

Tectonique/Tectonics

Les macles de la calcite, marqueurs des compressions récentes dans un orogène actif : l'exemple des calcaires récifaux du Sud de Taiwan

Olivier LACOMBE, Jacques ANGELIER et Philippe LAURENT

Résumé – Une analyse des macles mécaniques de la calcite a été réalisée dans les calcaires récifaux du Miocène supérieur et du Pléistocène du Sud de Taiwan. Les tenseurs de contraintes obtenus sont corrélables avec les principales étapes de l'évolution néotectonique de la zone de collision. Plus particulièrement, les tenseurs déterminés dans les calcaires pléistocènes reflètent fidèlement les états de contraintes récents à actuels reconstitués indépendamment à partir des jeux de failles quaternaires, des ovalisations de puits de forages et des mécanismes aux foyers des séismes, ce qui démontre la fiabilité des reconstructions de (paléo) contraintes effectuées à l'échelle microscopique dans une chaîne de montagnes active.

Calcite twins as markers of recent compressional events in an active orogen: the reefal limestones of southern Taiwan as a case study

Abstract – We conducted an inverse analysis of calcite mechanical twins from late Miocene and Pleistocene reefal limestones of southern Taiwan. The computed stress tensors are consistent with the main stages of the neotectonic evolution of the collision zone. More particularly, the stress tensors reconstructed in the Pleistocene limestones reliably reflect the recent and present-day regional stress field inferred independently from Quaternary faulting, borehole breakouts and focal mechanisms of earthquakes, which demonstrates the reliability of (paleo) stress reconstructions carried out at the microscopic scale in an active fold-and-thrust belt.

Abridged English Version – Along the convergent plate boundary between the Philippine Sea Plate and Eurasia, active collision occurs in Taiwan (Ho, 1986 and 1988; Suppe, 1981; Teng, 1990). The main structural units of Taiwan (*fig. 1*) belong to both the Eurasian margin and the Luzon arc, and are separated by the active Longitudinal Valley Fault.

Paleostress reconstructions based on fault slip data have been carried out in Taiwan in order to decipher the neotectonic evolution of the collision zone (Angelier *et al.*, 1986 and 1990). However, the analysis of recent deformation is usually difficult because of the poor outcropping conditions in the youngest Plio-Quaternary sediments of the subsident western foreland.

I. CALCITE TWINNING IN REEFAL LIMESTONES FROM SOUTHERN TAIWAN. – This paper aims at providing evidence that the paleostress orientations associated with recent and present-day compressional events of the Taiwan orogeny can be reconstructed by conducting a tectonic analysis of calcite twins from late Miocene and Pleistocene reefal limestones. This analysis, based on computer inversion of calcite twin data (Etchecopar, 1984; Laurent, 1984; Laurent *et al.*, 1981, 1990), yields the orientations of the three principal stress axes σ_1 , σ_2 and σ_3 ($\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$, compressions positive) as well as the Φ ratio [$\Phi = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)$, $0 \leq \Phi \leq 1$]. The combined analyses of calcite twins and striated faults carried out in carbonate formations of the west European platform (Lacombe *et al.*, 1990 and 1992; Lacombe, 1992) have demonstrated the reliability and the broad interest of paleostress reconstructions at the microscopic scale, but such analyses had never been performed on very recent samples and in the neotectonic environment of a young mountain range still under collisional uplift.

Note présentée par Jean AUBOUIN.

The first sample was collected in the Tungho area along the eastern Coastal Range of Taiwan (*fig. 1*) and consists of a late Miocene bioclastic reefal limestone (Chi *et al.*, 1981). The other two samples were collected in southwestern Taiwan (*fig. 1*), near Kaohsiung and Hsiaokangshan, in thick coarse-crystalline reefal limestones whose age probably ranges from -0.90 to -0.45 Ma (Chi, 1979). The recent exposure of these corallian limestones due to mountain uplift enhanced diagenesis and induced recrystallization of the aragonite material of the corallian septa as well as cementation of the organic cavities by randomly oriented, large xenomorphic sparitic calcite crystals (*fig. 2*) which constitute a good material for the analysis and the interpretation of mechanical twin lamellae in terms of stress. In thin sections, the main microstructures consist of microtwins and straight, narrow $e[10\bar{1}2]$ twin lamellae, indicating that deformation remained small and occurred at very low temperature.

