

<b>Zeitschrift:</b>	Eclogae Geologicae Helvetiae
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerische Geologische Gesellschaft
<b>Band:</b>	89 (1996)
<b>Heft:</b>	3
<b>Artikel:</b>	Néotéction de la région sud-lémanique (Haute-Savoie, France) : approche multisources (imagerie optique et hyperfréquences, analyse morphostructurale)
<b>Autor:</b>	Raymond, Daniel / Deffontaines, Benoit / Ferhi, Andre
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-167929">https://doi.org/10.5169/seals-167929</a>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 25.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Néotectonique de la région sud-lémanique (Haute-Savoie, France): approche multisources (imagerie optique et hyperfréquences, analyse morphostructurale)

DANIEL RAYMOND<sup>1</sup>, BENOIT DEFFONTAINES<sup>1</sup>, ANDRE FERHI<sup>2</sup>, JEAN-MARCEL DORIOZ<sup>3</sup>  
& JEAN-PAUL RUDANT<sup>1</sup>

## ABSTRACT

The South Lemanic area (Chablais, Haute-Savoie, France) is composed of a part of the Perialpine molassic foreland basin, overthrust on its southern boundary by the Chablais prealpine nappes. The neotectonics of the South Lemanic area is studied in the light of a multisource and multiscale approach, based on both, (1) the analysis of optical images (SPOT scenes and aerial photographs), radar (airborne Synthetic Aperture Radar – SAR – and European satellite SAR ERS-1; and (2) a numerical morphologic analysis.

The results are then compared to field data. Following this methodology, some major alignments were revealed. Two of them are of great interest dealing with our neotectonic investigation:

(1) A N125°E alignment which runs from Evian to Vacheresse; it corresponds to the southeastern extension of the already known Buchillon-Evian fault.

(2) A N020°E alignment superimposed to the Bonnevaux fracture.

These alignments are observed from various sources and at different scale highlighted for instance by drainage anomalies. The field work completed by drillings and geophysical data confirms their tectonic origin, in a present-day or recent normal component. Otherwise we have recognized on the field several fractures of quaternary age, invisible on the various images.

At a regional scale, one may individualize an “Evian compartiment” bound by reactivated tectonic fractures characterized by a present-day normal component. In order to interpret this extension which does not fit with the regional present-day stress field (NW-SE compression), we suggest the presence of a gravitational escape toward the N based on the analysis of the local topography.

## RESUME

La région sud-lémanique (Chablais, Haute-Savoie, France) comprend un tronçon du sillon molassique péréalpin, chevauché sur sa bordure S par les nappes préalpines du Chablais. Un manteau de formations glaciaires et fluvioglaciaires masque en grande partie les formations molassiques et le front des nappes.

La néotectonique de la région sud-lémanique est étudiée ici grâce à une approche multisources et multiscale, basée d'une part sur l'étude d'images optiques (scènes SPOT et photos aériennes), radar (Radar à Ouverture Synthétique – ROS – aéroporté et satellite européen SAR ERS-1), et d'autre part sur une analyse morphologique numérique, les résultats étant confrontés aux données de terrain.

Différents alignements ont ainsi été reconnus: deux d'entre eux sont particulièrement importants:

(1) un alignement N125°E que l'on observe depuis l'W d'Evian jusqu'à Vacheresse; cet alignement est situé dans le prolongement SE de l'accident de Buchillon-Evian, déjà connu.

(2) un alignement N020°E superposé à l'accident de Bonnevaux.

<sup>1</sup> Unité de Recherches Associée au C.N.R.S. n° 1759 et Dpt de Géotectonique, Case 129, T26, E1, Université Pierre & Marie Curie, 4 Place Jussieu, F-75252 Paris Cedex 05

<sup>2</sup> Université Pierre & Marie Curie, Centre de Recherches Géodynamiques, Avenue de Corzent, F-74203 Thonon-les-Bains

<sup>3</sup> I.N.R.A., Station de Thonon-les-Bains, Avenue de Corzent, F-74203 Thonon-les-Bains

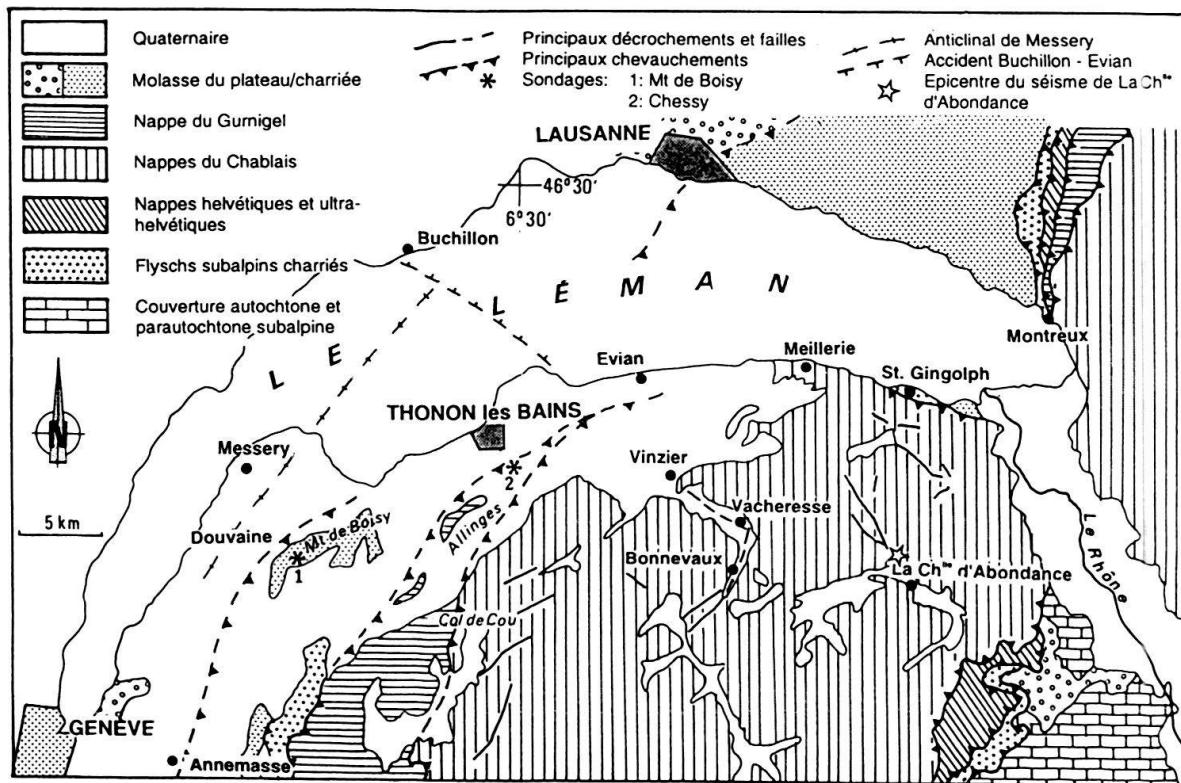


Fig. 1. Schéma structural de la région sud-lémanique (d'après la carte géologique à 1 : 250 000e de Thonon-les-Bains, modifiée).

Ces alignements sont observés à partir de différentes sources à diverses échelles; par ailleurs leur trajet est souligné par des anomalies de drainage du réseau hydrographique.

L'analyse de terrain, à laquelle s'ajoutent des résultats de forages et des données géophysiques, montre que ces alignements correspondent à des accidents tectoniques dont le dernier rejet d'âge quaternaire est en faille normale. Par ailleurs d'autres accidents affectant le Quaternaire, non visibles sur les images, ont pu être repérés.

A l'échelle régionale, on définit un "compartiment d'Evian", limité par des failles à jeu normal actuel ou récent. Afin d'interpréter cette extension qui ne s'inscrit pas dans le contexte du champ régional actuel des contraintes (contrainte maximale horizontale NW-SE), l'hypothèse, basée sur l'analyse de la topographie locale, d'un affaissement gravitaire vers le N du compartiment d'Evian est suggérée.

## 1. Introduction

Le but de cette note est d'apporter des données nouvelles sur la néotectonique du segment NW de l'arc alpin (région sud-lémanique). Pour cela, nous avons étudié la fracturation actuelle et récente de cette région grâce à une approche multisources et multiscalaire (Raymond et al. 1994). Cette approche s'appuie d'une part sur des images optiques (scènes SPOT et photos aériennes), des images provenant de radars à ouverture synthétique (ROS) aéroporté et satellitaire, et d'autre part sur une analyse morphologique numérique. Ce travail a ensuite été confronté aux observations de terrain.

Cette étude, replacée dans le cadre géologique régional et reliée aux autres données disponibles (forages, séismicité régionale) montre l'existence dans cette région d'une fracturation du Quaternaire.

## 2. Grands traits géologiques de la région sud-lémanique (fig. 1)

Dans la région sud-lémanique (Chablais, Haute-Savoie, France), on observe deux grands ensembles: d'une part, au NW d'une ligne Thonon-les-Bains–Annemasse, un tronçon du sillon molassique péréalpin, et d'autre part au SE de cette ligne, les nappes préalpines du Chablais, largement charriées sur la molasse de l'avant-pays.

Un manteau de formations glaciaires et fluvio-glaciaires quaternaires masque en grande partie les formations molassiques et le front des nappes.

### 2.1 Grandes unités

#### a) La molasse

Elle affleure dans la région de St Gingolph, et au Mt. de Boisy (E de Douvaine) sous un faciès de marnes bariolées à intercalations de calcaires bruns et d'anhydrite, passant vers le haut à une série gréso-marneuse. La molasse est également reconnue sous le Quaternaire de la région d'Evian grâce à divers forages.

#### b) Les nappes du Chablais

On distingue, du N au S, et de bas en haut de l'édifice structural alpin, les unités suivantes (Spicher 1980, Broquet et al. 1985):

- (1) quelques lambeaux de flyschs subalpins ou ultra-hévétiques (S du Mt. de Boisy, St. Gingolph);
- (2) la nappe du Gurnigel, formée essentiellement par un puissant conglomérat polygénique d'âge éocène; cette nappe affleure au SW de Thonon (col de Cou, colline des Allinges) (Vial et al. 1989);
- (3) la nappe des Médianes Plastiques; il s'agit d'une épaisse série calcaro-marneuse, décollée sur un coussinet de gypse et de cargneules. Elle chevauche la nappe du Gurnigel au col de Cou. Vers le NE, le contact disparaît sous le Quaternaire. Les gypses et les cargneules triasiques situés à la base des Médianes affleurent néanmoins sporadiquement le long de la Dranse, sur le plateau de Vinzier, et en bordure du lac Léman à l'W de Meillerie.

Les autres unités (nappe de la Brèche et nappe de la Simme), n'existent pas au front du complexe charrié du Chablais; comme elles sont situées en dehors de la région qui nous intéresse, elles ne seront pas décrites ici.

