

GÉOTECTONIQUE GIRATOIRE

ANDRÉ CAIRE ¹

SOMMAIRE

Caire, A. 1979 Géotectonique giratoire. *In*: W. J. M. van der Linden (ed.): Fixism, mobilism or relativism: Van Bemmelen's search for harmony — *Geol. Mijnbouw* 58: 241-252.

Les grands éventails et gerbes de fractures coulissantes, interceptant des séquences de fossés ou rifts en échelons, se développent, selon les mêmes dispositifs ordonnés, aussi bien en milieu continental qu'océanique.

Ils se greffent sur de grands faisceaux et de longues voies de coulissement tectogène. Entre ces grandes géocoulisses, les compartiments lithosphériques offrent des tendances à la giration différentielle et à la reptation.

Sur les bords des mêmes grandes glissières se développent des arcs et involutions orogéniques induits par les géocoulissements. Dans les dispositifs involutifs, les enroulements et enveloppements simulent des spirales, tourbillons et remous.

ABSTRACT

Caire, A. 1979 Géotectonique giratoire (Spiral geotectonics). *In*: W. J. M. van der Linden (ed.): Fixism, mobilism or relativism: Van Bemmelen's search for harmony — *Geol. Mijnbouw* 58: 241-252.

Large fans and sheafs of transcurrent faults, cutting off series of trenches or rifts in echelon fashion, develop in a similar orderly way in both continental and oceanic settings.

They graft themselves on to the large bundles and the long faults paths of transcurrent tectogenic zones. In between these 'macro-groves' or 'geocoulisses' lithospheric blocks or plates show a tendency to differential spiral movement and creep.

Arcs and orogenic involutions develop along these macro slip zones, caused by the major transcurrent tectogenic zones. The curls and wrap-around phenomena, within the involuted, inwardly curling structures, resemble spirals, whirlpools and vortices.

FAISCEAUX COULISSANTS ET GERBES

Un coulissement est un mouvement de coulisse entre deux compartiments -adjacents (ce qui est le cas pour les décrochements), ou - séparés par un faisceau d'accidents qui prennent en charge le jeu coulissant, grâce à des déformations continues (torsions, plissements) ou discontinues (failles, fentes, recouvrements), parallèles, obliques ou transversales à la direction générale de coulissement.

Parmi les structures ordonnées qui accompagnent ces faisceaux coulissants, se signalent les éventails et les gerbes (éventails à branches courbes): nous réserverons le terme de

gerbes aux gerbes de fractures, les gerbes de plis étant, classiquement, nommées virgations. Dans la nature, gerbes et virgations sont souvent associées.

Les gerbes liées aux faisceaux coulissants peuvent: (1) correspondre à l'épanouissement terminal, ou aux deux épanouissements terminaux, d'un faisceau. Dans ces gerbes terminales, le coulissement se divise et, souvent, s'amortit. C'est ce qui fait que le faisceau et ses gerbes terminales forment un tout. En accord avec le sens habituel de torsion des gerbes dextres ou sénestres (CAIRE, 1973-b), ce tout affecte l'allure d'un S ou d'un Z. Et ceci est valable à des échelles très variées: de l'accident métrique, de faisceaux d'ordre décakilométrique comme le faisceau salinois dans le Jura, et d'ensembles sigmoïdes d'ordre myriamétrique, tels que l'ensemble Alaska-Californie-Caraïbes, l'ensemble Fidji-Tonga-Kermadec-Nouvelle Zélande, l'ensemble Kham-

¹ Géologie Structurale, Université Paris VI, Tour 26 (E1), 4 Place Jussieu, 75230 PARIS Cedex 05, France; et Laboratoire Associé au C.N.R.S. no. 215.