II. RESULTS OF PALEOSTRESS DETERMINATIONS AT THE MICROSCOPIC SCALE. — In the Tungho sample, a single tensor has been determined from 75% of the twinned planes, indicating monophase crystalline deformation (table). In its present attitude, the σ_1 axis lies within the SE dipping bedding plane, which suggests that twins developed before folding or during the earliest stage of folding. Backtilting the bedding plane to its initial horizontal attitude yields a compressional strike-slip stress regime, with sub-horizontal σ_1 oriented N154° (*fig. 3, I. A*). In the Kaohsiung sample, the first tensor determined accounts for 45% of the twinned planes and corresponds to a N134° trending compression (table). These twinned planes being withdrawn, 40% of the remaining twinned planes yields a N063° directed compression. Finally, in the Hsiaokangshan sample, the first tensor computed accounts for 54% of the twinned planes and corresponds to a N079° compression; 60% of the remaining twinned planes are consistent with a second-order N146° trending compression (table). Remarkably, the stress orientations determined in the Pleistocene limestones of Hsiaokangshan are similar to those independently reconstructed in Kaohsiung (*fig. 3, II. A*).

III. COMPARISON OF THE TENSORS OBTAINED WITH THE NEOTECTONIC REGIONAL STRESS FIELD; GEODYNAMIC SIGNIFICANCE. — Paleostress orientations determined at the microscopic scale (table) are consistent with those independently inferred from fault slip data (Angelier, 1984). In addition, the stress regimes deduced from calcite twins are compressional strike-slip, and reflect the regional association of reverse faults, thrusts and wrench faults that can be observed in the field.

The N154° compression identified at Tungho is in agreement with previous paleostress reconstructions in the Coastal Range (Barrier, 1985*b*), and corresponds to the NW-SE compression that prevailed in the whole orogen during the Plio-Pleistocene (*fig. 3, I. B*). The ENE-WSW compression detected in the Pleistocene limestones of the western Foothills is similar to the recent/present-day compressions inferred from Quaternary faulting (Angelier *et al.*, 1986, 1990), borehole breakouts (Suppe *et al.*, 1985) and focal mechanisms of earthquakes (Lee, 1986; Yeh *et al.*, 1991) (*fig. 3, II. B*). The second stress regime corresponds to a minor N140° compression which coexists with the present-day E-W compression in southwestern Taiwan (*fig. 3 II. B*).

The NW-SE compression reconstituted from the Tungho sample is consistent with the probable N155° direction of convergence of the Philippine Sea plate relative to Eurasia during the Plio-Pleistocene (*fig. 3, I. B*). The change from NW-SE to E-W of the direction of major compression in the chain during the Pleistocene then reflects a recent kinematic change (Angelier *et al.*, 1986 and 1990), with a present-day N120° direction of relative

convergence (Seno, 1977) (*fig. 3, II.C*). We propose to relate the present-day N 140° compression to a perturbation of the major E-W compression in the complex pattern of active faults and faulted blocks of southwestern Taiwan rather than to a new compressional event.

CONCLUSIONS. — This study provides new evidence of the internal as well as the regional consistency of the stress tensors calculated from the inversion of mechanical twin data sets. It appears that samples of few cubic centimetres are able to record the paleostresses associated with the major stages of the neotectonic evolution of an active orogen. These results further show that stress distribution is homogeneous at different scales, despite various sources of inhomogeneities.

L'île de Taiwan est le siège d'une collision active entre la plaque de la Mer des Philippines et l'Eurasie (Ho, 1986 et 1988; Suppe, 1981; Teng, 1990) (*fig. 1 a*). Les

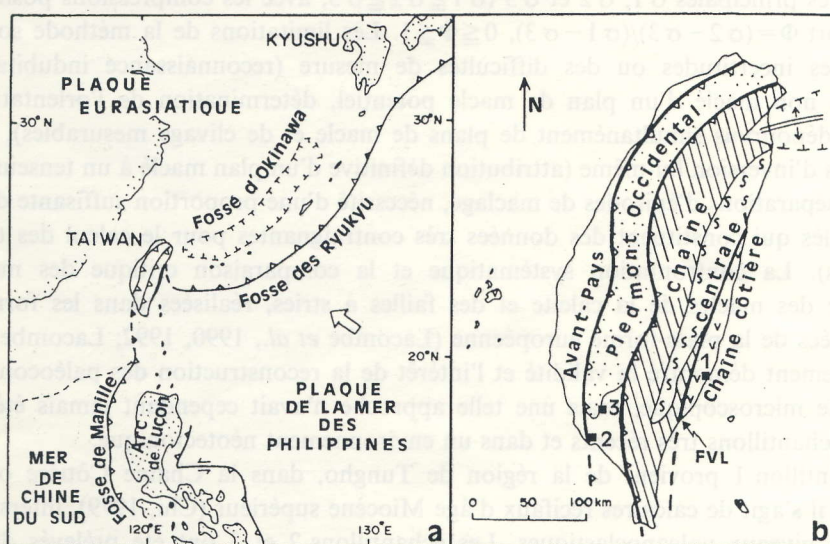


Fig. 1. — Contexte géodynamique (a) et principales unités tectoniques (b) de Taiwan. FVL = Faille de la Vallée Longitudinale. 1 : Site Tungho; 2 : Site Kaohsiung; 3 : Site Hsiaokangshan. Modifié d'après Teng (1990).