#### c) Le Quaternaire

Les dépôts du Quaternaire recouvrent la molasse au niveau de la dépression du lac Léman et du Bas Chablais (S d'Evian, S et SW de Thonon). Par ailleurs ils comblent les grandes vallées du Chablais (Arve, Dranses, Rhône). Leur épaisseur est très variable; elle peut atteindre 400 m au sondage des Tours au S d'Evian (Vial et al. 1976), près de 500 m dans la partie E du lac Léman (Vernet et al. 1974), 1000 m dans la vallée du Rhône près de son entrée dans le lac Léman (Finckh & Klingelé 1991). Dans la région d'Evian, on distingue, au sein du Quaternaire les formations suivantes, de bas en haut (Morlot 1858, Gagnebin 1937 et 1938, Burri 1963, Blavoux & Dray 1971, Vial 1975):

- (1) de rares témoins, peu épais, d'une ancienne moraine attribuée au Riss (Burri 1963, Bakalowicz et al. 1970);
- (2) le conglomerat des Dranses, dont la puissance peut atteindre 150 m. Il s'agit d'un dépôt fluviatile affleurant principalement le long de la Dranse. La limite d'érosion N est située immédiatement au SE de Thonon (Bakalowicz et al. 1970) et son extension latérale semble limitée (Blavoux & Dray 1971). L'âge du conglomerat des Dranses est discuté: alluvions de progression würmiennes (Gagnebin 1937, Burri 1963), ou bien alluvions cataglaciaires de retrait du glacier rissien cimentées pendant l'interglaciaire Riss-Würm (Bourdier 1961, Bakalowicz et al. 1970);
- (3) une formation morainique d'épaisseur variable, admettant des niveaux sableux plus ou moins anastomosés constituant le réservoir aquifère d'Evian (Blavoux 1966);
- (4) une formation fluvio-glaciaire supérieure perméable (galets, graviers, sables et limons) recélant la nappe phréatique générale et la nappe captive de Thonon. Sur le plan morphologique, divers cordons et vallums morainiques émergent du Fluvio-Glaciaire supérieur. La surface de cette dernière formation est accidentée d'assez nombreuses dépressions, de forme circulaire ou irrégulière, interprétées généralement comme des «kettles» (dolines dues à la fusion de lentilles de glace au sein de la moraine, entraînant les particules fines et provoquant l'affaissement des terrains sus-jacents).

## 2.2 Principaux traits structuraux

### a) Chevauchements et plis

Le chevauchement des nappes sur la molasse est visible à l'affleurement dans la région de St. Gingolph. Plus à l'W, il est situé au S d'Evian (Vial et al. 1976 et données inédites), au N du sondage de Chessy (Dray 1970), et entre le Mt. de Boisy et la colline des Allinges. Par ailleurs, l'ensemble des nappes est affecté de plis d'axe N60°E.

Au N de ce chevauchement frontal, l'anticlinal du Mt. de Boisy, faisant affleurer la molasse, expose une structure dissymétrique (flanc court au NW et flanc long au SE). Nous pensons qu'il s'agit là d'un anticlinal de rampe en relation avec le chevauchement sous-jacent vers le NW d'une écaille de molasse charriée sur un autochtone relatif constitué par la molasse située plus au N. En effet cette disposition structurale est habituelle dans la partie interne du sillon molassique au front des unités alpines aussi bien au NE de Lausanne que vers le SW dans la région de Genève (Spicher, 1980, Broquet et al. 1985, Gorin et al. 1993). Ceci expliquerait par ailleurs la grande épaisseur des dépôts traversée par le forage du Mt. de Boisy (Olive et al. 1987). Notons que l'axe anticlinal du Mt. de Boisy se poursuit vers le NE jusqu'au delta de la Dranse (Vial et al. 1989). Plus au N, la molasse constituant l'autochtone relatif est elle-même plissée dans le synclinal de Douvaine et dans l'anticlinal de Messery, ce dernier se prolongeant vers le NE sous le lac Léman (Vernet et al. 1974).

### b) Failles et décrochements

Diverses failles et décrochements recoupent les nappes du Chablais et la molasse. Au sein du complexe charrié les plus remarquables sont (Badoux & Mercanton 1962) (fig. 1):

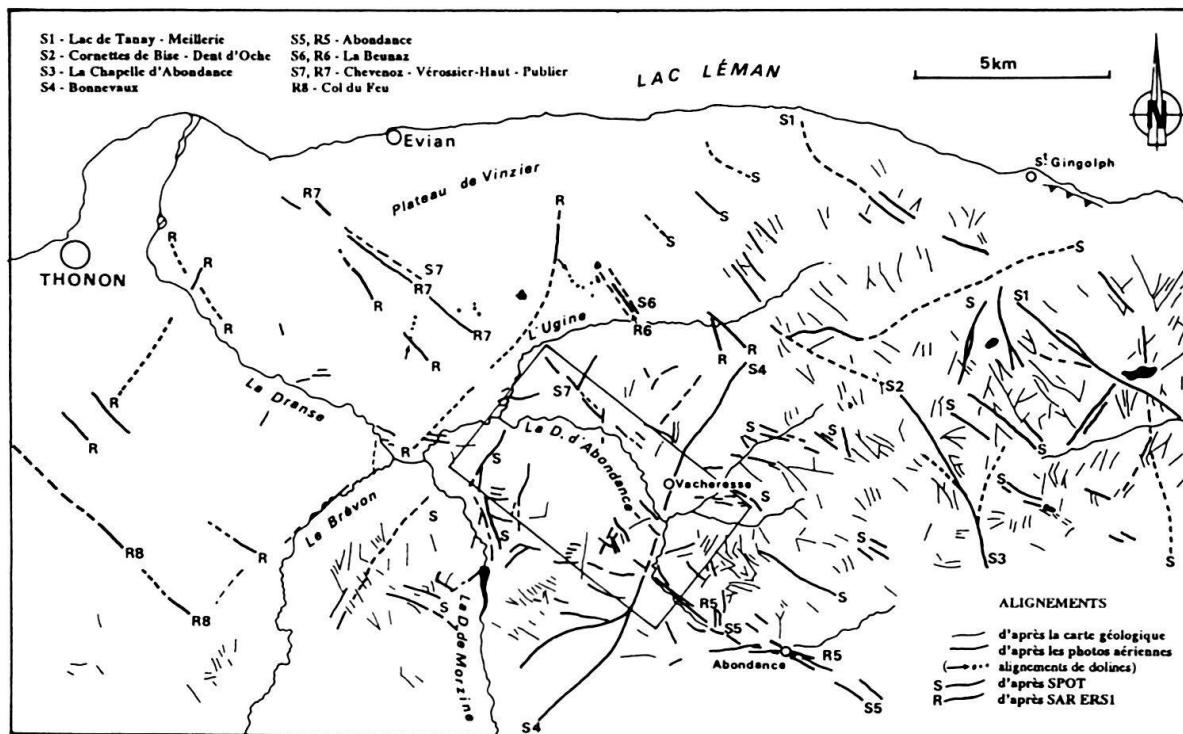


Fig. 2. Carte de la fracturation de la région d'Evian, d'après l'analyse des photos aériennes, des images SPOT et SAR ERS-1, et des données tirées des cartes géologiques à 1 : 50 000<sup>e</sup> de Thonon -les-Bains et Douvaine (le cadre indique la zone analysée par le ROS aéroporté).

- (1) la faille des Fions N120°E, parallèle à la Dranse d'Abondance entre Vinzier et Vacheresse; ce serait un décrochement senestre avec abaissement de la lèvre N;
- (2) le décrochement de Bonnevaux N10°E, senestre, déterminant en particulier le cours de la Dranse d'Abondance entre Bonnevaux et Vacheresse.

Le soubassement molassique est également fracturé. En effet, Vernet et al. (1974) ont reconnu entre Buchillon (Suisse) et Evian un escarpement d'axe N120°E à regard NE qui limite le prolongement NE de l'anticlinal de Messery (fig. 1). On remarque que sur la rive S du lac entre Thonon et Evian, le toit de la molasse semble également abaissé à l'E du prolongement de cet escarpement. En effet, l'épaisseur du Quaternaire, qui atteint 400 m à Evian (cf. ci-dessus, 2.1.a), est réduite à quelques m au niveau du delta de la Dranse (sondage de Publier, données inédites). Cet escarpement de Buchillon-Evian correspond donc à un accident tectonique, qui se prolonge vers le SE à travers les nappes du Chablais par la faille des Fions. Par ailleurs, il coïncide avec un alignement de séismes (magnitude  $\geq 2.5$ , Roth et al. 1992), auquel appartient notamment un tremblement de terre survenu le 19.08.68 près de la Chapelle - d'Abondance; ce dernier montre un mécanisme au foyer de faille normale de direction N120°E (Fréchet 1978), le foyer étant de profondeur inconnue (Ménard 1988).

En conclusion, compte tenu des données géologiques existantes, la structure du soubassement anté-quaternaire entre Genève et Evian pourrait être réglée par trois types de

structures; anticlinaux et synclinaux d'axe N60°E, recoupés par des accidents N120°E, et par des accidents N à N10°E.

### 3. Apports des images SPOT et radar (SAR ERS-1, ROS aéroporté)

Nous avons analysé des photographies aériennes, des images SPOT et des images SAR ERS-1 de la région. De plus, nous avons pu utiliser des images ROS aéroporté; ces scènes, acquises par le Centre National d'études Spatiales (C.N.E.S.) à une altitude de l'ordre de 5 230 m, en bande X et C (polarisation VV) et en bande L (polarisation HH), recouvrent la moyenne vallée d'Abondance, secteur que nous avions sélectionné au préalable pour son intérêt structural.

Nous avons reporté sur la figure 2 les alignements extraits de la carte géologique, des photos aériennes, des images SPOT (fig. 2, S) et SAR ERS-1 (fig. 2, R). Notons que le positionnement des alignements provenant d'images optiques est plus précis que celui provenant des images radar, en raison de la déformation géométrique propre à ce dernier mode d'acquisition.

Nous interprétons les alignements comme des fractures en nous basant sur divers arguments (décalages de structures, contrôle local de la direction du réseau hydrographique, coïncidence avec des accidents déjà connus etc. . . ).

#### 3.1. Images SPOT (fig. 2 et 3)

##### a) Données techniques

Pour cette étude, trois scènes panchromatiques ont été sélectionnées:

Tab. 1. Liste des scènes panchromatiques

	KJ	coordonnées centre image		Angle prise vue	Date
n° 1	K51-J256	46°53 Lat N	6°30 Long E	+16°9 (gauche)	20.07.88
n° 2	K51-J256	46°34 Lat N	6°54 Long E	-01° (droite)	19.08.90
n° 3	K50-J256	46°33 Lat N	6°35 Long E	+07° (gauche)	03.09.86

Les scènes 1 et 2 ont été toutes deux décalées d'1/9 vers le Sud. Compte tenu des angles de prise de vue respectifs, elles constituent un couple stéréoscopique de bonne qualité. La scène n°3 a été étudiée à titre de contrôle.

##### b) Résultats

D'une manière générale, la fracturation est bien visible dans les nappes du Chablais. De plus, quelques alignements apparaissent au niveau du plateau de Vinzier. Par ailleurs, les terrasses glaciaires de Thonon sont bien visibles. Le tableau ci-dessous montre que divers alignements correspondent à des fractures dont Badoux & Mercanton (1962) avaient établi ou supposé l'existence.