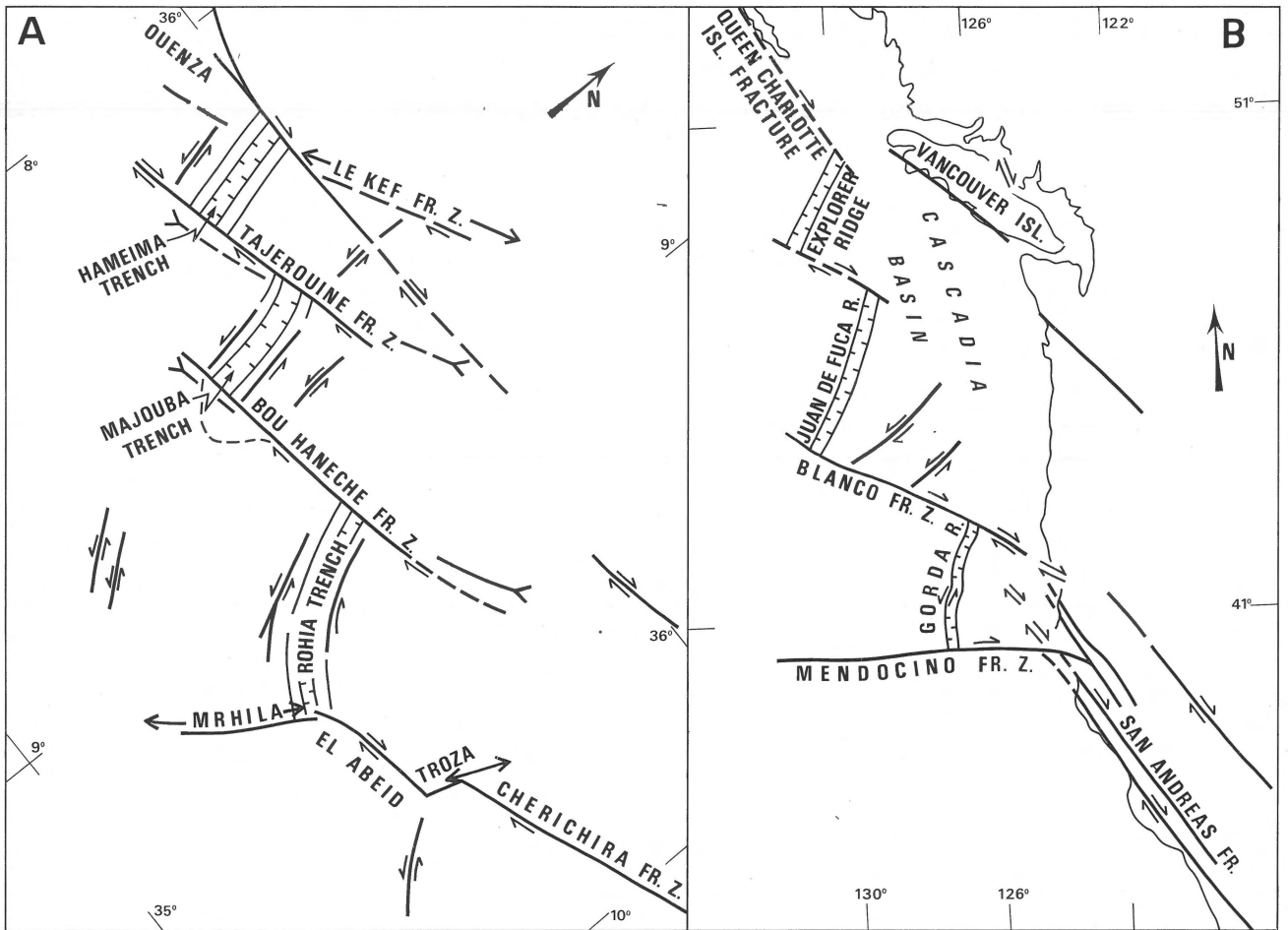


Fig. 1

Gerbes de fractures coulissantes interceptant des fossés ou rifts.

A: Atlas tunisien central; B: Nord-Est Pacifique. Les deux régions présentent la même organisation où sont combinées: (1) des structures extensives (fossés ou rifts), rectilignes, arquées ou onduleuses, bordées d'épaulements discontinus, parcourues ou escortées de fractures coulissantes sénestres; (2) des accidents de liaison (plis et/ou fractures) disposés en gerbes tronquées, et jouant activement pendant l'ouverture des structures extensives. Ce jeu peut être cantonné entre les extrémités des rifts ou fossés (cas des failles transformantes) ou se prolonger au-delà de ces extrémités (cas des failles de liaison). Dans l'une et l'autre région, les gerbes sont greffées sur des voies de coulissement majeures. Les failles de liaison sont représentées par des traits épais, les plis de liaison par des traits épais fléchés, les rifts et fossés par des doubles lignes barbelées. L'échelle est donnée par les méridiens et les parallèles.

Birmanie-Banda. Notons que ces divers exemples géographiquement définis correspondent tous à des faisceaux coulissants dextres;

(2) être branchées le long d'un faisceau, sur l'une des principales failles coulissantes, ou bien constituer le corps même du faisceau, sur une certaine distance. Ce sont des assemblages relevant de ces dernières catégories que nous examinerons ci-dessous.

GERBES DE FAILLES COULISSANTES GREFFÉES SUR DES FAISCEAUX EN DOMAINES CONTINENTAL ET OCÉANIQUE

Des faisceaux coulissants, comportant des fractures coulissantes directionnelles et des gerbes subordonnées de failles

coulissantes, présentent des caractères très comparables, en milieu continental et en milieu mi-continental mi-océanique. Nous en donnerons des exemples comparatifs dans l'Atlas tunisien et dans la marge ouest de l'Amérique du Nord (Fig. 1). Chemin faisant, nous introduirons les notions d'accidents de liaison.

Cas de l'Atlas tunisien: faisceau coulissant dextre plio-quadernaire

L'Atlas tunisien est une avant-chaîne typique (CAIRE, 1976-b, 1976-77) qui présente un système cohérent de structures plio-quadernaires. Des lignes de coulissement dextre, subparallèles entre elles, courent d'W en E sur plus de 1000 km le long des Atlas nord-africains et acquièrent une légère courbure à la traversée du territoire tunisien (cf. CAIRE, 1975,

Fig. 9). Sur elles se branchent, sous des angles faibles mais variables, des lignes de coulisement secondaires, dextres elles aussi. Toutes ces lignes correspondent, en surface, à des failles coulissantes ou à des accidents en échelons, induits par des coulisements profonds. Selon la conception rhématique, les principales d'entre elles doivent correspondre à des accidents de socle, réactivés dans l'ambiance tectonique nouvelle qui les a fait jouer en accidents dextres. Ici comme en bien d'autres lieux, on doit par conséquent associer les notions de mémoire tectonique de la croûte, et de rejeu des discontinuités héritées.

Toutes les grandes voies de coulisement dextres de l'Atlas tunisien sont tectogènes. Leur jeu profond a en effet provoqué la formation, dans la couverture, de recouvrements tectoniques, de plis et de fossés disposés en échelons. Les fossés (ou cuvettes) sont irrégulièrement bordés d'épaulements, et sont liés entre eux par des accidents de liaison.

Notion d'accident de liaison – Au sens général du terme, un accident de liaison est un accident tectonique (pli, faille ou recouvrement) qui, en plan, relie les extrémités ou terminaisons de deux structures. L'accident de liaison et les deux structures qu'il relie jouent dans la même logique, en synergie, pour assurer la même déformation d'ensemble. Un accident de liaison peut se prolonger au-delà des extrémités des structures qu'il relie. Ces prolongements peuvent jouer en même temps que la portion médiane du dispositif (Figs. 1A et 4). Dans le cas particulier qui correspond aux accidents transformants, ces mêmes prolongements ne jouent plus.

Dans le cas de l'Atlas tunisien, les accidents de liaison reliant les fossés sont des plis (exemple: synclinal de Masouge-Ellès liant les cuvettes du Sers et de Siliana, étudiées par BEN AYED, 1975) et/ou par des décrochements dextres (on peut ici parler de failles de liaison dextre) accompagnés de divers phénomènes de torsion et de recouvrement. Les failles de liaison dextre sont plus ou moins obliques aux voies de coulisement principales et s'organisent en éventails ou gerbes.