Fig. 1. — Geodynamic framework (a) and main structural units (b) of Taiwan. FVL = Longitudinal Valley Fault. 1 : Site Tungho; 2 : Site Kaohsiung; 3 : Site Hsiaokangshan. Modified from Teng (1990).

principales provinces tectoniques de Taiwan (*fig. 1 b*) comprennent d'une part la Chaîne Centrale et ses piedmonts occidentaux (la marge eurasiatique), et d'autre part la Chaîne Côtière orientale (l'arc de Luçon). Ces deux provinces sont séparées par la faille active de la Vallée Longitudinale (Barrier, 1985 a; Tsai, 1986). Ce contexte géotectonique fait de Taiwan un lieu privilégié pour l'analyse des déformations récentes et actuelles ainsi que des mécanismes de l'orogénèse.

Dans une chaîne de montagnes active comme Taiwan, l'étude des événements compressifs plio-quadernaires constitue une étape cruciale pour la compréhension de l'évolution tectonique récente et actuelle de la zone de collision. L'analyse des structures cassantes a été effectuée (Barrier, 1985 b; Angelier *et al.*, 1986, 1990), mais se heurte aux difficultés liées au polyphasage tectonique qui caractérise généralement les formations anté-quadernaires, et aux conditions d'affleurement défavorables dans les sédiments récents de l'avant-pays subsident à l'Ouest.

I. LES MACLES DE LA CALCITE DANS LES CALCAIRES RÉCIFEAUX DU SUD DE TAIWAN. — L'objet de cette Note est de montrer que les états de contraintes associés aux épisodes compressifs récents à actuels de l'orogénèse taiwanaise peuvent être reconstitués par l'analyse de la déformation des cristaux de calcite dans les calcaires récifaux miocènes et quaternaires du Sud de Taiwan. La première étape de cette analyse consiste en la mesure des macles à la platine universelle à partir de lames minces orientées. La deuxième étape repose sur un processus d'inversion des données de macles, qui prend en compte les plans de macle effectivement maclés, mais également les plans non maclés [plans de macle potentiels dont on connaît l'orientation mais sur lesquels la contrainte cisailante résolue (CCR) a été trop faible pour atteindre le seuil de maclage]. Pour des grains de taille homogène et dans l'hypothèse d'un seuil de maclage constant, ce processus permet la détermination du(ou des) tenseur(s) de paléocontraintes responsable(s) du maclage (Etchecopar, 1984; Laurent, 1984; Laurent *et al.*, 1981, 1990). On accède ainsi aux orientations des trois contraintes principales σ_1 , σ_2 et σ_3 ($\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$, avec les compressions positives) et au rapport $\Phi = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)$, $0 \leq \Phi \leq 1$. Les limitations de la méthode sont liées soit à des incertitudes ou des difficultés de mesure (reconnaissance indubitable du caractère non maclé d'un plan de macle potentiel, détermination de l'orientation des cristaux dépourvus simultanément de plans de macle et de clivage mesurables), soit au processus d'inversion lui-même (attribution définitive d'un plan maclé à un tenseur donné lors des séparations d'épisodes de maclage, nécessité d'une proportion suffisante de plans non maclés qui constituent des données très contraignantes pour le calcul des tenseurs successifs). La confrontation systématique et la comparaison critique des méthodes d'analyse des macles de la calcite et des failles à stries, réalisées dans les formations carbonatées de la plate-forme européenne (Lacombe *et al.*, 1990, 1992; Lacombe, 1992), ont clairement démontré la validité et l'intérêt de la reconstruction des paléocontraintes à l'échelle microscopique, mais une telle approche n'avait cependant jamais été tentée sur des échantillons très récents et dans un environnement néotectonique.

L'échantillon 1 provient de la région de Tungho, dans la Chaîne Côtière orientale (*fig. 1*) : il s'agit de calcaires récifaux d'âge Miocène supérieur (Chi, 1979), interstratifiés dans des niveaux volcanoclastiques. Les échantillons 2 et 3 ont été prélevés dans des calcaires récifaux grossiers d'âge Pléistocène ($-0,9$ à $-0,45$ Ma: Chi *et al.*, 1981) dans les régions de Kaohsiung et de Hsiaokangshan respectivement, au front de l'orogène dans la partie SW de Taiwan (*fig. 1*). En lame mince, la structure corallienne est caractérisée par un réseau de cavités d'origine organique, séparées par des septes aragonitiques. Les calcaires pléistocènes, qui n'ont probablement subi aucun enfouissement notable, ont été portés à l'affleurement lors du soulèvement récent de la chaîne, et leur émergence a accéléré le processus de diagenèse. Le matériel aragonitique des cloisons a ainsi recristallisé sous forme de gros cristaux xénomorphes de calcite sparitique (300-500 μm), qui ont assuré également le remplissage secondaire des loges. Ces cristaux ne présentent pas d'orientation préférentielle marquée (*fig. 2*); aucun indice de glissement le long de leurs bordures n'a été observé. Ils sont par ailleurs traversés par des lamelles de macle $[10\bar{1}2]$ fines et rectilignes. Ces caractéristiques suggèrent une déformation faible (moins de 1 à 2 %), réalisée à basse température : le matériau est donc favorable à l'analyse des macles de la calcite et à leur interprétation en termes de contraintes.

