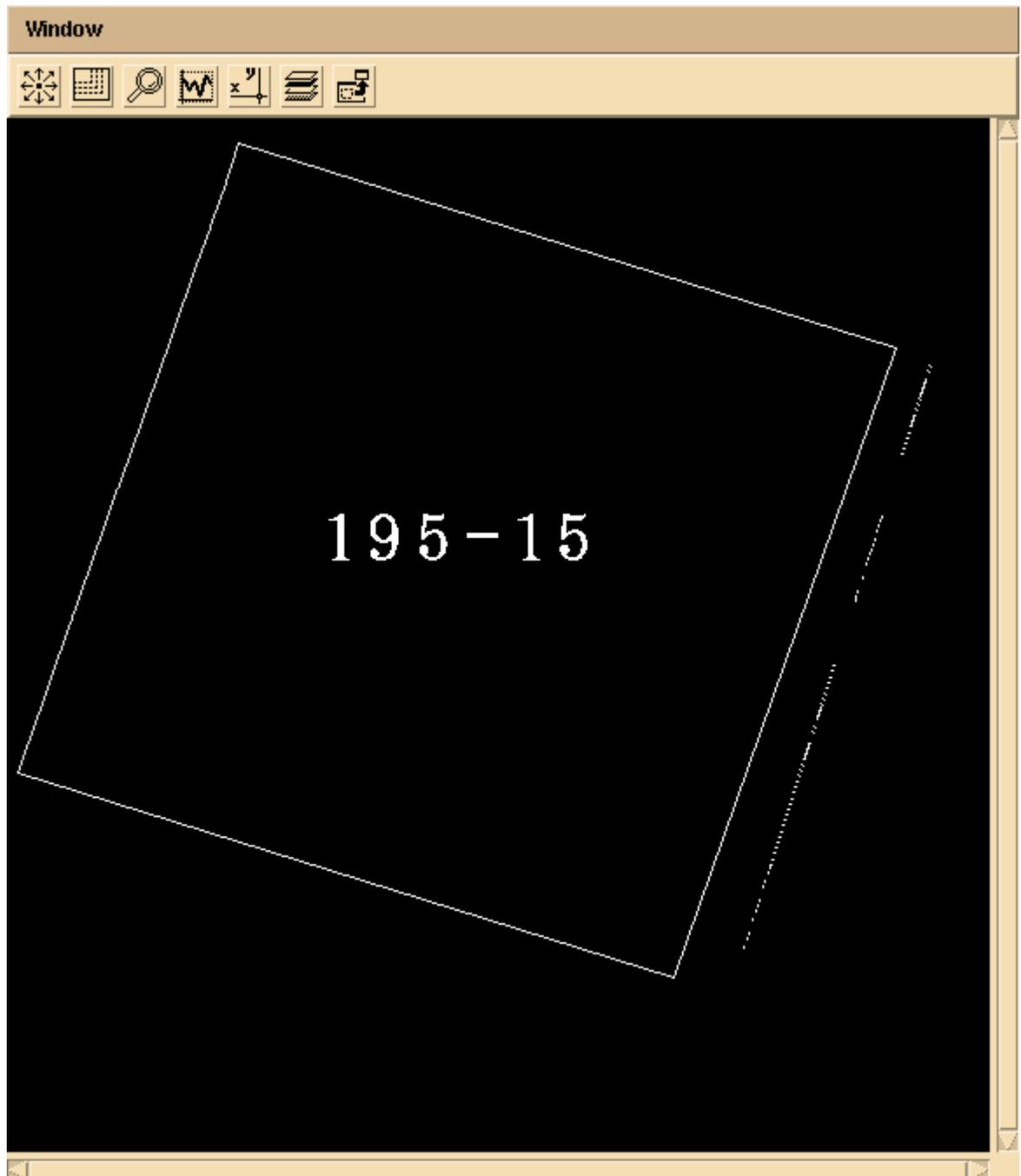


Figure 3.6.a: Pixels à valeurs nulle (0)



3.6.6 Défaut de radiométrie observé dans la scène Landsat Italie

La scène 192-30 sur l'Italie présente dans sa partie Est des pixels à 0 (valeur plutôt réservée pour faire figurer pixels de background dû à l'inclinaison de la scène). Ces pixels à 0 ont été mis en évidence en réalisant l'image vectorielle de leur limite (ligne en pointillé dans la partie Est de l'image ci-après).