Organisation des fossés de l'Atlas tunisien – Les fossés tunisiens sont associés en paires ou en triades. Considérons par exemple la triade comprenant les fossés de Hameima, Majouba (partie septentrionale du fossé complexe de Kalaa Djerda) et Rohia (Fig. 1A). Les deux premiers sont bordés par des épaulements très saillants, mais discontinus. Tous trois sont joints par des failles de liaison dextre, accompagnées, parallèlement à leur trajet, par des plis moniformes: cordon de plis et de diapirs le long de la dislocation Ouenza-Le Kef et le long de l'alignement Tajerouine-Lorbeuss, chapelet de plis le long de la ligne Bou Hanèche-Maktar-Belouta. Le fossé de Rohia est bordé au S par l'anticlinal conique du Mrhila.

Par ailleurs, on observe des failles de coulisement sénestre parallèles ou subparallèles aux axes d'allongement des fossés. Elles se situent dans, sur les bords, ou entre les fossés. Celles

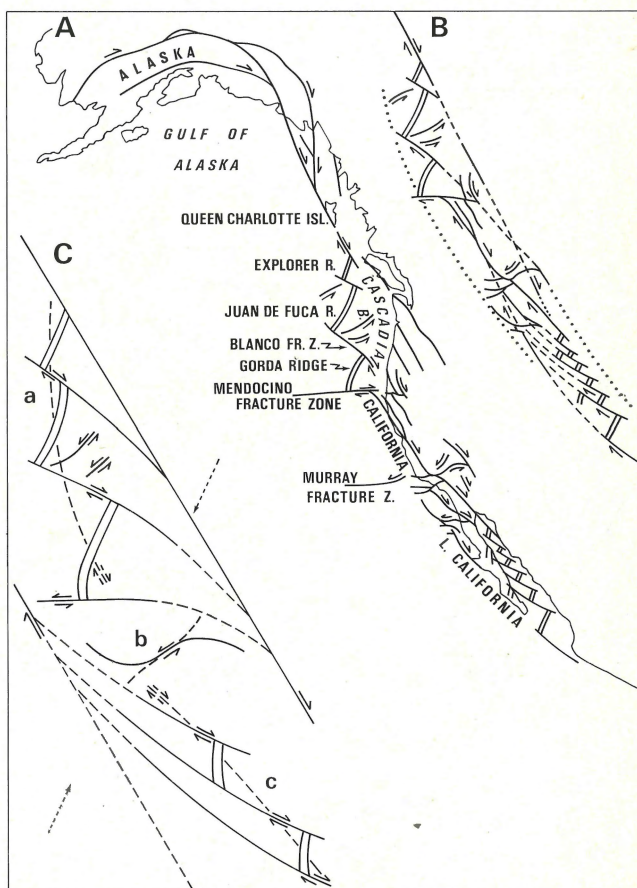


Fig. 2

Le faisceau coulissant dextre Californie -Alaska, et les gerbes subordonnées.

Ce faisceau coulissant s'allonge entre les compartiments lithosphériques d'Amérique du Nord et du Pacifique. A: Schéma général indiquant l'opposition entre (1) une partie méridionale, légèrement courbe, entre la Basse Californie et les Iles de la Reine Charlotte, et (2) une partie septentrionale, qui s'épanouit dans l'involucration alaskienne (cf. Fig. 10 B). B: Partie méridionale du faisceau, avec mise en évidence (1) de la largeur du faisceau (v. Fig. 3) et (2) des deux gerbes greffées sur les accidents directionnels du faisceau. C: Type d'organisation du faisceau, montrant (1) l'allure et la disposition subordonnée des gerbes régionales (aux gerbes de failles de liaison dextre répondent des gerbes conjuguées de rifts: cf. Fig. 11 B); (2) le rôle des failles coulissantes sénestres arquées ou sigmoïdes qui témoignent de rotations internes du faisceau coulissant, selon le principe de roulement (v. Fig. 3).

qui bordent les fossés sont, par 'appel au vide' déformées en ou recoupées par des failles inverses tendant à la fermeture tectonique des fossés.

Cette triade est relayée plus au S par le système plus complexe des fossés de Morsott-Tébessa-Chebbou-Kasserine (cf. CAIRE, 1976-b). Notons que ces divers assemblages cohérents peuvent être comparés avec le système des fossés Limagnes-Bresse-Rhin (CAIRE, 1977-b) à ceci près que ce dernier dépend d'une zone de coulisement sénestre SW-NE.

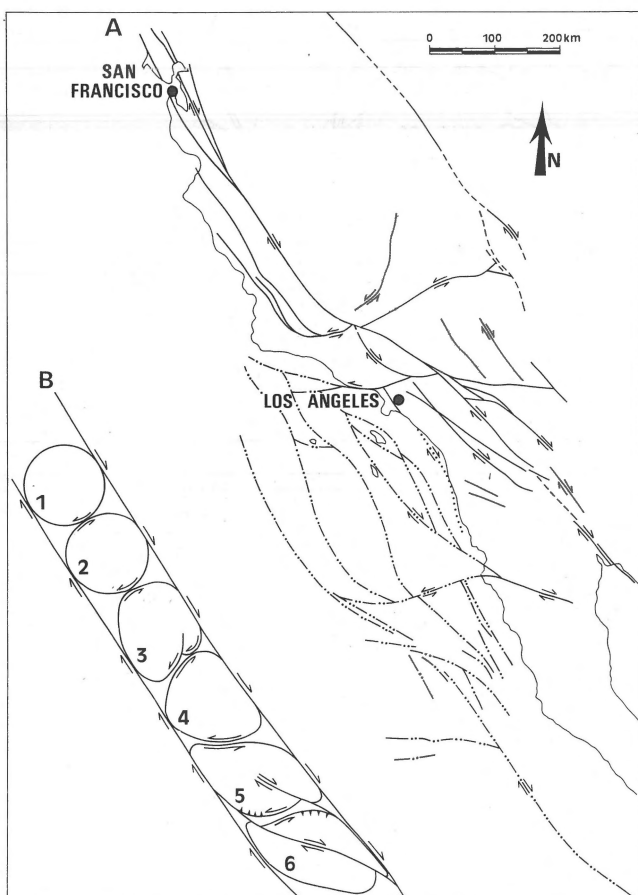


Fig. 3

Structures de roulement en Californie.