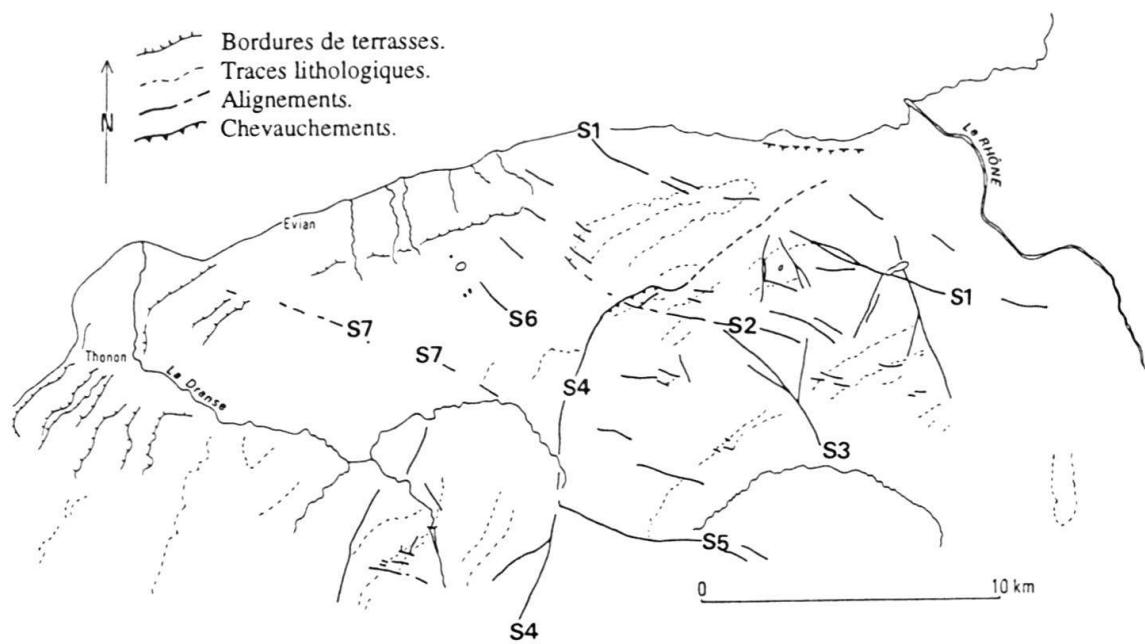
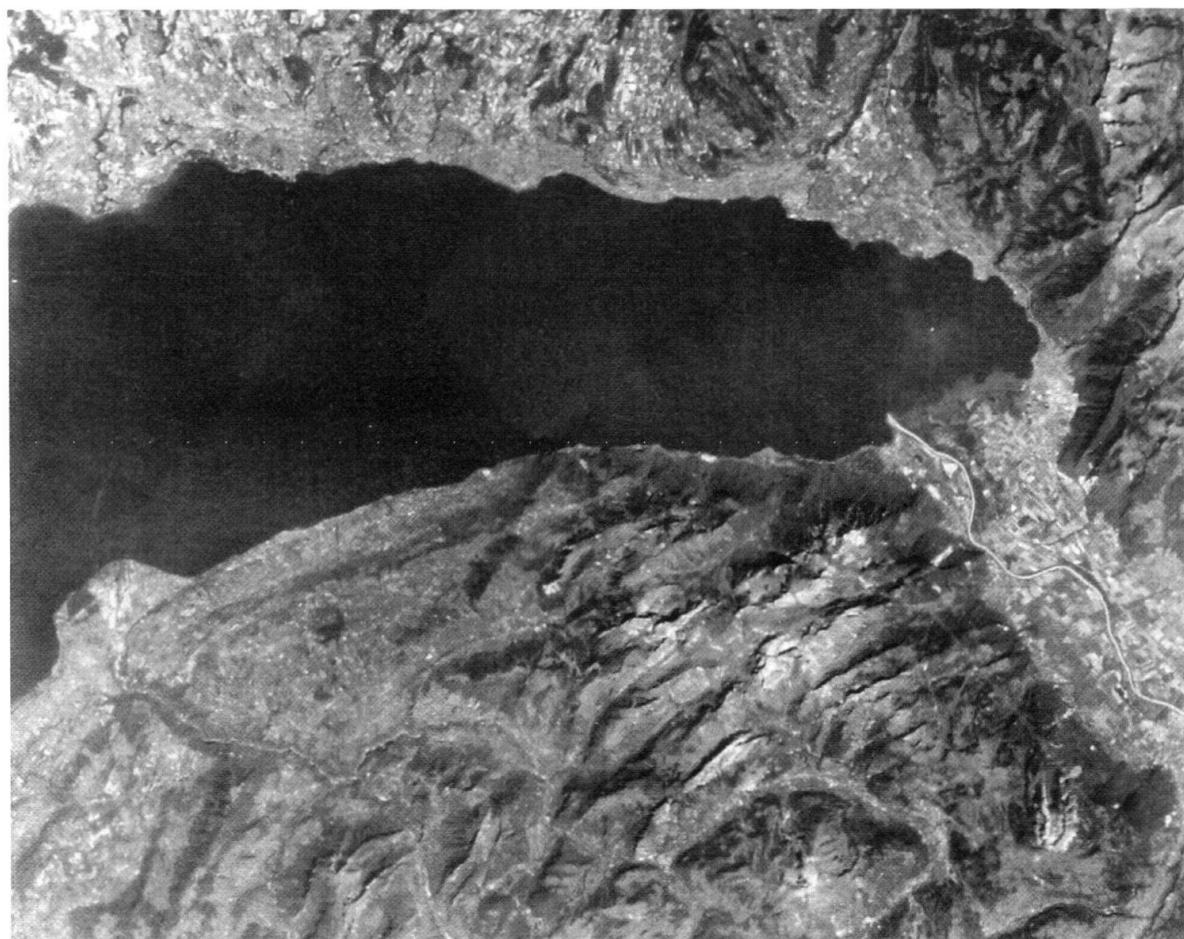


Fig. 3. Image SPOT panchromatique du Bas Chablais (© CNES, 1990, Distribution SPOT IMAGE) et interprétation. (Nomenclature des alignements; voir fig. 2)

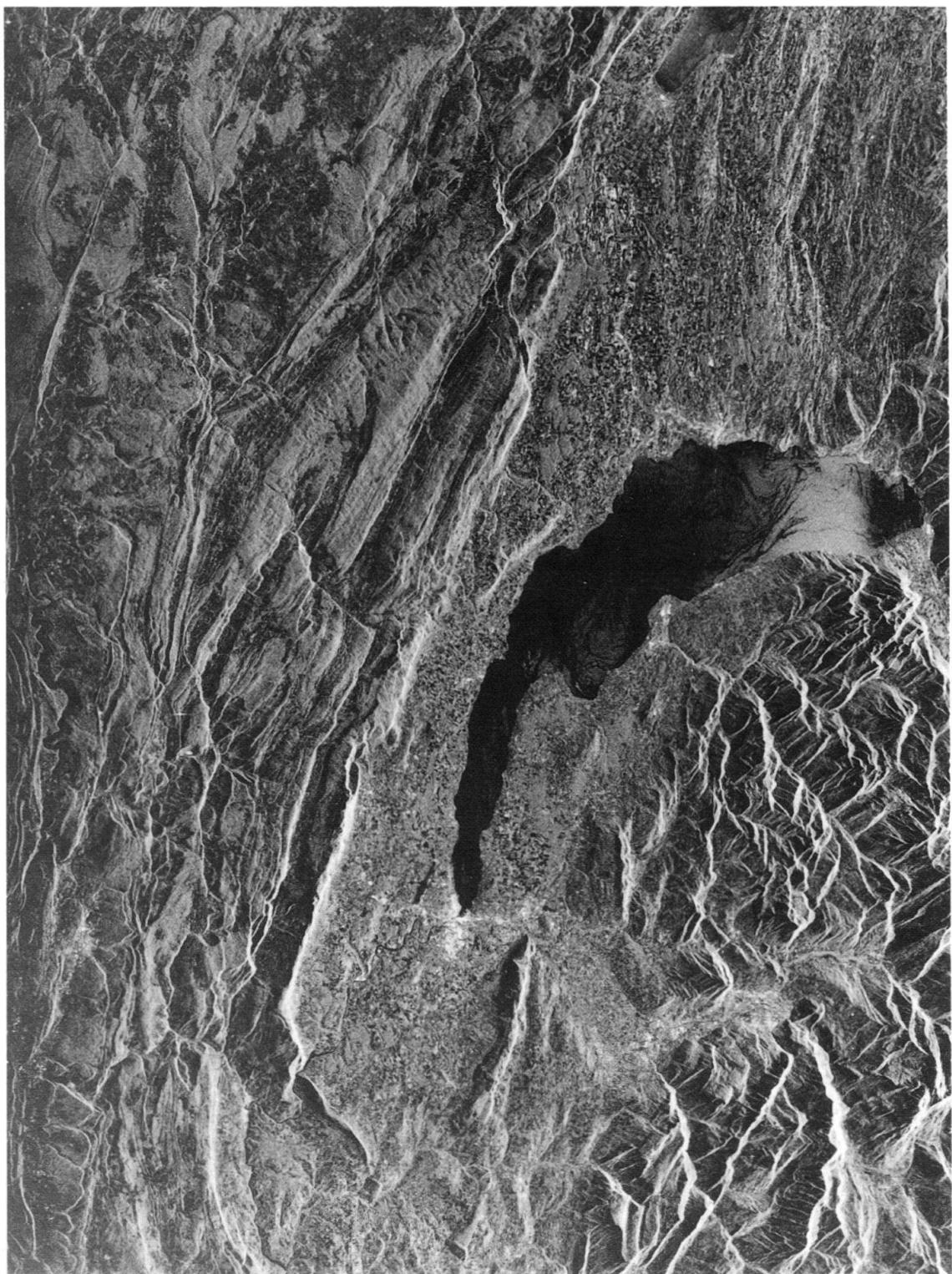


Fig. 4a. Image SAR ERS-1 de la région lémanique.

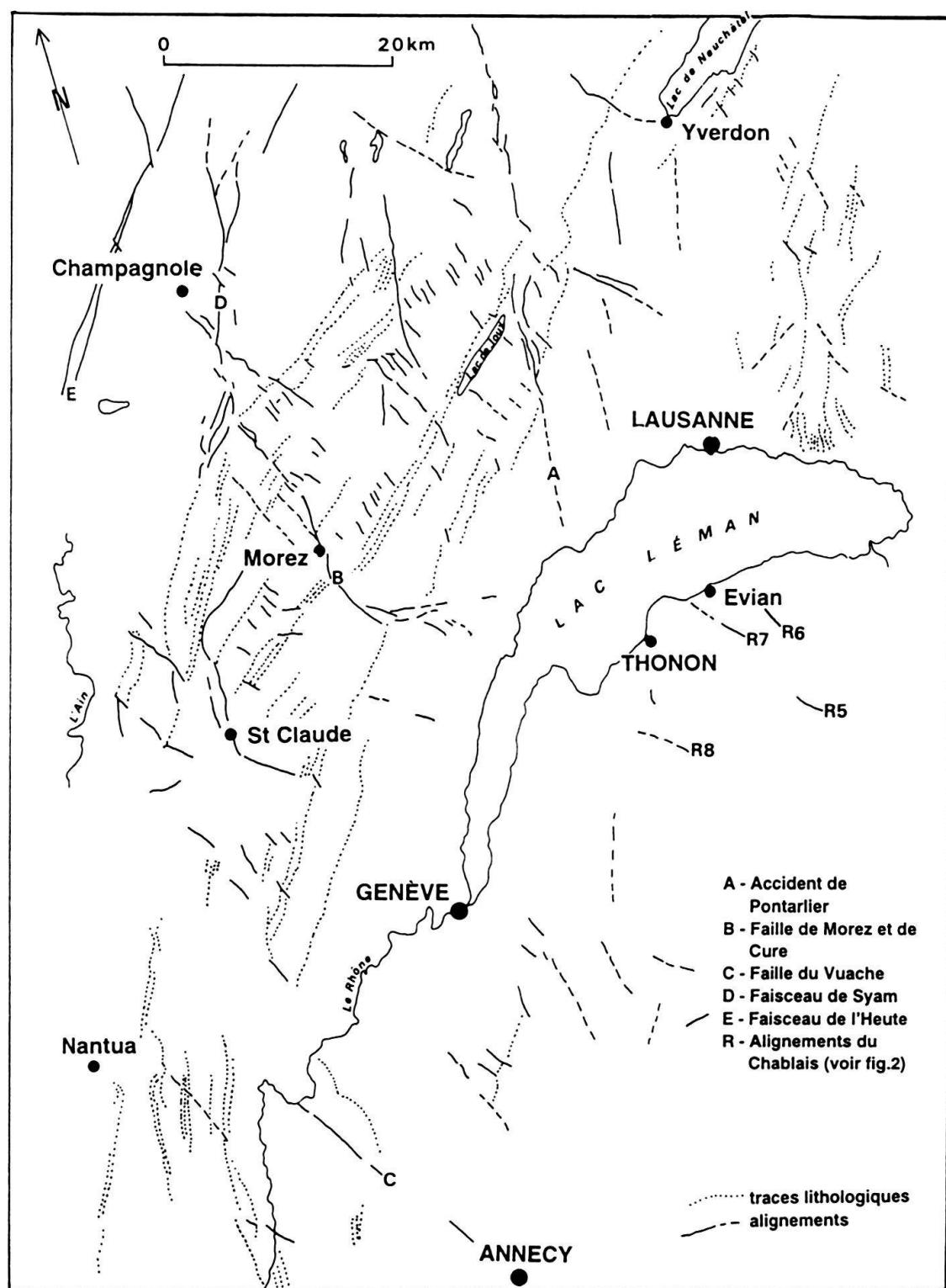


Fig. 4b. Interprétation de l'image SAR ERS-1 de la région lémanique. (Nomenclature des alignements; voir fig. 2)