II. LES RÉSULTATS DE LA DÉTERMINATION DES PALÉOCONTRAINTES A L'ÉCHELLE MICROSCOPIQUE. — Dans l'échantillon de Tungho, un tenseur unique a pu être déterminé à partir de 75 % des macles, ce qui suggère une déformation cristalline monophasée (tableau).

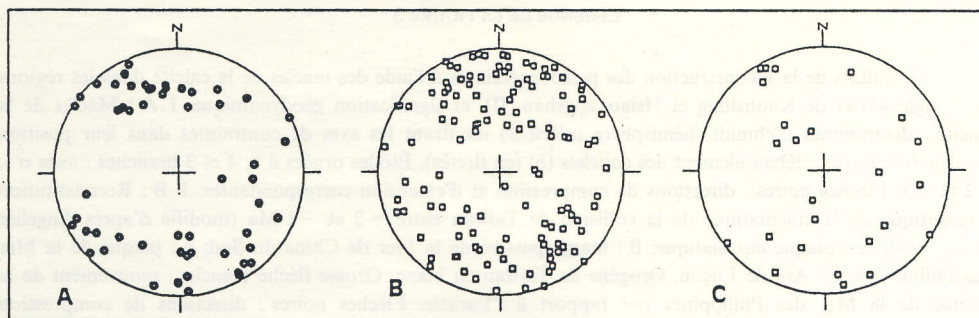


Fig. 2. — Projection stéréographique (Schmidt, hémisphère inférieur) des axes optiques (A) et des pôles des plans maclés (B) et non maclés (C) des cristaux mesurés dans l'échantillon prélevé à Hsiaokangshan, après restitution des données dans le repère géographique.

Fig. 2. — Stereographic projection (lower hemisphere, equal area) of the optical axes (A), and of the poles of twinned planes (B) and untwinned planes (C) of the crystals measured in the sample collected at Hsiaokangshan, after restitution of the data into the geographical coordinate frame.

TABLEAU

Tenseurs de contraintes déterminés par l'analyse des macles de la calcite.
Stress tensor determination based on calcite twin data.

Sites	Axes de contraintes			Φ	f	N1		N2	
	σ1	σ2	σ3			Nt	Nu	Nt	Nu
Tungsho	174-37	313-45	067-22	0.09	0.03	98	16	73	14
	* 154-08	045-68	247-21						
Kaohs.	134-26	344-61	230-13	0.46	0.08	84	20	37	18
	* 314-04	058-73	222-17						
Kaohs.	243-04	148-55	335-35	0.27	0.06	84	20	18	18
Hsiaok.	079-12	249-78	349-02	0.22	0.27	127	25	69	17
Hsiaok.	326-29	153-61	058-03	0.51	0.27	127	25	35	21

Direction et plongement des axes de contraintes, en degrés. Les étoiles indiquent la disposition des axes du tenseur après débasculement de la stratification. Φ, défini dans le texte. f = valeur de la fonction de pénalisation :

$$f = \sum_{j=1}^N (\tau s_j - \tau a')$$

où $\tau a'$ est la CCR minimale exercée sur les plans maclés expliqués par le tenseur et τs_j les

CCR exercées sur les N plans non maclés j tels que $\tau s_j > \tau a'$. La minimisation de f permet l'optimisation du tenseur solution; pour plus de détail, se reporter à Etchecopar (1984), Tourneret et Laurent (1990), Lacombe (1992). N1 : nombre total de données de macles retenues pour le calcul; N2 : nombre de données de macles compatibles avec le tenseur; Nt : nombre de plans maclés; Nu : nombre de plans non maclés.

Trend and plunge of each stress axis, in degrees. Stars: stress tensor attitude after backtilting of the bedding plane. Φ defined in text. f, value of the penalization function: $f = \sum_{j=1}^N (\tau s_j - \tau a')$, where $\tau a'$ is the smallest resolved

shear stress applied on the twinned planes accounted for by the tensor and τs_j the resolved shear stresses applied on the N untwinned planes j such as $\tau s_j > \tau a'$. For more details, refer to Etchecopar (1984), Tourneret and Laurent (1990), Lacombe (1992). N1, total number of calcite twin data retained for calculation; N2, number of calcite twin data consistent with the tensor; Nt: number of twinned planes; Nu: number of untwinned planes.