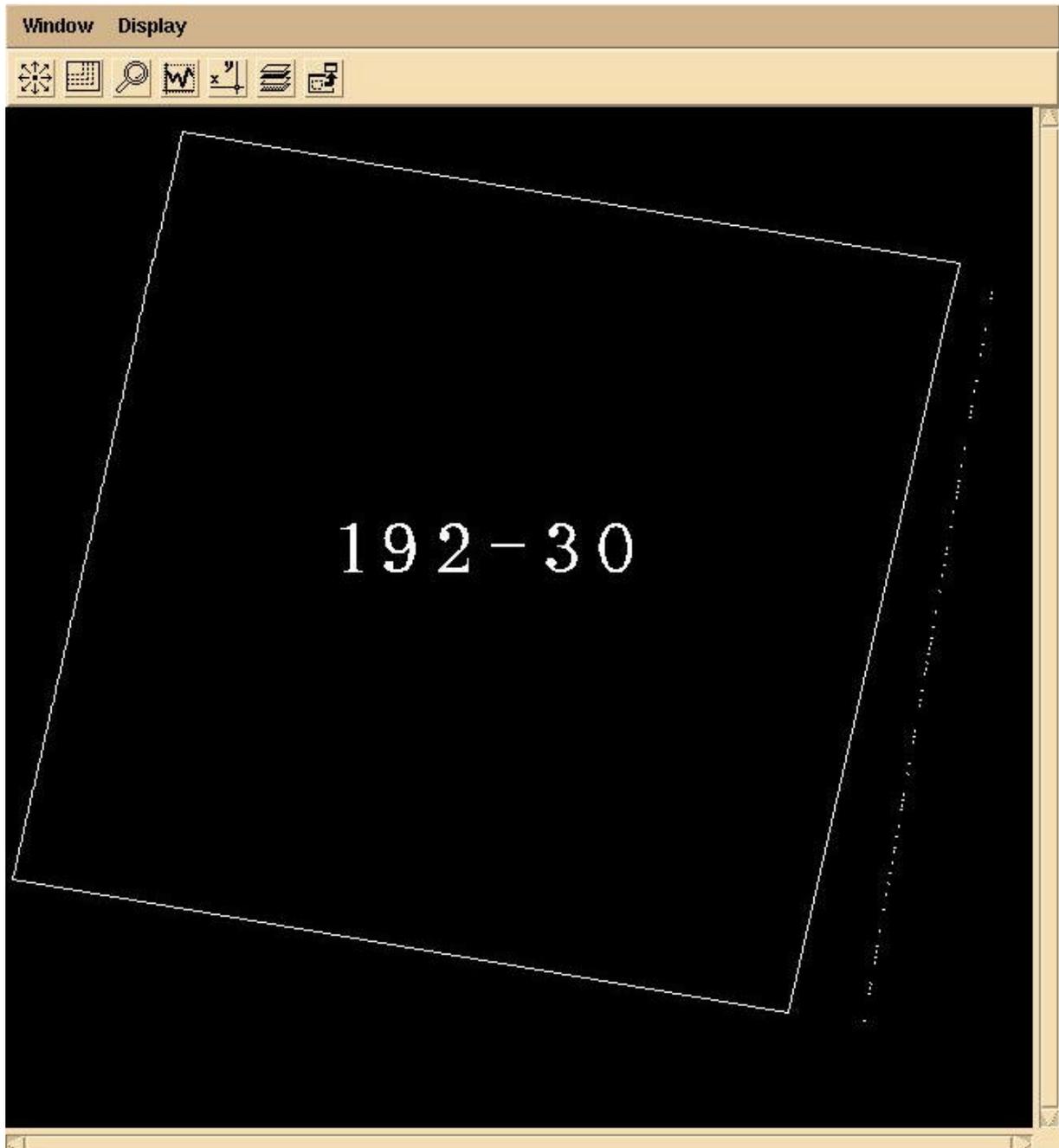


Figure 3.6.b : Pixels a valeur nulle (0)

3.6.6 190-27 – Autriche – Erreur RMS à 59 mètres

La scène 190-28 acquise le 10/09/2000 présente une erreur de localisation hors norme : **59.302 m.** (voir le rapport complet en section 5.6).

Cette scène est géocodée dans le système « Lambert Conforme Conique » national de l’Autriche (voir section 1.3.6). Le contrôle de localisation a été effectué à partir de cartes dont la projection native est le « Transverse Mercator » dans les fuseaux M31 (3 cartes situées à l’Ouest) et M34 (les 6 autres cartes) qui constituent un autre système national local à l’Autriche.

On note que parmi les dix pays contrôlés à ce jour, la projection de l’image Landsat est pour la première fois différente de celles des cartes.

La figure 3.5.5 ci-dessous montre les vecteurs d’erreur observés amplifiés par un facteur x500.

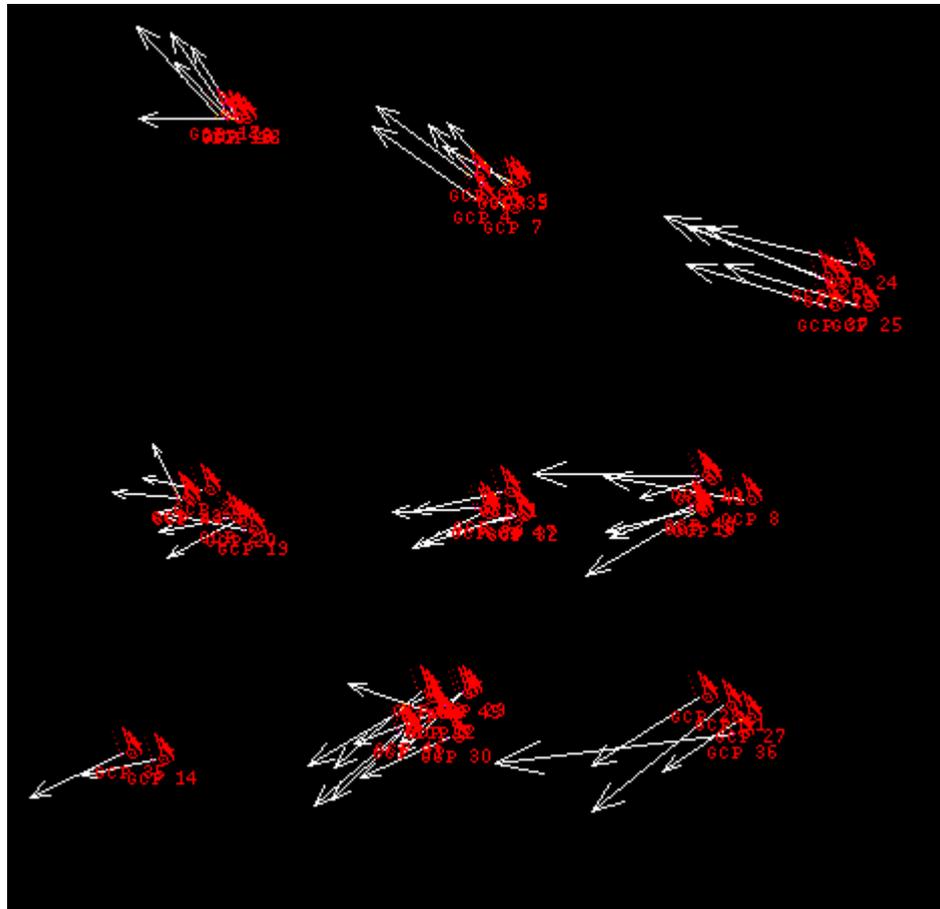


Figure 3.6.b – Scène 190-27, vecteurs d’erreur.