Tab. 2. Comparaison entre les fractures d'après Badoux &amp; Mercanton 1962 et les nouvelles observations

N°	Nomenclature de Badoux & Mercanton 1962	Observations
S1	Décrochement des Jumelles (dextre)	se prolonge jusqu'au S de Meillerie au NW
S3	Décrochement de La Chapelle (dextre)	relations éventuelles avec l'alignement S2
S4	Accident de Bonnevaux (abaissement de la lèvre W)	vers le S se divise en deux branches (col du Corbier à l'W, le Biot à l'E)
S7	faille des Fions (décrochement senestre avec abaissement de la lèvre N)	

Notons que d'une part, l'alignement S7, visible au niveau de Vinzier, et d'autre part la «faille des Fions» au sein des nappes pourraient témoigner de l'existence d'une seule et même fracture, située dans le prolongement SE de l'accident de Buchillon-Evian. Par ailleurs l'existence d'autres alignements moins importants de même direction dans la région de Thollon-Bernex plaide en faveur de l'existence d'une fracturation N120°E affectant les formations quaternaires du plateau de Vinzier.

### 3.2 Images SAR ERS-1 (fig. 2 et 4)

#### a) Données techniques

Nous avons analysé trois scènes SAR ERS-1 couvrant la zone d'étude, toutes en mode descendant.

Tab. 3. Liste des scènes SAR ERS-1

Orbite	Cadre	date	Coordonnées des angles de l'image (Lat. N/Long. E)			
3946	2673	92 04 17	46°48/6°31	46°36/7°46	45°43/7°29	45°55/6°15
4719	2673	92 06 10	46°48/6°31	46°36/7°46	45°43/7°29	45°55/6°15
5220	2673	92 07 15	46°48/6°31	46°36/7°46	45°43/7°29	45°55/6°15

#### b) Résultats

Dans la partie des images SAR ERS-1 couvrant le Jura, la plupart des alignements identifiés correspondent aux grands accidents classiques de la chaîne (accident de Pontarlier, faille de Morez, faille de Cure, etc. . .). Au niveau de la zone d'étude, les alignements observés sont peu nombreux; cependant il convient de souligner les points suivants:

- (1) les alignements SPOT S6 et SAR ERS-1 R6 (La Beunaz), tous deux N140°E, sont parallèles et très proches l'un de l'autre;
- (2) l'alignement SAR ERS-1 R7, N125°E, est pratiquement superposé à l'alignement SPOT S7, et situé dans le prolongement NW de la faille des Fions, dont la trace serait ainsi matérialisée au sein des dépôts du Quaternaire du Plateau de Vinzier.

### 3.3 *Images ROS aéroporté (fig. 5 et 6)*

#### a) Données techniques

Les scènes ont été acquises le 30.11.92 à une altitude de l'ordre de 5230 m (campagne GATT H1 localisation Evian).

Tab. 4. Liste des Images ROS aéroporté

Identification	Azimut de vol	bande	Polar.	Long E	Lat N
101	218°358	X	VV	6°667	46°337
102	216°729	C	VV	6°667	46°336
103	130°526	C	VV	6°575	46°309
104	133°275	L	HH	6°577	46°312
105	218°676	L	HH	6°665	46°333

On dispose donc ainsi d'une couverture de 32 km<sup>2</sup> en résolution 3 m mono-look sur la moyenne vallée de la Dranse d'Abondance entre Chevenoz et Bonnevaux, en bande X, C et L pour la zone Bonnevaux-Vacheresse, C et L pour la zone Vacheresse-Chevenoz.

#### b) Résultats

Dans le secteur de Bonnevaux-Vacheresse (scène 101, bande X, polar. VV, fig. 5a et 5b), l'alignement n° 1 (Col du Corbier-Centfontaines) correspond au tracé de l'accident de Bonnevaux, visible également sur SPOT (S5) et SAR ERS-1 (R5). L'alignement n° 4 (La Solitude) est également reconnu (fracture affectant le Jurassique et le Crétacé des Médianes). Les alignements n° 6 (Le Villard) et n° 11 (Centfontaines N) sont localisés au sein de cordons morainiques ou de formations glacio-lacustres et pourraient correspondre à des fractures. Dans le secteur de Vacheresse-Chevenoz (scène 103, bande C, polar. VV, fig. 6a et 6b), le linéament n° 1 suit au moins en partie le tracé de la faille des Fions. Sur les deux scènes, les autres alignements ne semblent pas coïncider avec des éléments géologiquement identifiés.

### 3.4 *Conclusions sur l'apport des images*

Par rapport aux acquis antérieurs (carte géologique et photos aériennes), les images SPOT et radar du Chablais apportent d'une part un complément d'information sur des structures déjà connues et d'autre part des données nouvelles.

(1) Sur les nappes du Chablais, divers alignements coïncident avec des fractures, soit observées sur le terrain (S1, S3 et R5 sur les fig. 2 et 3; n° 4 sur la fig. 5), soit déduites de l'analyse de la carte géologique (S4 et S7 sur les fig. 2 et 3, n° 1 fig. 5, n° 1 fig. 6). Les deux exemples les plus remarquables sont l'accident de Bonnevaux, particulièrement bien visible sur les images SPOT et ROS aéroporté, et la faille des Fions, visible au moins en partie sur l'image ROS aéroporté. A ce propos, il faut souligner l'apport spécifique de ce dernier mode d'acquisition. En effet, comme nous l'avions déjà montré lors de l'expérience menée sur le site de Gabian (Raymond et al. 1994), ce moyen



Fig. 5a. Image ROS aéroporté (bande X, polar VV) de la région de Bonnevaux Vacheresse.

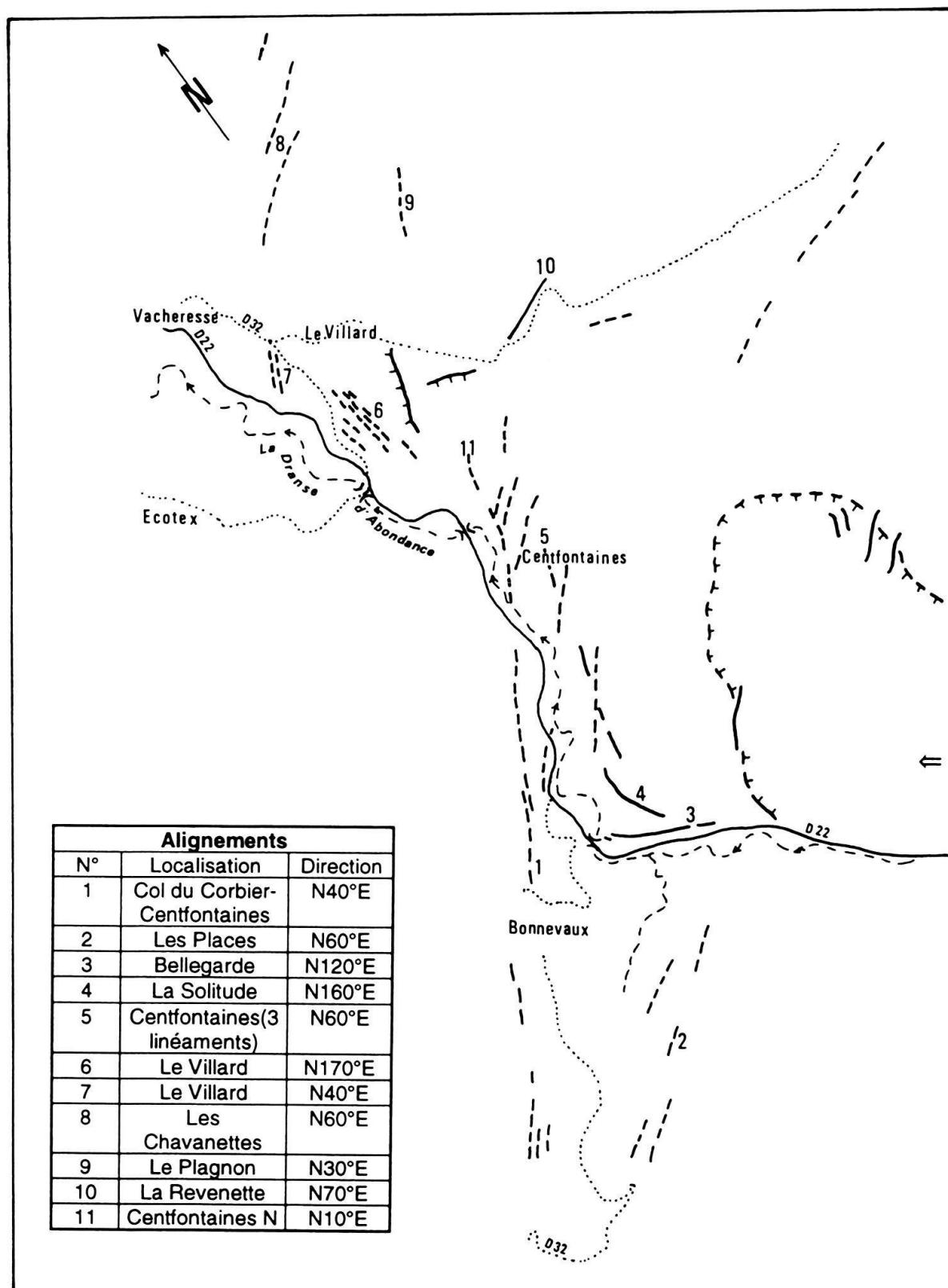


Fig. 5b. Image ROS aéroporté de la région de Bonnevaux Vacheresse; interprétation. Observer l'image dans la direction de la flèche pour obtenir une vue perspective. La prise de vue oblique entraîne une variation de l'échelle d'un bord à l'autre de l'image, qui couvre une surface d'environ 16 km<sup>2</sup>.