LÉGENDE DE LA FIGURE 3

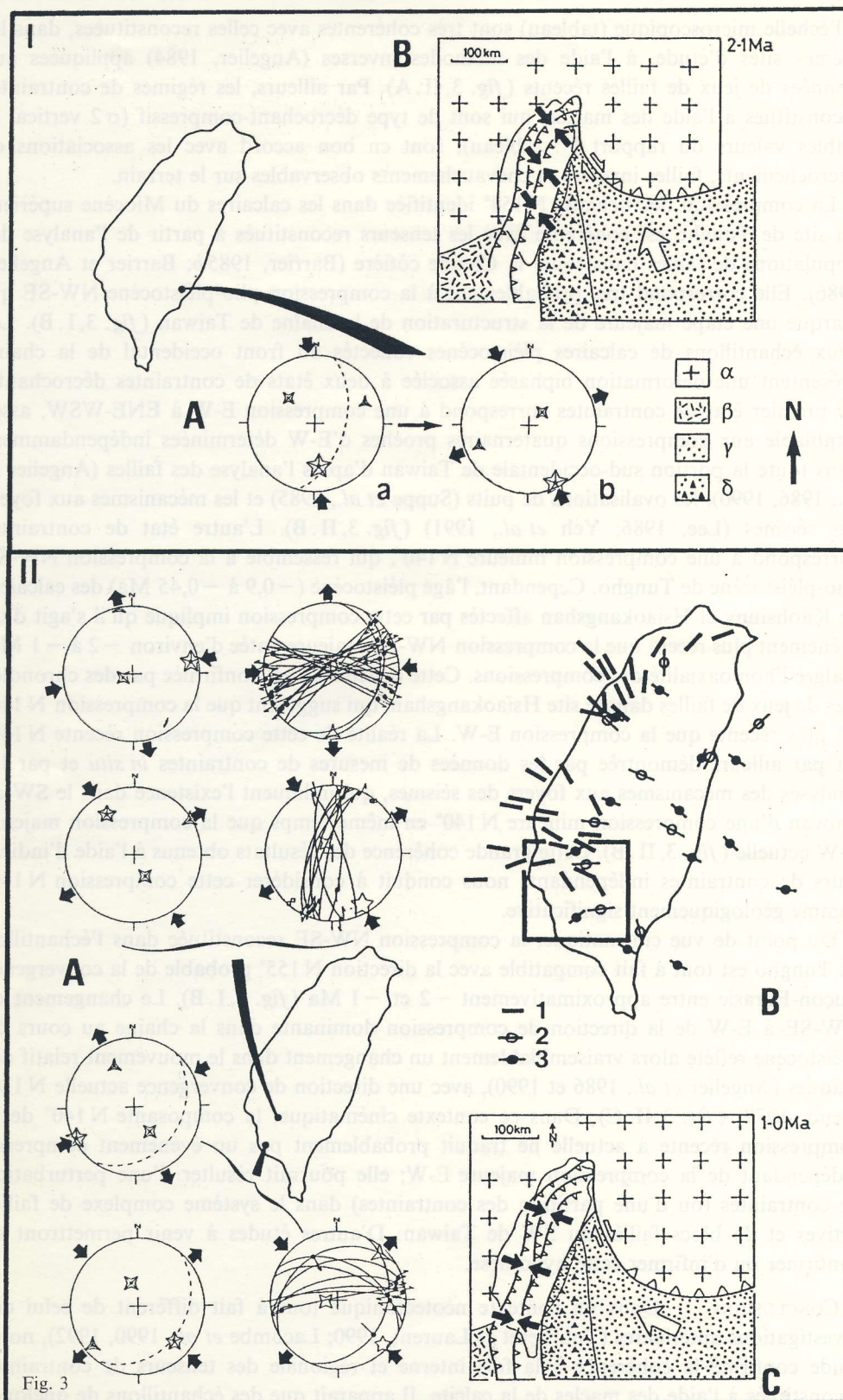
Fig. 3. — Résultats de la reconstruction des paléocontraintes à l'aide des macles de la calcite dans les régions de Tungho (I) et de Kaohsiung et Hsiaokangshan (II), et signification géodynamique. I. A : Macles de la calcite : diagrammes (Schmidt, hémisphère inférieur) montrant les axes de contraintes dans leur position actuelle (a) et après débasculement des couches (b) (en tiretés). Étoiles ornées à 5, 4 et 3 branches : axes σ_1 , σ_2 et σ_3 . Flèches noires : directions de compression et d'extension correspondantes. I. B : Reconstitution schématique de la cinématique de la collision de Taiwan entre -2 et -1 Ma (modifié d'après Angelier *et al.*, 1990). α : plaque eurasiatique; β : marge passive de la Mer de Chine du Sud; γ : plaque de la Mer des Philippines; δ : Arc de Luçon. Orogène de Taiwan en blanc. Grosse flèche blanche : mouvement de la plaque de la Mer des Philippines par rapport à l'Eurasie. Flèches noires : directions de compression déterminées par l'analyse des structures cassantes. II. A : Macles de la calcite : même légende que I. A.; Failles : traces cyclographiques et points avec des doubles flèches : plans de failles et stries correspondantes. Étoiles à 5, 4 et 3 branches : axes σ_1 , σ_2 et σ_3 . II. B : Directions des contraintes actuelles déterminées par ovalisation des puits de forages (1 : Suppe *et al.*, 1985) et par analyse des mécanismes aux foyers des séismes (2 : Lee, 1986 et 3 : Yeh *et al.*, 1991). II. C : Reconstitution schématique de la cinématique de la collision de Taiwan entre -1 et 0 Ma. Même légende que I. B.