On note un mouvement dirigé d’Est en Ouest avec une redirection vers le Nord plus on s’approche de la partie Ouest. Ce type de divergence ne pourrait être interpolé que par un polynôme de degré au moins égal à deux.

Cette déformation est globale sur les neuf (9) cartes, elle ne résulte donc pas d’une erreur lors du passage des six (6) cartes en M34 vers les trois (3) autres en M31.



GAEL
Consultant

**Contrôle Qualité des scènes Landsat 7
Image 2000**

Rapport Technique

référence GAEL-P130-RPT-001

édition 7 révision 1

date 13/03/2002

page 81 de 85

Une telle erreur pourrait être due à un mauvais passage des coordonnées des cartes du système "Transverse Mercator" vers celles de l'image Landsat dans le système "Lambert Conforme Conique" ou de valeurs d'ellipsoïde ou datum erronées.

3.6.7 190-27 – Autriche version 2– Erreur RMS à 26.745 mètres

La nouvelle version de la scène 190-27, présente une RMS de 26.745 mètres. Les points de contrôle ont été pris sur les neuf (9) cartes, soit six (6) points au minimum par carte. Sur un total de cinquante cinq (55) points, quarante trois (43) sont dans la tolérance (RMS inférieure à 25 mètres) soit 78 % et douze (12) points hors tolérance soit 22 %.

Les points présentant une RMS supérieure à la tolérance, sont localisés en grande partie dans le sud-est de l'image (voir figure 3.5.6). Ces erreurs sont probablement dues aux défauts locaux sur le DEM et au changement de systèmes de projection.