Les failles coulissantes dextres et sénestres sont associées dans la logique du 'roulement à billes'. De petites cellules rotatives, assimilables à des rouleaux ou, mieux, à des toupies, se succèdent dans un couloir entre deux failles bordières majeures de coulissement dextre. La dimension de ces cellules indique par conséquent la largeur du faisceau coulissant actif. Le sens de rotation des mêmes cellules suffirait, d'ailleurs, à lui seul, à montrer l'action mécanique des compartiments encaissants (Amérique du Nord et Pacifique). A: Fractures selon King (1969); B: Diagramme schématique avec 1-2: cellule rotative théorique; 3-4: blocs rotatoires déformés, avec naissance d'une fracture secondaire; 5-6: blocs rotatoires déformés, cisailés par des fractures émanant des failles bordières, et naissance de structures chevauchantes (denticules).

Faisceau Californie-Alaska

La frange ouest de l'Amérique du Nord (Fig. 2) est parcourue par un faisceau coulissant dextre, de jeu récent et actuel. Ce faisceau légèrement arqué, s'étend sur plus de 5000 km de longueur, depuis le Golfe de Basse Californie jusqu'à son épanouissement dans la gerbe alaskienne. Les accidents coulissants qui le composent passent, en plan, de la croûte continentale à la croûte océanique. C'est le faisceau dans son ensemble (et non tel ou tel de ses accidents élémentaires) qui assure globalement le coulissement entre l'Amérique du Nord et la cellule pacifique.

Sur de longues fractures maîtresses se greffent des cassures secondaires, disposées en gerbes (Figs. 2 et 1B). Les branches de ces gerbes, en croûte continentale ou océanique, interceptent des fentes (rifts) transversales ou obliques. Dans la partie méridionale du dispositif, des failles de liaison dextre, disposées en gerbe, interceptent des fossés sur la péninsule de Basse Californie, et des rifts dans le Golfe voisin (KING, 1969; MENARD, 1969, p. 85; C.F.P., 1970). Plus au N, le faisceau de coulissements dextre, dont fait partie la faille de San Andreas, comporte des failles coulissantes sénestres, arquées ou sigmoïdes. Au N et au S de Los Angeles, cet assemblage semble bien obéir au principe du roulement (Fig. 3), sans qu'il soit besoin de faire appel à des poinçonnements périodiques, opérés par les compartiments encaissants. A ce roulement de 'toupies' sont normalement associés des recouvrements tectoniques. L'intérêt majeur de ce dispositif est de nous donner la largeur minimale du faisceau coulissant (Fig. 2) et, par conséquent, de greffer la gerbe de Basse Californie sur une des fractures maîtresses les plus occidentales du faisceau coulissant (Fig. 2, B et C). Encore plus au N, entre le Cap Mendocino et les Iles de la Reine Charlotte, au bord occidental du Bassin des Cascades (Cascadia Basin), une nouvelle gerbe de fractures (Figs. 1B et 2) se développe, symétriquement à celle de Basse Californie. Cette gerbe, et les structures qui lui sont liées, est étroitement comparable à celle décrite en Tunisie (Fig. 1).

Comme en Tunisie, les fractures (ou zones de fractures) gerbées interceptent des rides à rift axial. Comme en Tunisie, ces rifts sont rectilignes ou arqués, bordés par des épaulements discontinus, ce qui est surtout net pour la ride de Gorda (MC MANUS, 1964; SEELY, 1977), et affectés ou flanqués, par des accidents coulissants sénestres (MASON & RAFF, 1961; RAFF & MASON, 1961; EMILIA ET AL., 1968; PITMAN & HAYES, 1968; DELHINGER ET AL., 1968, Fig. 5; COUCH, 1969).

Les fractures coulissantes présentent elles-mêmes un relief qui est d'autant plus continu et important que ces fractures sont plus obliques à la direction générale du faisceau coulissant. On peut l'expliquer par un raccourcissement parallèle à la direction du faisceau, et donc oblique aux diverses fractures en éventail. Notons que la fracture (ou zone fracturée) de Mendocino et celle, légèrement sigmoïde, de Blanco, soulignées par la bathymétrie (MC MANUS, 1964) et par les mécanismes au foyer des séismes (TOBIN & SYKES, 1968; DELHINGER ET AL., 1968, Figs. 13, 14), s'infléchissent vers le SE à leur extrémité orientale, pour s'approcher de la direction générale du faisceau coulissant. Tout indique, par conséquent, qu'elles se greffent sur la fracture dextre majeure de San Andreas. L'ensemble constitue une gerbe dextre typique (cf. CAIRE, 1973-b). Toute fracture telle que celle de Blanco ne correspond pas à la définition des failles transformantes, puisqu'elle joue au delà des extrémités de la ride de Gorda. La fracture de Blanco comme ses soeurs, est une faille de liaison s.l. (v. ci-dessus).

En somme, toutes les structures susdites et leurs jeux sont tout à fait semblables, et même qualitativement identiques, à

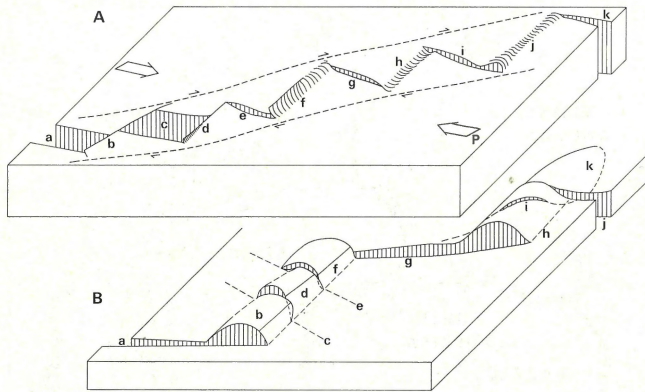


Fig. 4
Structures ouvertes et accidents de liaison.