Fig. 3. — Results of paleostress reconstruction based on calcite twin analysis in the Tungho area (I) and the Kaohsiung and Hsiaokangshan areas (II). I. A: Calcite twins: diagrams (lower hemisphere, equal area) showing the axes of the stress tensor (a) in their present attitude and (b) after backtilting of the bedding plane (shown as a dashed line). Stress axes shown as ornate stars with 5 (σ_1), 4 (σ_2) and 3 branches (σ_3). Corresponding directions of compression and extension indicated by black arrows. I. B: Schematic reconstruction of the kinematics of the Taiwan collision between approximately -2 and -1 Ma (modified from Angelier *et al.*, 1990). α : Eurasian plate; β : passive margin of South China Sea; γ : Philippine Sea Plate; δ : Luzon Arc. Foreland fold-and-thrust belt of Taiwan shown white. Large open arrow: motion of the Philippine Sea plate relative to Eurasia. Black arrows: directions of compression determined from studies of brittle structures. II. A: Calcite twins: same key as in I. A.; Faults: thin curves and dots with double arrows: fault planes and corresponding slickenside lineations. Stress axes shown as empty stars with 5 (σ_1), 4 (σ_2) and 3 branches (σ_3). II. B: Present-day stress directions inferred from borehole breakouts (Suppe *et al.*, 1985) (1), and focal mechanisms of earthquakes [Lee, 1986 (2) and Yeh *et al.*, 1991 (3)]. II. C: Schematic reconstruction of the kinematics of the Taiwan collision between approximately -1 and 0 Ma. Same key as in I. B.

Dans sa position actuelle, l'axe σ_1 est contenu dans le plan de stratification qui présente un fort pendage vers le SE (fig. 3, I. A), ce qui indique que les macles se sont probablement développées avant le plissement ou à son tout début. Le pli étant à peu près cylindrique et d'axe horizontal, la remise à l'horizontale des strates révèle la véritable disposition des axes de contraintes lors du maclage (fig. 3, I. A). Le tenseur débasculé correspond à un régime décrochant-compressif (σ_2 sub-vertical et Φ proche de 0), avec un axe σ_1 sub-horizontale orienté N 154° .

Dans l'échantillon de Kaohsiung, le tenseur identifié en premier lieu explique 45 % des macles et correspond après débasculement à une compression décrochante N 134° (tableau). Les macles compatibles avec ce tenseur étant retirées, 40 % des macles restantes livrent un autre tenseur décrochant avec σ_1 orienté N 063° . Enfin, dans l'échantillon de Hsiaokangshan, le premier tenseur calculé rend compte de 54 % des macles et correspond à une compression décrochante N 079° . 60 % des macles restantes sont compatibles avec un tenseur en compression décrochante N 146° (tableau). De façon remarquable, les orientations de contraintes déterminées indépendamment dans les calcaires pléistocènes de Kaohsiung et de Hsiaokangshan sont tout à fait comparables (dans une fourchette de 15° qui est satisfaisante compte tenu des incertitudes des déterminations et des dispersions régionales) (fig. 3, II. A).

III. COMPARAISON DES TENSEURS OBTENUS AVEC LES CHAMPS DE CONTRAINTES NÉOTECTONIQUES; SIGNIFICATION GÉODYNAMIQUE. — Les orientations de paléocontraintes déterminées



à l'échelle microscopique (tableau) sont très cohérentes avec celles reconstituées, dans les mêmes sites d'étude, à l'aide des méthodes inverses (Angelier, 1984) appliquées aux données de jeux de failles récents (*fig. 3, II. A*). Par ailleurs, les régimes de contraintes reconstitués à l'aide des macles, qui sont de type décrochant-compressif (σ_2 vertical et faibles valeurs du rapport Φ : tableau), sont en bon accord avec les associations de décrochements, failles inverses et chevauchements observables sur le terrain.