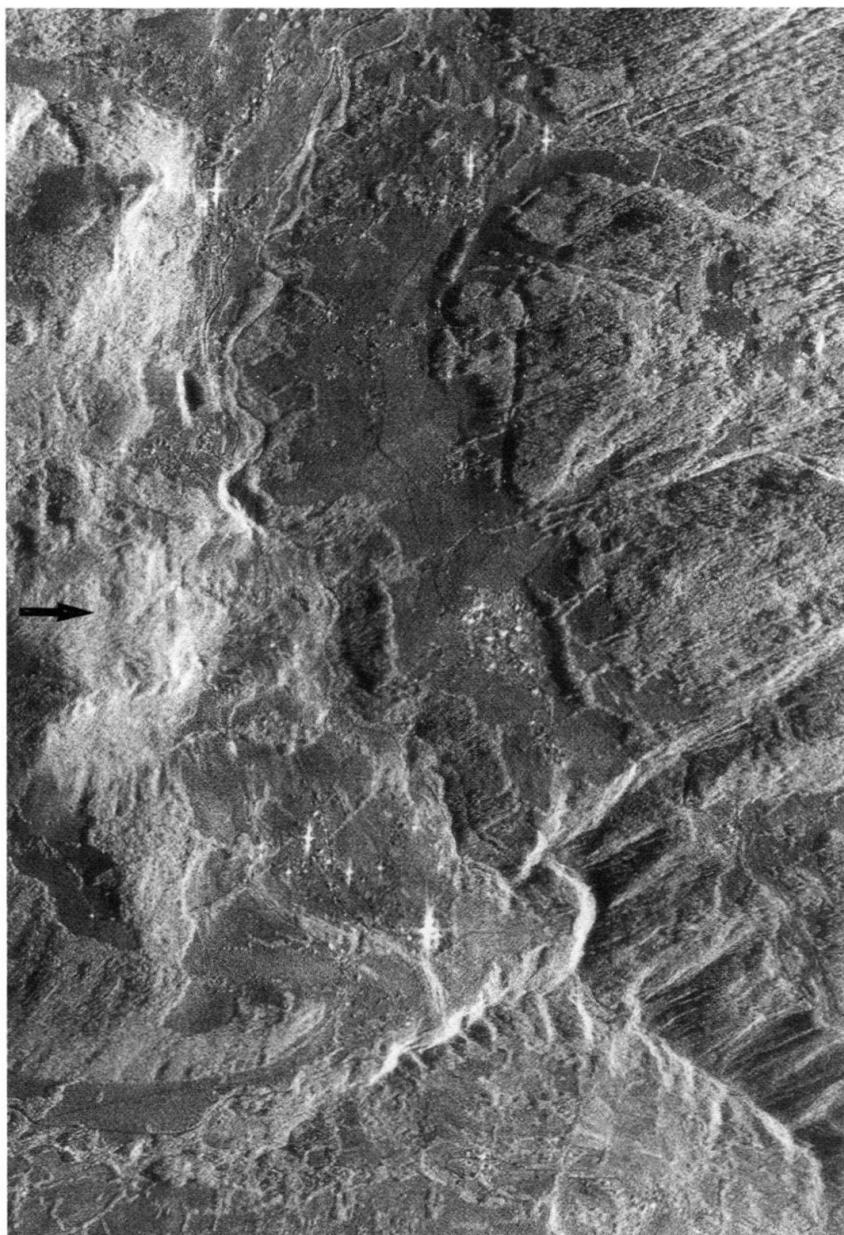


Fig. 6a. Image ROS aéroporté de la région de Vacheresse-Chevenoz (bande C, polar VV).

d'investigation permet l'examen détaillé de secteurs limités avec un grand pouvoir de résolution. On peut ainsi mettre en évidence des fractures invisibles sur les images SAR ERS-1. La comparaison avec les données SPOT montre également le gain d'information dû aux changements d'échelle. Par exemple, l'accident de Bonnevaux, entre Bonnevaux et Vacheresse, est composé de plusieurs fractures sur les images ROS aéroporté alors qu'il apparaît unique sur les images SPOT. Ceci correspond à une réalité géologique; ce type d'accident, plusieurs fois réactivé, ne se présente jamais comme une faille unique, mais bien comme un chevelu de fractures plus ou moins anastomosées.

(2) Sur les reliefs quaternaires des régions de Thonon et d'Evian, la reconnaissance d'alignements visibles à la fois sur les images SPOT et SAR ERS-1 nous conduit à envisa-

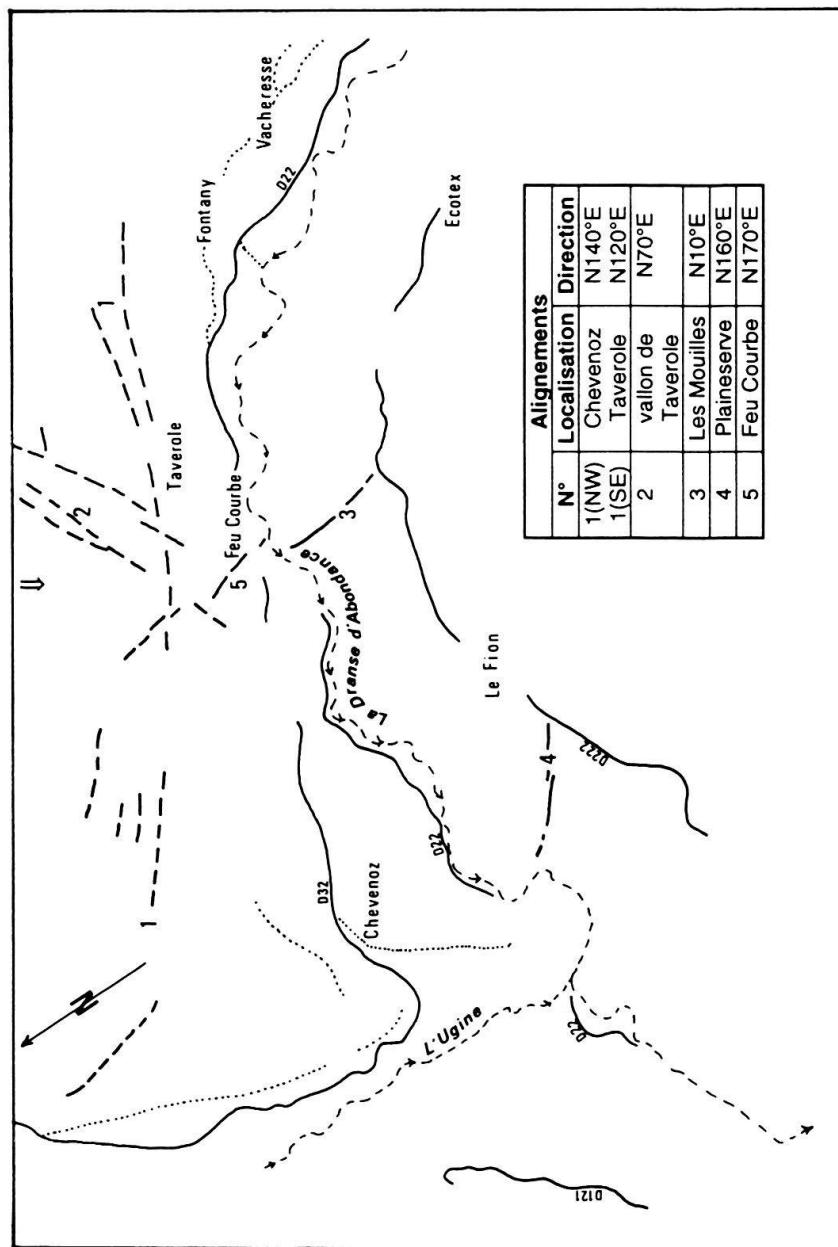


Fig. 6b. Image ROS aéroporté de la région de Vacheresse-Chevenoz; interprétation. Observer l'image dans la direction de la flèche pour obtenir une vue perspective. La prise de vue oblique entraîne une variation de l'échelle d'un bord à l'autre de l'image, qui couvre une surface d'environ 16 km<sup>2</sup>.

ger l'existence dans cette zone d'une fracturation actuelle ou récente, inconnue jusqu'à présent.

#### 4. Analyse morphologique numérique (Fig. 7a, 7b)

Nous avons procédé à une analyse morphologique numérique de la région de Thonon-Evian à l'aide d'un modèle numérique de terrain, d'où nous avons extrait automatiquement une carte des pentes et une carte du réseau des points bas (Carvalho 1995). Le modèle numérique de terrain (MNT) est obtenu par la numérisation, à l'aide du logiciel



Fig. 7a. Carte des pentes extraite du MNT d'Evian.

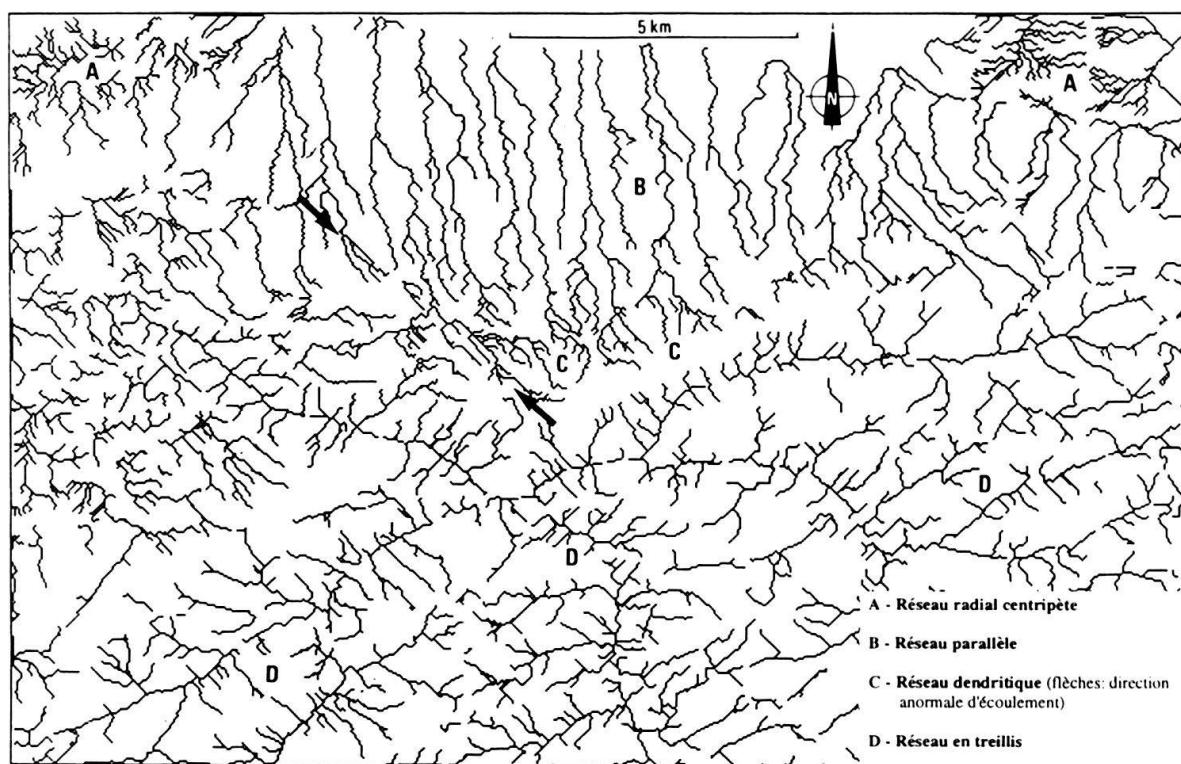


Fig. 7b. Carte du réseau des points bas extraite du MNT d'Evian (mêmes coordonnées en latitude et longitude que la fig. 7a).