A: Couloir de coulissement dextre avec ouvertures (fentes, fossés) en échelons liées à leurs extrémités par des accidents de liaison en échelons (failles de liaison et/ou plis de liaison). a: fossé; b: faille de liaison; c: trappe; d: flexure et faille de liaison; e, g, i, k: fissure ou fente; f: pli et faille de liaison; h: synclinal transformant; j: pli mixte transformant; P: direction de poussée. B: Exemples de plis de liaison entre fentes. Ces plis peuvent s'arrêter aux extrémités des fentes (plis transformants) ou se prolonger au delà. Ils peuvent être affectés par des failles transversales ouvertes ou fermées à jeux variés. a, g, j: fentes en échelons; b, d, f: tronçons d'un anticlinal transformant; c: faille à jeu et décalage sénestre; e: faille à jeu sénestre et décalage local dextre; i: faille disjonctive (ouverte) ou fissure; h-k: anticlinal de liaison.

leurs correspondants tunisiens. Seule la dimension des objets structuraux varie d'un cas à l'autre. Dans ces deux régions, les mouvements relatifs des compartiments encadrant le faisceau coulissant s'effectuent bien par rapport au faisceau pris dans sa totalité, et non par rapport aux accidents élémentaires tels que les failles de liaison. Ces dernières, d'orientations variées, n'indiquent que des mouvements locaux.

INTERPRÉTATION DES SÉQUENCES ORDONNÉES. GIRATION DIFFÉRENTIELLE ET REPTATION DES CELLULES LITHOSPHÉRIQUES

Comme nous venons de le voir, un même dispositif cohérent, où des failles de liaison en gerbes interceptent des rifts ou fossés (Figs. 1 et 11 B), s'observe aussi bien en des régions continentales qu'en domaine océanique proche d'un continent, et s'explique, dans les deux cas de la même manière. Il est donc probable que tout dispositif analogue, observable en milieu océanique franc, sera justiciable de la même interprétation.

Or il existe, le long des dorsales océaniques, des 'gerbes tronquées' (cf. CAIRE, 1973-b) de failles coulissantes interceptant des tronçons de rifts. Un bel exemple peut en être pris dans l'Atlantique central (Fig. 6), entre le Brésil et le Golfe de Guinée, le long de la gerbe que je nommerai ci-dessous 'système de la Romanche'. En se référant à ce qui a

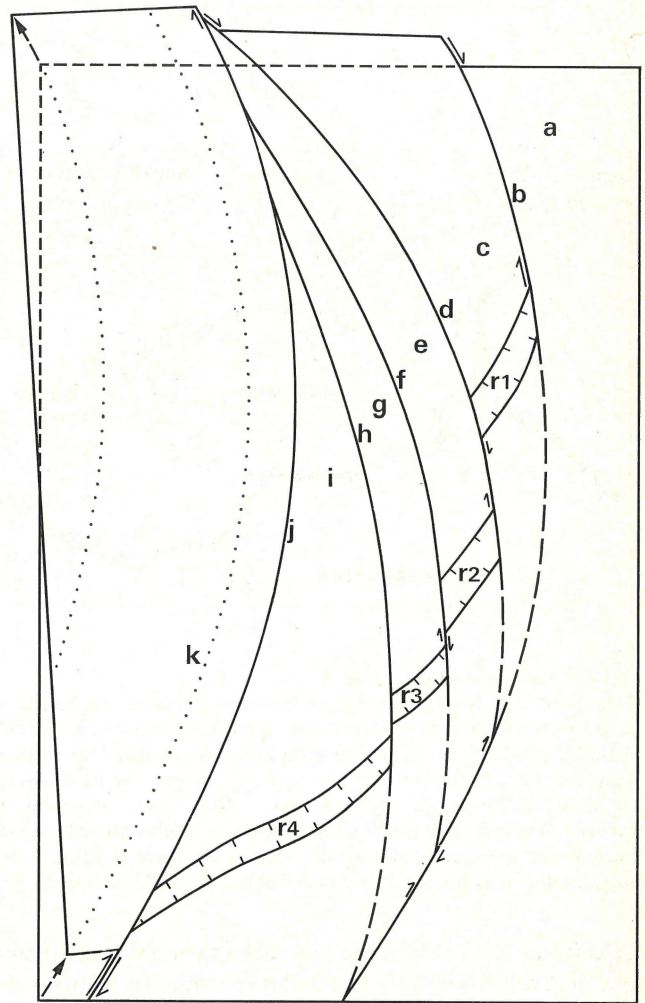


Fig. 5
Modèle de faisceau coulissant arqué avec gerbe de failles coulissantes et rifts en échelons.

Deux compartiments (a et k) encadrent un faisceau (1) limité par les fractures bordières, directrices, longitudinales (b, j), et (2) parcouru obliquement de failles subordonnées, en écharpe ou en gerbe (d, f, h). Ces diverses fractures interceptent les tronçons d'un rift (r1 à r4). Toutes ces structures peuvent jouer d'une manière concomitante, et en harmonie, avec déplacement relatif des diverses pièces (originellement) contenues dans un espace rectangulaire. Mais les décalages indiqués sur les bords du rectangle initial, et l'ouverture des rifts, peuvent être réalisés par le jeu d'une partie seulement des fractures: ainsi, les portions tirées de b, d, f, h peuvent rester inertes, sans coulissement. On s'explique ainsi que, dans certains faisceaux, tel le faisceau californien, certaines failles coulissantes sont seules actives à un moment donné. On note par ailleurs que les rifts s'organisent eux-mêmes en gerbe (cf. Figs. 1, 2, 6, 8 B et 11 B). Si, dans le mouvement relatif entre a et k, on considère a comme fixe, la rotation de k s'opère autour d'un pôle qui est sur les perpendiculaires à b et j, et non pas sur les perpendiculaires aux failles 'transformantes' h, f, d.