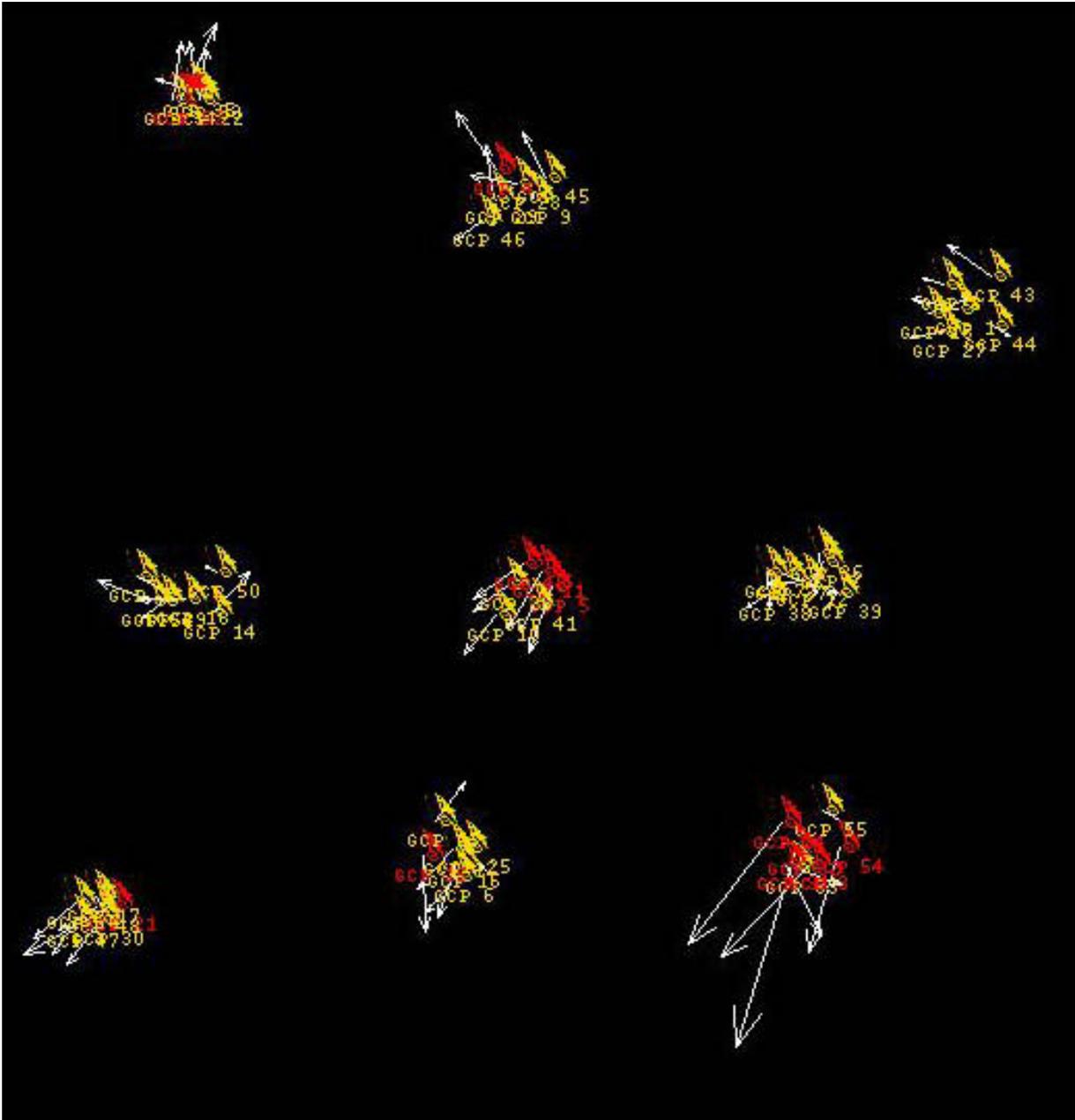


Figure 3.6.c - Scène 190-27 v2, Vecteurs d'erreurs (x 500)

Le mouvement observé au paragraphe 3.5.5 reste présent, mais avec une plus faible amplitude que celle observée dans la figure 3.5.5.

3.6.8 190-27 – Autriche – Changement de gain dans le canal 4

Ainsi que l'illustre la figure 3.5.7 ci-dessous, le canal 4 de la scène 190-27 acquise le 10/09/2000 présente une différence de luminosité dans la partie inférieure de l'image.