Microstation INTERGRAPH, des isocontours de différentes cartes topographiques à 1/50 000, et à 1/25 000 pour des secteurs morphologiquement peu contrastés comme le plateau de Vinzier. La bathymétrie du Lac Léman a été également numérisée pour pouvoir suivre les structures tectoniques à terre et sous le lac; à ce propos, on remarque la convexité vers le N des isobathes situés entre 80 m et 320 m, déjà visible sur la carte de Vernet et al. (1974).

Issue de la dérivée première du MNT, la carte des pentes (fig. 7a) souligne les principaux escarpements de la zone étudiée. Les secteurs caractérisés par des pixels blancs sont horizontaux, ceux correspondant à des pixels sombres présentant de fortes pentes.

La carte du réseau des points bas (fig. 7b) est issue de l'extraction numérique des zones basses du MNT à l'aide d'un algorithme de simulation de pluie. En effet, pour chaque pixel, nous avons calculé la quantité de pixels voisins susceptibles d'importer ou d'exporter de l'eau en comparant leurs altitudes, leurs pentes et leurs dispositions relatives. L'absence de continuité du réseau de points bas à terre est dûe à la présence sur les profils longitudinaux de seuils non forcés (Carvalho 1995).

La disposition des pentes (fig. 7a) souligne la part relative des différents agents d'érosion (glaciaire et fluviatile), particulièrement dans la région des Dranses d'Abondance et de Morzine. En effet à proximité de Vacheresse, on distingue très nettement l'auge glaciaire (flancs à forte pente et fond plat, à profil en U) réentaillée par la rivière (vallée étroite et profonde, à profil en V). Dans la région de Thonon-Evian apparaissent nettement l'escarpement du plateau du Vinzier (origine glaciaire et/ou tectonique) et la forte pente provenant de l'accumulation deltaïque de la Dranse. Remarquons aussi la nette

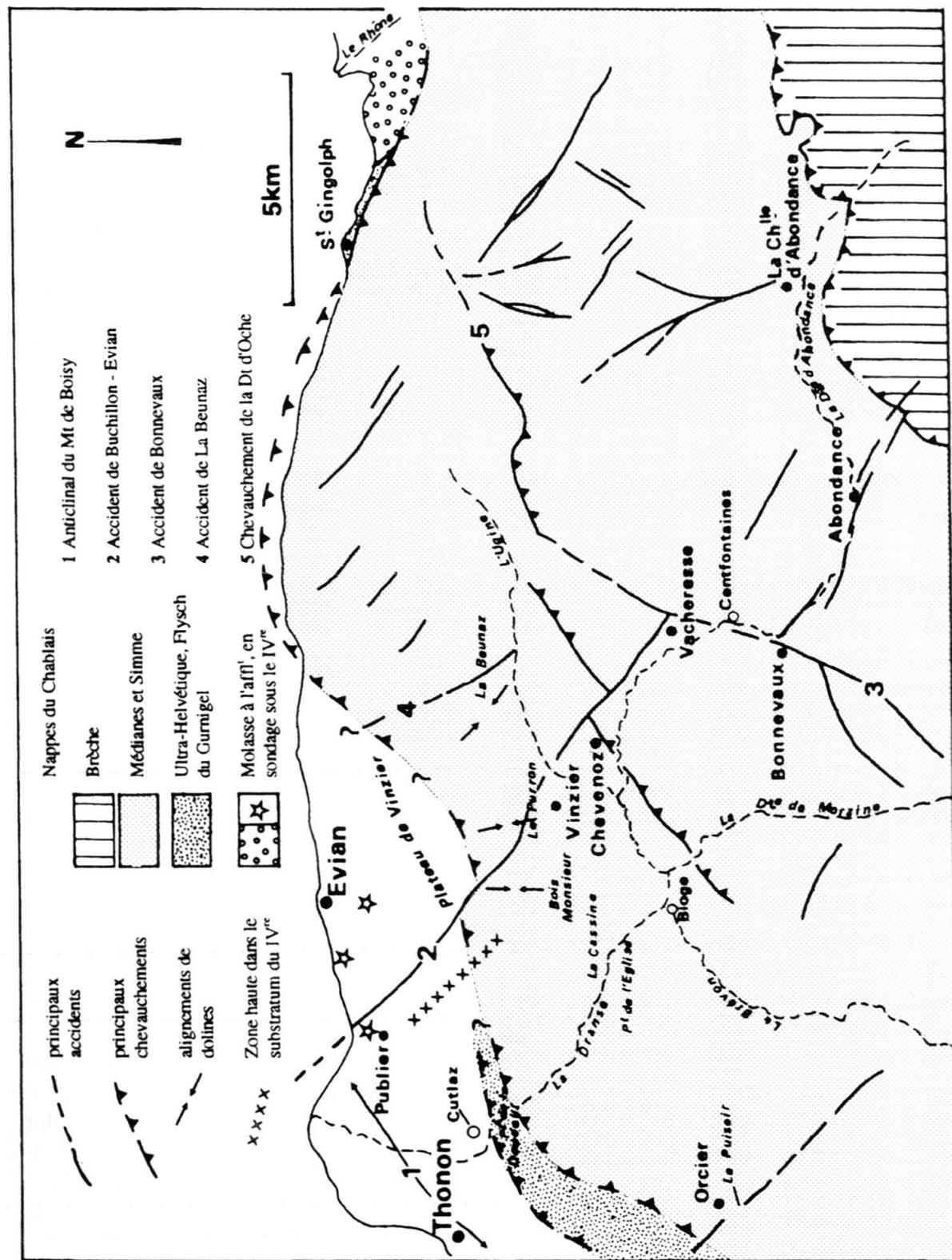


Fig. 8. Principaux éléments structuraux du Bas Chablais (données SPOT, SAR ERS-1, radar aéroporté, terrain). Les principaux recouvrements de Quaternaire sont laissés en blanc.

orientation des escarpements ENE-WSW à l'W et au S de la zone étudiée. La carte des pentes souligne également l'accident de Bonnevaux.

Sur la fig. 7b, on peut distinguer plusieurs ensembles:

- (1) au NW et au NE, le fond plat du lac Léman, caractérisé par un réseau de type radial centripète (A);
- (2) le versant sous-lacustre du plateau de Vinzier, caractérisé par un drainage parallèle se prolongeant au S par un réseau de drainage terrestre associé (B). Dans la partie sommitale horizontale du plateau de Vinzier se développe un réseau de type dendritique (C). A l'W, ce dernier est fortement perturbé par des directions de réseau N135°E (flèches). Cette zone de direction d'écoulement oblique par rapport à la pente régionale est manifestement anormale. On constate qu'elle se superpose au prolongement SE de l'accident de Buchillon-Evian;
- (3) dans la partie S, le drainage majeur de type treillis des Dranses d'Abondance et de Morzine (D), adapté aux directions structurales régionales ENE-WSW. Il souligne certaines structures particulières comme l'accident de Bonnevaux.

En conclusion, l'organisation générale du réseau de drainage terrestre et sous-lacustre souligne diverses structures géologiques plus ou moins masquées par les dépôts récents.

## 5. Validation sur le terrain (fig. 8)

La mise en évidence et l'analyse de la fracturation au sein des dépôts du Quaternaire du Bas Chablais se heurte à deux difficultés importantes:

- (1) la rareté des affleurements; en particulier, au S d'Evian (plateau de Vinzier), au S et au SW de Thonon, nous n'avons pas trouvé d'affleurements sur le trajet des alignements mis en évidence par l'analyse des images.
- (2) la difficulté de séparer, sur les affleurements analysés, la fracturation d'origine néotectonique de celle dûe aux phénomènes glacitectoniques. Par exemple dans la carrière de Cutlaz (fig. 8, E de Thonon), le Fluvio-Glaciaire est fracturé par un système de failles inverses à fort pendage, convergeant vers le haut, avec des rejets de l'ordre de 50 cm. Cette tectonique peut être en relation avec la fracturation régionale, soit dûe simplement à l'affaissement d'un coin de sédiments provoqué par la fusion d'une lentille de glace emprisonnée dans les terrains sous-jacents (McDonald & Shilts 1975).

### 5.1 Formations quaternaire au S d'Evian (vallée de la Dranse et de la Dranse d'Abondance en aval de Chevenoz)

Entre le Pont de la Douceur et Bioge, la vallée de la Dranse est profondément encaissée dans les formations quaternaires. Le poudingue des Dranses forme des escarpements le long des versants N et S de la vallée. Au Pont de l'Eglise (fig. 8, NW de Bioge), site classique où l'on observe la discordance angulaire du poudingue des Dranses sur le Trias des Médianes (Charollais & Badoux 1990) nous avons observé deux failles de direction N165°E et de pendage 65°E. L'une d'elles, qui affecte à la fois le poudingue et son soussol, montre un rejet normal. Des fractures de même direction ont été retrouvées

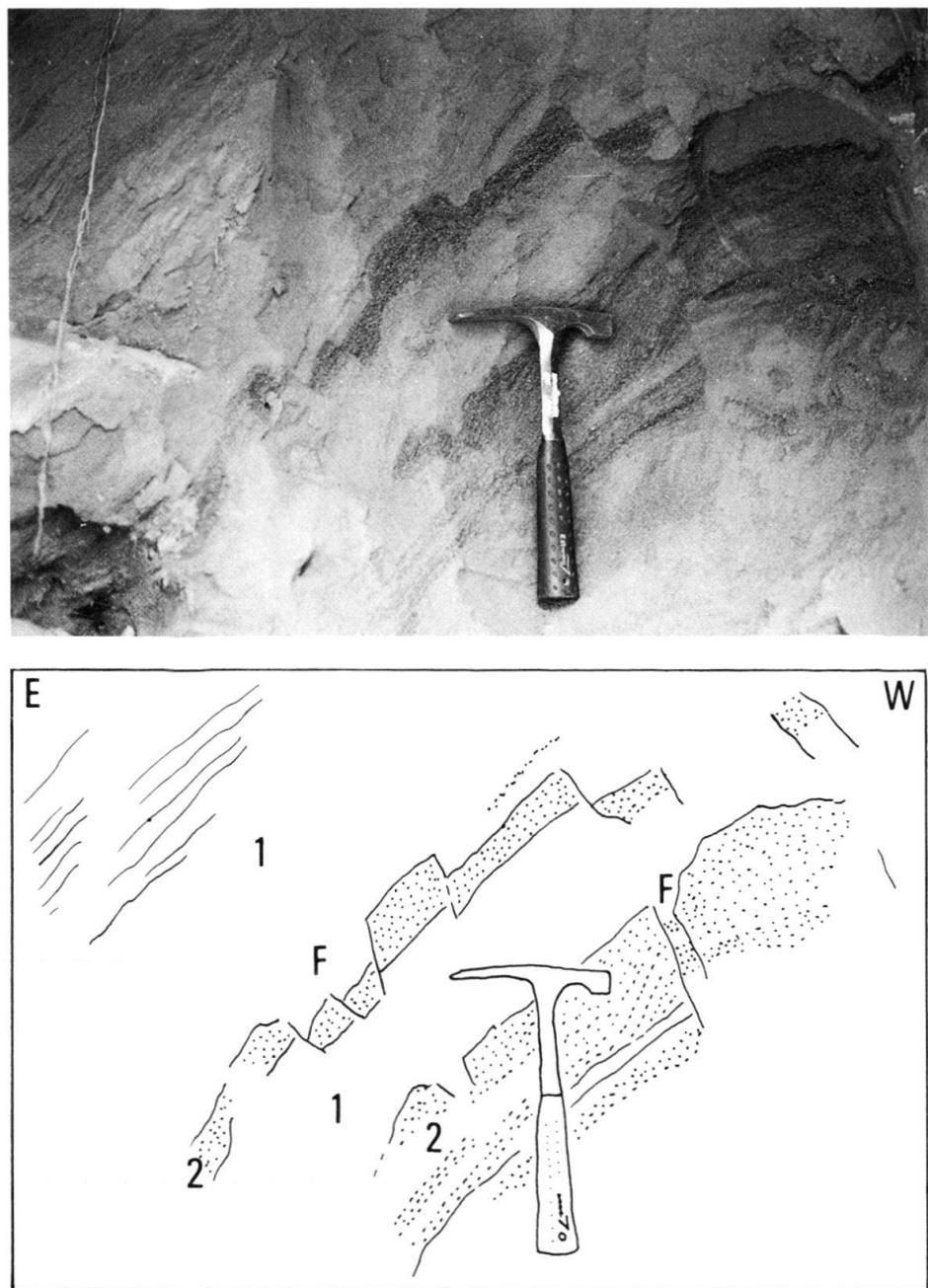


Fig. 9. Affleurement de Centfontaines près de Vacheresse; vue générale et interprétation. a) Affleurement. b) Interprétation. 1 – Niveaux sableux. 2 – Niveaux graveleux. F – Failles normales synsédimentaires N-S à pendage vers l'E ou l'W; noter le pendage vers l'E de l'ensemble des couches.

dans la falaise des Pèces (900 m au NW du Pont de l'Eglise) et dans la falaise de La Cassine (500 m à l'W des Pèces). Le cours de la Dranse et guidé par cette fracturation entre Bioge et Les Pèces. Dans le secteur des Petits Bois, situé 1 km au NE de Bioge, le versant N de la Dranse d'Abondance expose également des affleurements de poudingue des Dranses, affecté par une fracturation N160°E.