été dit plus haut sur les faisceaux et leurs gerbes, ainsi qu'aux figures 1, 2, 4 et 5, il est clair que le mouvement relatif entre deux compartiments lithosphériques séparés par une gerbe, n'est pas parallèle, mais oblique, aux accidents élémentaires

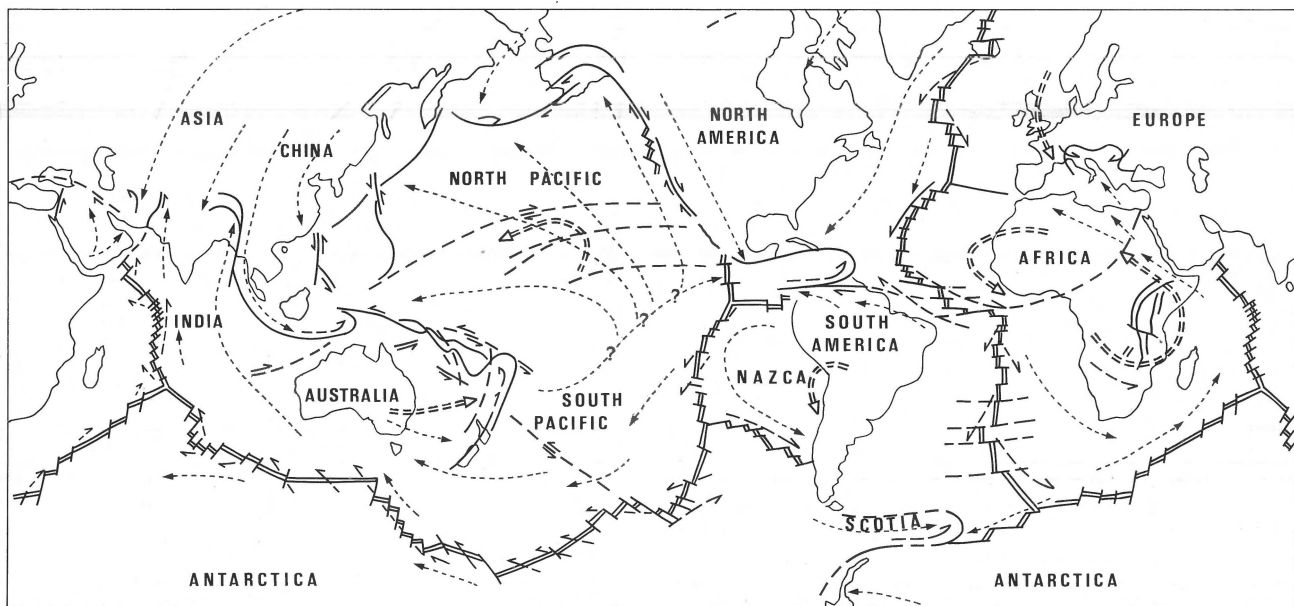


Fig. 6

Approche des girations terrestres.

En accord avec les figures précédentes, les coulissemments locaux sont suggérés – avec l'approximation indiquée dans le texte – par des demi-flèches tirées bordant les séquences cohérentes de rifts et failles de liaison. Le tracé de ces demi-flèches, oblique aux rifts et aux failles de liaison, indique les tendances giratoires des grands compartiments lithosphériques ('plaques'). Les lignes de flux au sein de ces cellules suggérées par des flèches finement tirées. On retrouve ici divers résultats des travaux de R.W. van Bemmelen, la giration différentielle de l'Afrique, de l'Australie, etc (voir texte). Remarques. Les grands compartiments lithosphériques à noyau continental voisin de l'équateur présentent une tendance à la giration sénestre. Plutôt que de plaques, elles donnent l'impression de grosses toupies dodelinantes. Quant au fait qu'elles se meuvent comme des toupies, on verra la figure 7, et la superposition des effets de reptation – dérive à ceux de giration. La topographie et la géologie sont empruntés à X. Le Pichon et al. (1973, Fig. 27, p. 83).

de cette gerbe. La valeur de cette obliquité n'est appréciable que qualitativement car (1) dans les exemples les mieux connus, elle varie; et n'est pas la même en Tunisie et dans le Nord-Est Pacifique; (2) les positions et configurations des rifts océaniques et de leurs failles de liaison varient notablement d'une publication à l'autre.

A ces réserves près, on peut interpréter de nombreux éventails ou gerbes de failles transformantes comme des séquences obliques au déplacement mutuel des compartiments lithosphériques (Fig. 6). A partir des mouvements de coulisse ainsi suggérés, il apparait que ces compartiments lithosphériques tendent à subir des mouvements de giration différentielle (Fig. 7). En outre, ces girations semblent accompagnées de mouvements de reptation entre des glissières intra- ou inter-continentales (Fig. 7). Ces divers mouvements (révélés par leurs tendances actuelles et récentes, déduites de l'état actuel du globe) peuvent avoir joué un rôle important dans le passé géologique. Les points qui précèdent seront développés ci-dessous après une courte réflexion sur l'allure et la nature des grands compartiments lithosphériques, c'est à dire les grandes pièces de la mosaïque terrestre encadrant les zones mobiles.

Ces pièces sont intimement déformables, donc non rigides et, par définition, ce ne sont pas des plaques. Puisqu'elles rampent et se déforment, on pourrait les comparer à des

amibes et les nommer cellules lithosphériques. Etant pourvues d'écorce adhérente, elles mériteraient le nom de dosses. S'il est bien vrai qu'elles tournoient sur elles-mêmes et qu'elles cheminent à la surface d'un manteau plus ou moins profond, on pourrait les qualifier de toupies: grosses et lentes toupies dodelinantes, ou mieux encore, pour parler grec, strobiles, sinon géostrobiles.