La compression décrochante N 154° identifiée dans les calcaires du Miocène supérieur du site de Tungho est cohérente avec les tenseurs reconstitués à partir de l'analyse des populations de failles dans toute la Chaîne côtière (Barrier, 1985*b*; Barrier et Angelier, 1986). Elle correspond très probablement à la compression plio-pléistocène NW-SE qui marque une étape majeure de la structuration de la chaîne de Taiwan (*fig. 3, I. B*). Les deux échantillons de calcaires pléistocènes collectés au front occidental de la chaîne présentent une déformation biphasée associée à deux états de contraintes décrochants. Le premier état de contraintes correspond à une compression E-W à ENE-WSW, assez semblable aux compressions quaternaires proches d'E-W déterminées indépendamment dans toute la portion sud-occidentale de Taiwan d'après l'analyse des failles (Angelier *et al.*, 1986, 1990), les ovalisations de puits (Suppe *et al.*, 1985) et les mécanismes aux foyers des séismes (Lee, 1986; Yeh *et al.*, 1991) (*fig. 3, II. B*). L'autre état de contraintes correspond à une compression mineure N 140°, qui ressemble à la compression NW-SE plio-pléistocène de Tungho. Cependant, l'âge pléistocène (-0,9 à -0,45 Ma) des calcaires de Kaohsiung et Hsiaokangshan affectés par cette compression implique qu'il s'agit d'un événement plus récent que la compression NW-SE majeure datée d'environ -2 à -1 Ma, malgré l'homoaxialité des compressions. Cette conclusion est confirmée par des chronologies de jeux de failles dans le site Hsiaokangshan, qui suggèrent que la compression N 140° est plus récente que la compression E-W. La réalité de cette compression récente N 140° est par ailleurs démontrée par les données de mesures de contraintes *in situ* et par les analyses des mécanismes aux foyers des séismes, qui indiquent l'existence dans le SW de Taiwan d'une compression mineure N 140° en même temps que la compression majeure E-W actuelle (*fig. 3, II. B*). Cette grande cohérence des résultats obtenus à l'aide d'indicateurs de contraintes indépendants nous conduit à considérer cette compression N 140° comme géologiquement significative.

Du point de vue cinématique, la compression NW-SE reconstituée dans l'échantillon de Tungho est tout à fait compatible avec la direction N 155° probable de la convergence Luçon-Eurasie entre approximativement -2 et -1 Ma (*fig. 3, I. B*). Le changement de NW-SE à E-W de la direction de compression dominante dans la chaîne au cours du Pléistocène reflète alors vraisemblablement un changement dans le mouvement relatif des plaques (Angelier *et al.*, 1986 et 1990), avec une direction de convergence actuelle N 120° (Seno, 1977) (*fig. 3, II. C*). Dans ce contexte cinématique, la composante N 140° de la compression récente à actuelle ne traduit probablement pas un événement compressif indépendant de la compression majeure E-W; elle pourrait résulter d'une perturbation de contraintes (ou d'une partition des contraintes) dans le système complexe de failles actives et de blocs faillés du SW de Taiwan. D'autres études à venir permettront de confirmer ou d'infirmer cette hypothèse.

CONCLUSIONS. — Dans un contexte néotectonique tout à fait différent de celui des investigations antérieures (Tourneret et Laurent, 1990; Lacombe *et al.*, 1990, 1992), notre étude confirme la cohérence à la fois interne et régionale des tenseurs de contraintes reconstitués à l'aide des macles de la calcite. Il apparaît que des échantillons de quelques

centimètres cube peuvent enregistrer fidèlement, puis restituer les paléocontraintes caractéristiques des principales étapes de la structuration d'une chaîne de montagnes active. Ces résultats suggèrent l'existence, malgré les multiples sources d'hétérogénéités, d'un bon accord dans la distribution des contraintes, de l'échelle microscopique jusqu'à l'échelle de la zone de collision.

Nous remercions l'Institut Français à Taipei, le « National Science Council », le « Central Geological Survey » de Taiwan, ainsi que l'Institut Français du Pétrole pour leur soutien. Nous remercions aussi P. Cros pour son aide dans l'analyse des structures coralliennes, ainsi qu'A. Etchecopar pour ses remarques constructives concernant le manuscrit.