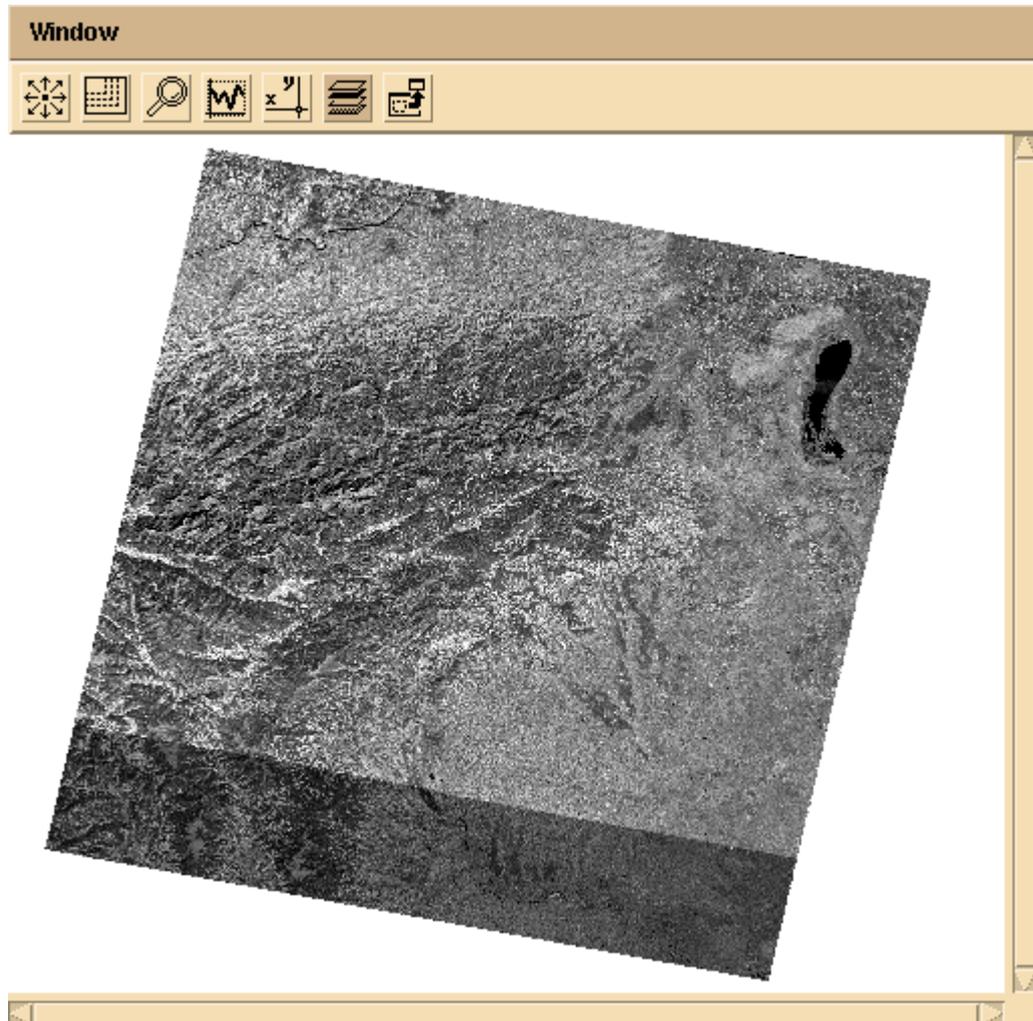


Figure 3.6.d – Scène 190-27, changement de gain dans le canal 4.

Ce type de défaut est dû au changement de gain réalisé par la mission Landsat 7 lors du survol de zones dont la réflectance est très différente.

Un tel défaut peut fausser les interprétations d'une interprétation thématique (par exemple la classification).

3.6.9 206-23 - Irlande – Défauts dans la partie sud de la scène

La scène 206-23 sur l'Irlande présente des EQM (RMS) supérieures à la tolérance (25 mètres) dans la partie sud de l'image. La figure ci-dessous montre un mouvement général sud-ouest avec une direction privilégiée sud et un étirement au nord ouest. Les points rouges ont une EQM au dessus des 25 mètres.