Exemples de girations lithosphériques

En ce qui concerne les girations, introduites dans le chapitre précédent, il faut signaler les divers exemples déjà donnés par R. W. VAN BEMMELEN (1972). La figure 10 (p. 218) de cet ouvrage, représente les voies de dérive post-permienne sur les compartiments lithosphériques, et indique en particulier une giration sénestre de l'Afrique². Le même sens de giration intéresse l'Amérique du Sud (ibid., Fig. 6, p. 107), l'Amérique du Nord (ibid., Figs. 6 et 10), et d'autres compartiments lithosphériques.

Au contraire, l'aire arctique présente une giration dextre (ibid., Fig. 11, p. 221), et Van Bemmelen note: 'Dans la

² Dans un article récent, S. J. Freeth (1978, p. 675) note que, durant les derniers 90 Ma, l'Afrique s'est régulièrement déplacée vers le N et a subi une légère rotation anti-horaire.

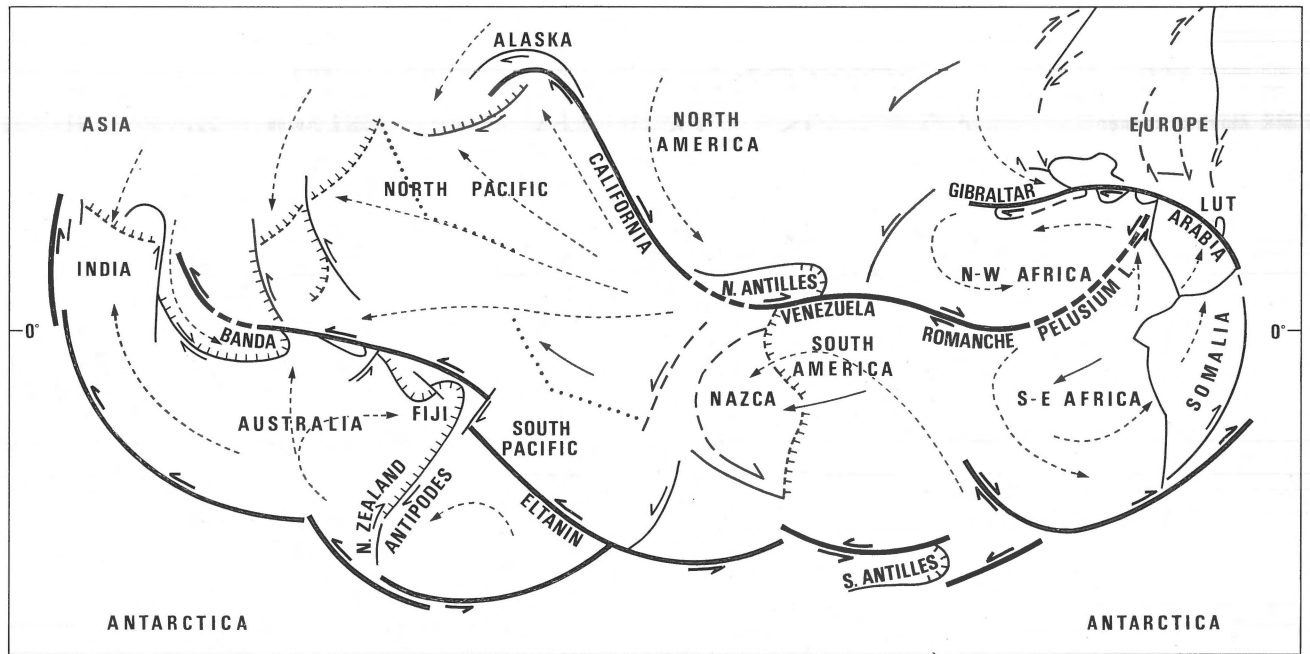


Fig. 7

Girations différentielles, voies majeures de coulisement et reptation des cellules lithosphériques.

Aux tendances giratoires révélées par la figure 6 se combinent des mouvements de reptation et de dérive vers l'W, plus expressifs sur la présente figure, où sont omis les limites continentales, les rides, rifts et failles de liaison. Deux longues voies de glissement apparaissent. L'une, dextre, va du système de la Romanche jusqu'en Alaska, avec interruption probable en Amérique centrale. Elle semble inerte dans sa portion africaine, et joue en coulisement sénestre dans la partie nord-est de la ligne pélusienne. Cette grande glissière septentrionale a une réplique mésogéenne (v. texte). La seconde grande voie coulisante elle aussi bifide, offre un jeu sénestre. Ses tronçons successifs se situent, d'E en W, de l'Atlantique Sud aux Antilles du Sud, puis au Pacifique Sud. Une branche glisse ensuite le long de la zone de fracture d'Eltanin, puis rebrousse les arcs depuis la galaxie barrée des Fidji jusqu'à la mer de Banda et en Indochine. L'autre branche glisse au S de l'Australie et à l'W de l'Inde. Ces voies et leurs branches émettent des rameaux dans les compartiments adjacents. Un exemple est celui du grand accident sénestre des Philippines, et de ses belles navettes. Sur les bords de ces deux grandes voies ramifiées se situent les arcs et involutions actifs et récents. Pour exprimer des divers jeux d'une manière plus imagée, on peut dire qu'empiétant sur l'équateur, une piste sinue, sur laquelle des danseurs se succèdent. De l'Orient indien au Pacifique méridional, deux couples valsent à l'envers. Dans le couple africain, le danseur sud-pélusien passe son bras droit derrière sa partenaire. Dans cet effort d'enveloppement, il froisse la parure mésogéenne de la vieille Europe et fait éclater le dos de son habit, dont il abandonne un pan aux Somalies, alors que s'envole son capuchon arabe. Le couple de valseurs ouest-atlantique suit le chemin du soleil (c'est à dire qu'il se déplace en sens inverse de la rotation terrestre, sans qu'on puisse dire si c'est par inertie). La taille de Nazca se cambre et son cavalier sud-américain se penche dangereusement sur elle. Plus à l'W, la piste bifurque et se détourne progressivement vers le N. Sur la voie septentrionale, largement ouverte, le Pacifique glisse le long de l'Amérique du Nord, mais laisse flotter ses basques jusqu'au S des Mariannes. Fuyant la chaleur des Panaches, il se décide à plonger dans les soupiraux des subductions en guirlandes. Des langues pendantes en concluent qu'il veut ainsi cacher, sous des ornements factices, son affreuse maladie, la sclérose en plaques. Au Sud, l'Antipodiste se glisse sous le bord néo-zélandais de la Grande Australie. Cette dernière bascule, mais se laisse entraîner par l'Inde qui monte se cacher sous l'Himalaya. Dans cette collision, le Séjour des Neiges lève sa tête orgueilleuse. Si la Grande Asie semble indifférente aux grands engloutissements qui s'étendent des abords himalayens à l'Alaska, il n'en est pas de même sur les bords de la piste. Et bien que les danseurs aient gardé des distances, quelques bousculades se produisent, luxant des membres et froissant des dentelles. Ainsi naissent et s'enroulent les arcs et involutions: de Gibraltar au Lut d'Iran, dans les Antilles du Nord et du Sud, en Alaska, le long de l'écharpe ourlée où s'égrenent les galaxies spirales barrées des Fidji à la Mer de Banda. S'agit-il d'un rythme de Java? Certains de ces accidents de bordure font souvent revivre de vieilles blessures et parfois s'accroissent au cours des âges. Même si leurs rythmes changent, ils évoluent depuis longtemps et dureront tant que la musique d'Euterpe accompagnera la récitation de Clio.