Note remise le 8 février 1993, acceptée après révision le 6 mai 1993.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- J. ANGELIER, Tectonic analysis of fault slip data sets, *J. Geophys. Res.*, 89, B7, 1984, p. 5835-5848.
- J. ANGELIER, E. BARRIER et H. T. CHU, Plate collision and paleostress trajectories in a fold-thrust belt: the foothills of Taiwan, *Tectonophysics*, 125, 1986, p. 161-178.
- J. ANGELIER, F. BERGERAT, H.-T. CHU et T.-Q. LEE, Tectonic analysis and the evolution of a curved collision belt: the Hsüehshan Range, northern Taiwan, *Tectonophysics*, 183, 1990, p. 77-96.
- E. BARRIER, Un grand accident actif: la faille de la vallée longitudinale de Taiwan, *Rev. Géol. dyn. Géogr. phys.*, 26, 1985 a, p. 43-58.
- E. BARRIER, Tectonique d'une chaîne de collision active: Taiwan, *Thèse de Doctorat d'État-ès-Sciences*, Mém. Sciences de la Terre, Université Pierre-et-Marie-Curie, n° 85-29, Paris, 1985 b, 492 p.
- W. R. CHI, A biostratigraphic study of the late Neogene sediments in the Kaohsiung area based on calcareous nannofossils, *Proc. Geol. Soc. China*, 22, 1979, p. 121-144.
- W. R. CHI, J. NAMSON et J. SUPPE, Stratigraphic record of plate interactions in the Coastal Range of eastern Taiwan, *Mem. Geol. Soc. China*, 4, 1981, p. 155-194.
- A. ETCHECOPAR, Étude des états de contraintes en tectonique cassante et simulation de déformations plastiques (approche mathématique), *Thèse Sc.*, Univ. Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, 1984, 270 p.
- C. S. HO, A synthesis of the geologic evolution of Taiwan, *Tectonophysics*, 125, 1986, p. 1-16.
- C. S. HO, *An introduction to the geology of Taiwan: explanatory text for the geologic map of Taiwan*, Minist. Écon. Aff. Taipei, 2^e éd., 1988, 164 p.
- O. LACOMBE, J. ANGELIER et P. LAURENT, Determining paleostress orientations from faults and calcite twins: a case study near the Sainte-Victoire Range (southern France), *Tectonophysics*, 201, 1992, p. 141-156.
- O. LACOMBE, J. ANGELIER, P. LAURENT, F. BERGERAT et C. TOURNERET, Joint analyses of calcite twins and fault slips as a key for deciphering polyphase tectonics: Burgundy as a case study, *Tectonophysics*, 182, 1990, p. 279-300.
- O. LACOMBE, Maclage, fracturation et paléocontraintes intraplaques: application à la plate-forme carbonatée ouest-européenne, *Thèse Sc.*, Mém. Sciences de la Terre, Université Pierre-et-Marie-Curie n° 92-24, Paris, 1992, 316 p.
- P. LAURENT, Les macles de la calcite en tectonique: nouvelles méthodes dynamiques et premières applications, *Thèse Sc.*, Univ. Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, 1984, 324 p.
- P. LAURENT, P. BERNARD, G. VASSEUR et A. ETCHECOPAR, Stress tensor determination from the study of *e* twins in calcite: a linear programming method, *Tectonophysics*, 78, 1981, p. 651-660.
- P. LAURENT, C. TOURNERET et O. LABORDE, Determining deviatoric stress tensors from calcite twins. Application to monophased synthetic and natural polycrystals, *Tectonics*, 9, 3, 1990, p. 379-389.
- C. T. LEE, Methods of stress analysis and paleostress changes in northern Taiwan due to arc-continent collision, *Ph. D. thesis*, non publiée, National Taiwan University, Taipei, 1986, 370 p.
- T. SENO, The instantaneous rotation vector of the Philippine Sea plate relative to the Eurasian plate, *Tectonophysics*, 42, 1977, p. 209-226.
- J. SUPPE, Mechanics of mountain-building and metamorphism in Taiwan, *Mem. Geol. Soc. China*, 4, 1981, p. 67-90.
- J. SUPPE, C. T. HU et Y. J. CHEN, Present-day stress directions in western Taiwan inferred from borehole elongation, *Petrol. Geol. Taiwan*, 21, 1985, p. 1-12.
- L. S. TENG, Geotectonic evolution of late Cenozoic arc-continent collision in Taiwan, *Tectonophysics*, 183, 1990, p. 57-76.
- C. TOURNERET et P. LAURENT, Paleostress orientations from calcite twins in the north pyrenean foreland, determined by the Etchecopar inverse method, *Tectonophysics*, 180, 1990, p. 287-302.
- Y. B. TSAI, Seismotectonics of Taiwan, *Tectonophysics*, 125, 1986, p. 17-37.
- Y. H. YEH, E. BARRIER, C. H. LIN et J. ANGELIER, Stress tensor analysis in the Taiwan area from focal mechanisms of earthquakes, *Tectonophysics*, 200, 1991, p. 267-280.

O. L. et J. A. : *Laboratoire Tectonique Quantitative, Université Pierre-et-Marie-Curie, URA n° 1315, CNRS, Tour n° 26-25 E1, Boîte n° 129, 4, place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05, France;*

P. L. : *Laboratoire Géologie Structurale, Université Sciences et Techniques du Languedoc, URA n° 1371, CNRS, place E.-Bataillon, 34095 Montpellier Cedex 05, France.*