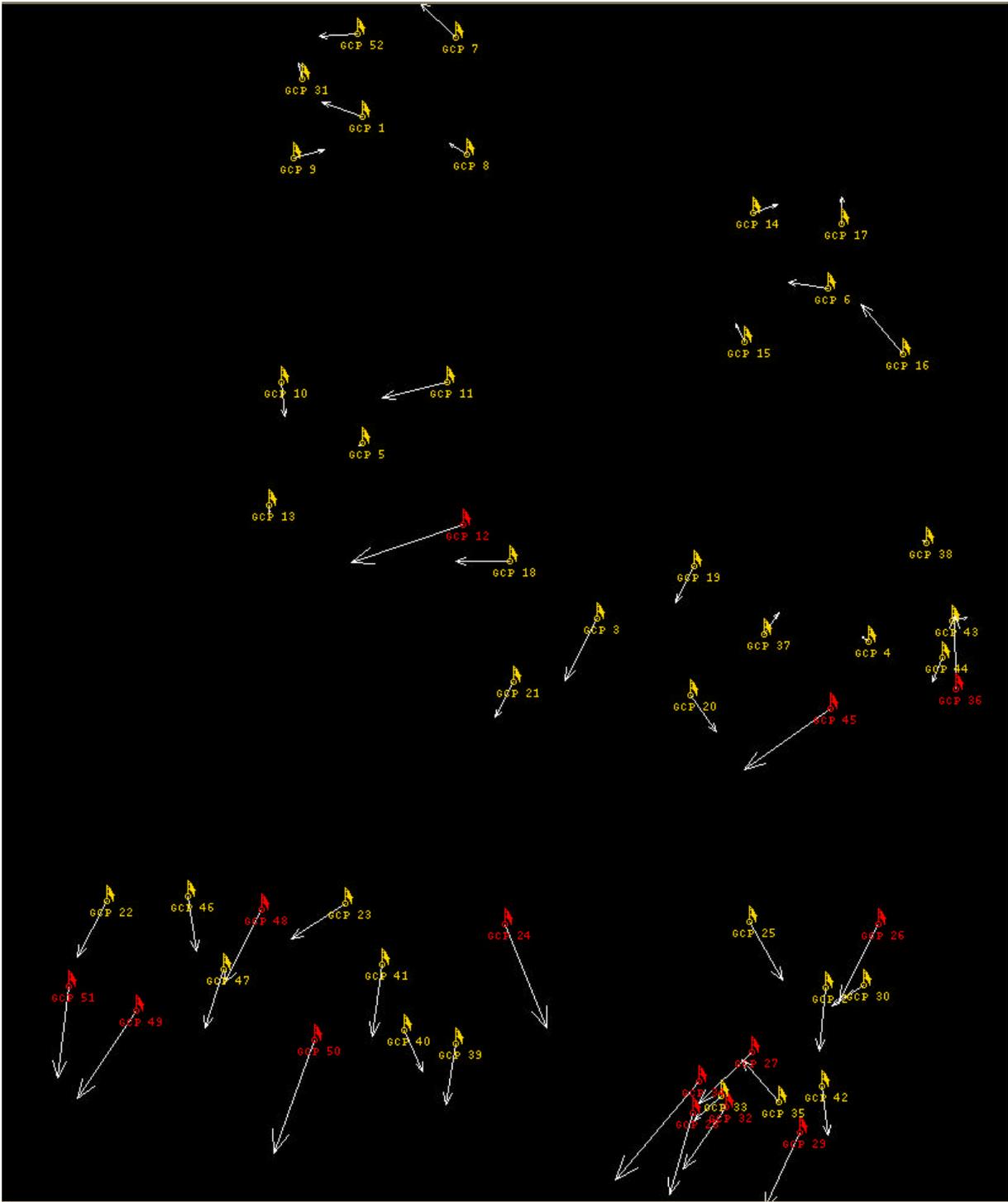


Figure 3.6.e+ : Vecteurs d'erreurs sur l'image 206-23

Conclusion

Malgré une RMS totale de 21.954 mètres et donc inférieure aux deux (2) pixels de tolérance, le pourcentage des points rejetés est supérieur à 10 % (27 % observés). Ces défauts locaux, peuvent provenir soit :

- Du processus d'orthorectification c'est à dire que la parallaxe dûe au relief n'a pas été correctement corrigée.
- Aux cartes (1:50000), car pour un contrôle efficace d'une scène à 12.5 mètres de résolution , les cartes au 1:25000 sont les mieux adaptées.

3.6.10 Informations fournies par le producteur des données

On note que les informations fournies par le producteur des données sur les projections ne sont pas toujours exactes.

- Le datum sur l'Ireland n'est pas "Airy Modified" mais plutôt "Ireland 1965".
- Le datum sur UK "OSGB 1939" n'existe pas mais plutôt "OSGB 1936".