### 5.2 Dépôts et morphologies du Quaternaire de la vallée de la Dranse d'Abondance (entre Bioge et Abondance)

Cette zone, recouverte par les scènes radar aéroporté, a retenu toute notre attention. Le cours actuel de la Dranse d'Abondance, est situé de 30 m à 100 m en contrebas de l'ancienne vallée glaciaire, à profil en U bien marqué. Large de 500 m à 1 km, il a une pente régulièrement décroissante de 900 m à Abondance à 800 m au village du Fion. La rivière a un tracé en baïonnette (Howard 1967, Duffontaines & Chorowicz 1991), sous le double contrôle structural de l'accident de Buchillon-Evian et de l'accident de Bonnevaux (fig. 8).

Dans cette région, entre Vacheresse et Bonnevaux, le versant E de la Dranse expose une morphologie en «banquettes» de direction N-S, attribuée par les auteurs de la carte géologique de Thonon-les-Bains à des terrasses d'origine glacio-lacustre datant de l'interstade Würm I-Würm II, soit 50 000 ans BP. A 200 m au NE du hameau de Centfontaines (fig. 8, S de Vacheresse), on peut observer de long de la route un affleurement de ce matériel glacio-lacustre. Ce dernier expose des alternances de sables compactés et de graviers déformés et fracturés. La fracturation s'exprime par des failles normales à rejet décimétrique de direction N à N020°E, à pendage vers l'E ou vers l'W (fig. 9). Par ailleurs l'ensemble des couches a une direction de N165° et un pendage de 20°E dans la partie W de l'affleurement, passant à un pendage de 40° dans la partie E. On note que le pendage de la série est contraire à la pente topographique. Il ne s'agit donc pas de pendages sédimentaires liés à la présence d'un éventail deltaïque quelques centaines de m au N du secteur étudié (embouchure du torrent de L'Eau Noire, coulant vers l'W), ni de pendages dûs à des loupes de glissement.

Les sédiments glacio-lacustres de Centfontaines ont donc subi une extension, soit synsédimentaire, soit suivant de près le dépôt. Le basculement postérieur de la série serait dû à des failles normales à regard W, les ressauts visibles dans le paysage pouvant correspondre soit aux abrupts de ces failles, soit plus probablement à des marqueurs morphologiques passifs de failles aveugles (Darmendrail 1994). Nous pensons que ces dernières pourraient accompagner un rejeu récent en faille normale, avec abaissement du compartiment W, de l'accident de Bonnevaux.

### 5.3 Les «dolines» du Bas Chablais

Ces accidents morphologiques, assez nombreux au S et au SW de Thonon ainsi que sur le plateau de Vinzier (cf. ci-dessus, 2.1), sont de forme soit circulaire, soit irrégulière. Selon Dray (1970) les premières seraient d'origine tectonique, les secondes d'origine glaciaire. Nous étayons cette hypothèse par les observations suivantes:

- (1) près d'Orcier (S de Thonon) nous avons repéré une «doline» circulaire (fig. 8, «Le Puisoir»), abritant une mare permanente dont les eaux sont très riches en sulfates. Il s'agit indubitablement d'un effondrement à l'aplomb d'un entonnoir de dissolution dans des gypses enfouis sous les formations récentes. Cette doline est située sur l'alignement SAR ERS-1 du col du Feu (R8).
- (2) sur le plateau de Vinzier, les «dolines» circulaires sont disposées suivant des alignements N125°E à N140°E et N10°E, dans des zones du plateau où le Trias est soit connu en surface (fig. 8, Bois Monsieur et Le Perron), soit présent à faible profondeur

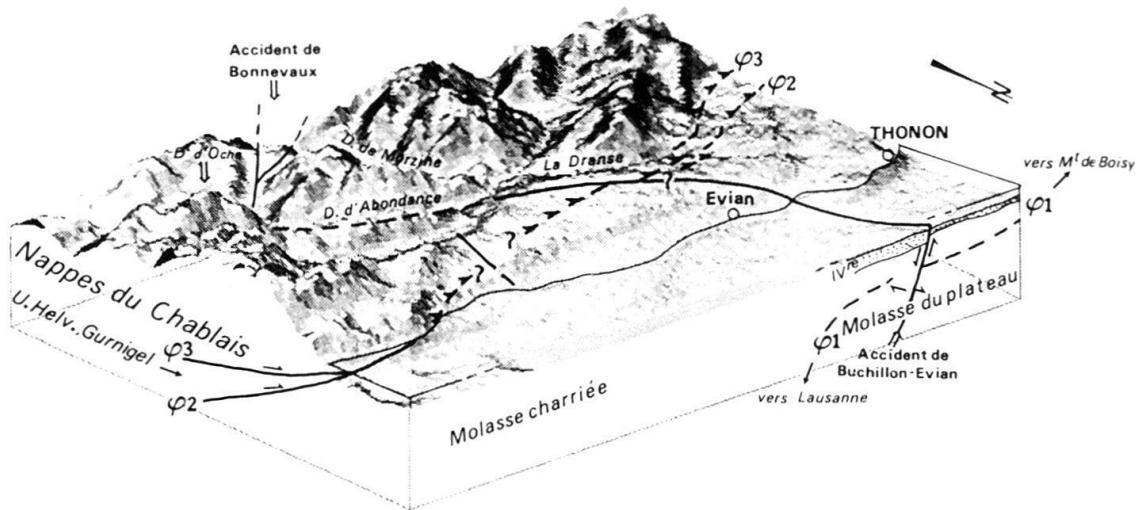


Fig. 10. Schéma morpho-tectonique interprétatif de la région sud-lémanique. Relief vu en direction du SW. Echelle des hauteurs  $\times 2$ . Epaisseur des dépôts du Quaternaire (IV<sup>re</sup>) exagérée.

(fig. 8, La Beunaz). Comme à Orcier, elles pourraient donc être engendrées par des entonnoirs de dissolution sous-jacents, eux mêmes alignés sur des fractures.

(3) par contre les nombreuses «dolines» (dénommées localement «vouas») de forme irrégulière, situées en particulier au S de Thonon, ne sont pas alignées suivant des directions préférentielles.

Nous pensons donc que les dolines non alignées sont d'origine glaciaire (kettles). Par contre les dolines appartenant à des alignements seraient d'origine tectonique. Elles matérialiseraient en surface l'existence d'entonnoirs de dissolution dans les gypses situés sous le Quaternaire, immédiatement au N du chevauchement des Médianes. La formation de ces entonnoirs serait contrôlée par la présence de fractures.

## 6. Validation par les données géophysiques

L'alignement de Buchillon-Evian (fig. 8, 2) est situé à l'aplomb d'un accident tectonique. En effet, outre les arguments fournis par les forages (cf. ci-dessus, 2.2), on constate que le soubassement molassique enfoui sous le Quaternaire du plateau de Vinzier forme à l'isobathe 600 m un seuil d'axe NW-SE, situé sur la bordure W de l'alignement (données inédites fournies par la Société des Eaux d'Evian).

Nous étayons ainsi par diverses observations l'hypothèse émise par Vial et al. (1976); l'alignement de Vérossier-Haut-Publier serait le prolongement SE de l'accident de Buchillon-Evian, que l'on pourrait donc suivre jusque dans la région d'Abondance. L'augmentation d'épaisseur de complexe fluvio-glaciaire entre le delta de la Dranse et Evian traduirait soit l'existence d'un ressaut morphologique dû à une faille préexistante ayant contrôlé l'accumulation des dépôts glaciaires, soit, alternative ayant notre préférence, le rejet de l'accident de Buchillon-Evian en faille normale au cours du Quaternaire, avec enfouissement progressif du compartiment d'Evian.

## 7. Conclusion (fig. 8, 10)

L'approche multisources et multi-échelles utilisée pour ce travail permet de préciser le contexte structural de la région d'Evian. Dans cette zone, les principales accumulations de dépôts quaternaires sont disposées dans un compartiment (fig. 8 et 10) limité à l'W par l'accident N125°E de Buchillon-Evian et à l'E par un alignement correspondant probablement à une zone de fractures N140°E (Fig. 8, accident n° 4, La Beunaz). Au SE, ce compartiment est limité par l'accident de Bonnevaux de direction N20°E, contre lequel vient buter le soubassement du Quaternaire d'Evian (nappe des Médianes et de la Simme).

- (1) Les accidents de Buchillon-Evian et de Bonnevaux sont des accidents anciens. Nous interprétons le premier comme une faille de transfert (McClay 1992); en effet, dans la région de Chevenoz, on constate que les différentes structures (anticlinaux, synclinaux et chevauchements locaux) affectant les Médianes ne se correspondent pas au SW et au NE de l'accident. Quant au second, la réinterprétation des résultats de Badoux & Mercanton (1962) conduit à lui assigner le rôle d'une rampe oblique (Mc Clay 1992) limitant à l'W le chevauchement de la Dent d'Oche (fig. 8, n° 5) lors de la mise en place des nappes. A l'échelle régionale, des accidents de même direction que celui de Buchillon-Evian sont connus dans le Jura (faille de Cure, décrochement du Col de La Faucille), dans la région du Petit Lac (Vernet & Horn 1971), et dans le Mt. Salève, où certains ont pu être suivis en subsurface jusqu'au socle anté-triasique (Signer & Gorin 1995). Par contre la relation entre l'accident de Buchillon – Evian et le décrochement de Pontarlier (Vernet et al. 1974) n'est pas établie.
- (2) Les données morphologiques, géophysiques et les résultats de forages relatés ci-dessus montrent que l'accident de Buchillon-Evian rejoue en faille normale au Quaternaire; il en est de même pour l'accident de Bonnevaux, d'après nos observations de terrain dans la région de Vacheresse. Par ailleurs, d'autres fractures récentes ont été mises en évidence dans la région (failles normales affectant le poudingue des Dranses, alignements de dolines du plateau de Vinzier). Les niveaux fracturés observés les plus récents appartiennent au Würm (Fluvio-Glaciaire du Bas Chablais, Glacio-Lacustre de Vacheresse).
- (3) Dans ce segment de l'arc alpin, la contrainte maximale horizontale actuelle est orientée NW-SE (Bergerat 1985, Blondel et al. 1988, Sambeth & Pavoni 1988, Pavoni & Roth 1990, Müller et al. 1992, Grünthal & Stromeyer 1992, Wildi & Huggenberger 1993). L'existence, dans la région sud-lémanique, de jeux ou de rejeux normaux actuels ou récents à la fois sur des plans orientés NW-SE et N-S ne peut être en relation avec cette contrainte. Un autre mécanisme peut être invoqué; une extension en rapport avec la topographie locale. Le compartiment d'Evian serait affecté par un affaissement gravitaire en direction du lac, favorisé par la forte dénivellation (700 m entre le fond du lac et le plateau de Vinzier) et la lithologie des sédiments molassiques et quaternaires. Cette hypothèse semble confirmée par la disposition convexe vers le N des isobathes entre Evian et Meillerie (*cf. ci-dessus, 4*). Notons que des failles normales, postérieures à toutes les structures, traduisant une extension tardive, ont également été signalées dans le massif des Bornes, au SW de la région étudiée (Huggenberger & Wildi 1991).

Néanmoins, notre hypothèse d'une extension actuelle dans la région d'Evian devra être étayée par une analyse plus approfondie de la séismicité régionale. Si le mécanisme au foyer du séisme de La Chapelle d'Abondance indique une extension en profondeur (5–10 km) sur une faille fortement pentée (renseignement J.L. Mugnier), cette extension paraît sans relation avec un glissement superficiel. Par ailleurs, cet affaissement gravitaire devrait être enregistré par une éventuelle déformation des sédiments lacustres au large d'Evian, qui pourrait être mise en évidence grâce à une nouvelle étude du fond du lac par sismique-réflexion haute résolution.

En conclusion, ce travail montre l'intérêt de l'approche multisources et multiscalaire pour les études néotectoniques. Parmi les outils utilisés, l'imagerie radar se révèle particulièrement adaptée à l'étude des régions comparables à celle d'Evian, présentant un relief modéré, un couvert végétal important et une occupation humaine relativement dense.

### Remerciements

Nous remercions le Centre National d'Etudes Spatiales qui a financé cette étude (décision d'aide à la recherche n° 92/CNES/0416), J. Chorowicz, investigator principal SAR ERS-1, la Société Anonyme des Eaux d'Evian qui a mis à notre disposition diverses données géophysiques et H. Masson pour son accueil à Lausanne et ses conseils. Nous remercions également W. Wildi et J.L. Mugnier, dont les critiques et les suggestions nous ont amenés à améliorer le manuscrit initial.

### BIBLIOGRAPHIE

- BAKALOWICZ, M., OLIVE, P. & SIWERTZ, E. 1970: Sur la position respective des niveaux d'Ar moy et du conglomérat des Dranses. *C.R. Acad. Sci. Paris* 271, 892–895.
- BADOUX, H. & MERCANTON, C.H. 1962: Essai sur l'évolution tectonique des Préalpes du Chablais. *Eclogae geol. Helv.* 55, 135–188.
- BERGERAT, F. 1985: Déformations cassantes et champs de contraintes tertiaires dans la plate-forme européenne. *Mém. Sc. Terre* 85–07, Univ. Pierre et Marie Curie, Paris.
- BLAVOUX, B. 1966: Les sources minérales d'Evian: étude climatologique, hydrogéologique et hydrochimique des formations fluvio-glaciaires quaternaires du Bas Chablais. Thèse 3<sup>e</sup> cycle, Univ. Paris, inédit.
- BLAVOUX, B. & DRAY, M. 1971: Les sondages dans le complexe quaternaire du Bas Chablais et leurs enseignements stratigraphiques. Leur intérêt pour l'hydrogéologie et l'hydrochimie régionales. *Rev. Géogr. physique Géol. dyn.* (2) XIII, 17–34.
- BLONDEL, T., CHAROLLAIS, J., SAMBETH, U. & PAVONI, N. 1988: La faille du Vuache (Jura méridional): un exemple de faille à caractère polyphasé. *Bull. Soc. vaud. Sci. nat.* 79, 65–91.
- BOURDIER, F. 1961: Le bassin du Rhône au Quaternaire. *Géologie et Préhistoire*. Ed. C.N.R.S., Paris.
- BROQUET, P., GIDON, M. & MONJUVENT, G. 1985: carte géologique de la France (1:250 000), feuille Thonon-les-Bains et notice explicative. Ed. Bur. Rech. géol. min. Orléans.
- BURRI, M. 1963: Le Quaternaire des Dranses. *Mém. Soc. vaud. Sc. nat.* 82, 13, 229–261.
- CHAROLLAIS, J. & BADOUX, H. 1990: Suisse Lémanique, pays de Genève et Chablais. Guides géologiques régionaux, Ed. Masson, Paris.
- CARVALHO, J. 1995: Extraction automatique d'informations géomorphométriques (réseaux et surfaces enveloppes) à partir de modèles numériques de terrain. Thèse, Sciences de l'information géographique, Univ. Paris VII, inédit.
- DARMENDRAL, X. 1994: Déformation récente et actuelle des Alpes occidentales. Mise en évidence, caractérisation et quantification par analyse géomorphologique et comparaison de nivelllements. *Géol. Alpine, mém. H.S.* n° 21.
- DEFFONTAINES, B. & CHOROWICZ, J. 1991: Principles of drainage basin analysis from multisource data. Application to the structural analysis of the Zaire Basin. *Tectonophysics* 194, 237–263.
- DRAY, M. 1970: Etude hydrogéologique du Quaternaire de la région de Thonon-Les-Bains. Thèse 3<sup>e</sup> cycle, Hydrogéologie, Univ. Paris, inédit.

- FINCKH, P. & KLINGELE, E. 1991: Seismic reflection profiling in the Swiss Rhone valley. *Eclogae geol. Helv.* 84, 345–368.
- FRECHET, J. 1978: Sismicité du Sud-Est de la France et une nouvelle méthode de zonage sismique. Thèse 3ème cycle, Univ. Sc. Méd. Grenoble, inédit.
- GAGNEBIN, E. 1937: Les invasions glaciaires dans le bassin du Léman. *Bull. Soc. vaud. Sc. nat.* 59, 335–416.
- 1938: Les lacs de la Beunaz au-dessus d'Evian (Haute-Savoie). Le delta de la Dranse de Savoie près de Thonon. *Bull. Soc. vaud. Sc. nat.* 60, 29–45.
- GORIN, G.E., SIGNER, C. & AMBERGER, G. 1993: Structural configuration of the western Swiss Molasse Basin as defined by reflection seismic data. *Eclogae geol. Helv.* 86, 693–716.
- GRÜNTHAL, G. & STROMEYER, D. 1992: The recent crustal stress field in Central Europe: trajectories and finite element modeling. *J. Geophys. Res.* 97, B8, 11 805–11 820.
- HOWARD, A.D. 1967: Drainage analysis in geologic interpretation: a summation. *Am. Assoc. petr. Geol. Bull.*, Tulsa 51, 11, 2246–2259.
- HUGGENBERGER, P. & WILDI, W. 1991: la tectonique du massif des Bornes (Chaînes subalpines, Haute-Savoie, France). *Eclogae geol. Helv.* 80, 17–36.
- MCCLAY, K.R. 1992: Glossary of thrust tectonics terms. In: *Thrust Tectonics* (Ed. by MCCLAY, K.R.) CHAPMAN & HALL, Ed., London, 419–433.
- MCDONALD, B.C. & SHILTS, V.W. 1975: Interpretation of faults in glaciofluvial sediments. In: *Glacial and Glaciolacustrine Sedimentation* (Ed. by JOPLING, A.V. & MCDONALD, B.C.). Spec. Publ. Soc. Econ. Paleont. Mineral. 23, 123–131.
- MENARD, G. 1988: Structure et cinématique d'une chaîne de collision; les Alpes occidentales et centrales. Thèse, Sciences Naturelles, Tectonophysique, Univ. Grenoble, inédit.
- MORLOT, A. 1858: Sur le terrain Quaternaire du bassin de Léman. *Bull. Soc. vaud. Sc. nat.* 6, 101–108.
- MÜLLER, B., ZOBACK, M.L., FUCHS, K., MASTIN, L., GREGERSEN, S., PAVONI, N., STEPHANSSON, O. & LJUNGGREN, C. 1992: Regional patterns of tectonic stress in Europe. *J. Geophys. Res.* 97, B8, 11 783–11 803.
- OLIVE, P., VIAL, R., ALAIN, Y., CONRAD, M.A. & VERNET, J.P. 1987: Carte géologique de France (1:50 000), feuille DOUVAINE (629). Ed. BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIERES, Orléans.
- PAVONI, N. & ROTH, P. 1990: Seismicity and seismotectonics of the Swiss Alps, results of microearthquake investigation 1983–1988. In: *Deep structure of the Alps* (Ed. by ROURE, F., HEITZMANN, P. & POLINO, R.). Mém. Soc. géol. Fr. 156, Paris; Mém. Soc. géol. Suisse 1, Zürich; Vol. spec. Soc. Geol. It. 1, Roma, 129–134.
- RAYMOND, D., DEFFONTAINES, B., RUDANT, J.P., ELION, P. & ANDRIEUX, J. 1994: Morphostructural analysis and Radar and Spot Image interpretation as tools for petroleum exploration at various scale. An example from the Gabian-Pézenas area (Hérault, Southern France). *Int. J. Remote sensing* 1512, 2469–2479.
- ROTH, PH., PAVONI, N. & DEICHMANN, N. 1992: Seismotectonics of the eastern Swiss Alps and evidence for precipitation-induced variations of seismic activity. *Tectonophysics* 207, 183–197.
- SAMBETH, U. & PAVONI, N. 1988: A seismotectonic investigation in the Geneva Basin, southern Jura Mountains. *Eclogae geol. Helv.* 81, 433–440.
- SIGNER, C. & GORIN, G.E. 1995: New geological observations between the Jura and the Alps in the Geneva area, as derived from reflection seismic data. *Eclogae geol. Helv.* 88, 235–265.
- SPICHER, A. 1980: Carte tectonique de la Suisse (1:500 000). Ed. COMMISSION GÉOLOGIQUE SUISSE.
- VERNET, J.P. & HORN, R. 1971: Etude sédimentologique et structurale de la partie occidentale du lac Léman par la méthode sismique à réflexion continue. *Eclogae geol. Helv.* 64, 291–297.
- VERNET, J.P., HORN, R., BADOUX, H. & SCOLARI, G. 1974: Etude structurale du Léman par sismique réflexion continue. *Eclogae geol. Helv.* 67, 515–529.
- VIAL, R. 1975: Le Quaternaire dans le Bas Chablais (Haute Savoie). Les derniers épisodes de retrait glaciaire. *Géol. alpine* 51, 129–144.
- VIAL, R., JAMIER, D. & OLIVE, P. 1976: Adaptation de la morphologie quaternaire à la structure tectonique dans la région du Bas Chablais (Haute Savoie). *Rev. géogr. alpine* 64, 79–92.
- VIAL, R., CONRAD, M.A. & CHAROLLAIS, J. 1989: Carte géologique de France (1:50 000), feuille DOUVAINE (629). Notice explicative. Ed. BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIERES, Orléans.
- WILDI, W. & HUGGENBERGER, P. 1993: Reconstitution de la plate-forme européenne anté-orogénique de la Bresse aux chaînes subalpines; éléments de cinématique alpine (France et Suisse occidentale). *Eclogae geol. Helv.* 86, 47–64.