perspective de cette carte, la Terre tourne en sens inverse des aiguilles d'une montre, et la méga-undation de l'Atlantique IV (ou Arctique) cause une expansion et fuite dextre, à partir de l'Arctique, des boucliers laurentien et sibérien, ce qui est imputable à l'inertie rotationnelle de leurs masses (force de Coriolis)'.

Entrons dans quelques détails. La cellule lithosphérique africaine est bordée, à l'W, par le système de la Romanche, au S par une autre séquence ordonnée de rifts et failles

transformantes dextres, au N par le faisceau coulisant dextre E-W d'Afrique du Nord. On doit donc bien envisager qu'elle est soumise à une giration sénestre, anti-horaire. Par ailleurs, la cellule africaine se décompose en deux compartiments, situés de part et d'autre de la ligne pélusium (pélusienne). Cette ligne, définie par NEEV (1975), part de la côte méditerranéenne de Palestine, et suit le linéament trans-africain de NAGY ET AL. (1976). NEEV (1977) prolonge cette ligne pélusium et la décrit comme le cisaillement transcontinental ar-

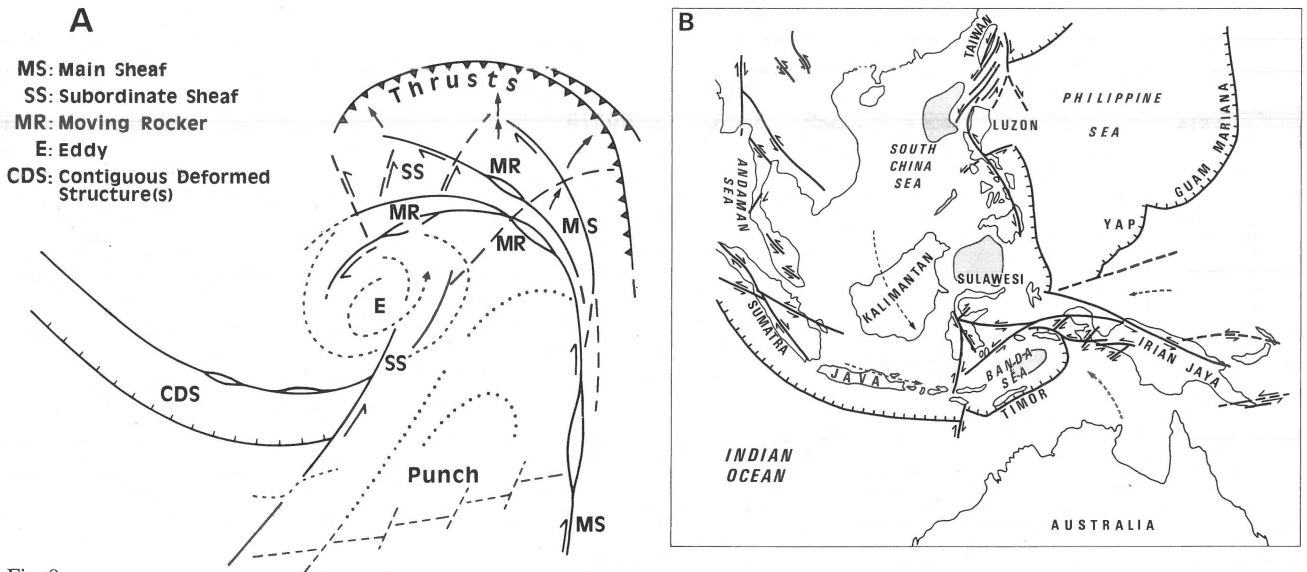


Fig. 8

L'involution orogénique: organisation type et exemple alpidique.

A: L'involution orogénique correspond à un assemblage cohérent dissymétrique (Caire, 1977-a) créé par le déplacement oblique d'un poinçon (punch) qui peut être formé de segments glissant le long de voies coulissantes rectilignes ou arquées. Dans ce dispositif se révèle: (1) la torsion de structures adjacentes, et l'interruption de structures développées du côté de l'enroulement principal (CDS); (2) la formation et le développement de gerbes de fractures coulissantes. On distingue fondamentalement deux gerbes conjuguées, la gerbe majeure (MS) étant plus développée que la gerbe mineure (SS); (3) l'induction de structures connectées aux coulissements: failles, fentes et plis en échelons, navettes. Une navette (MR) est un bloc rhomboïdal ou lenticulaire qui bascule et navigue comme un bateau soumis au roulis et au tangage (v. Caire, 1973-b, 1975); (4) le développement d'arcs de recouvrement (chevauchements et charriages). A des états d'évolution variés, surimposé ou interférant avec d'autres structures, le motif de l'involution orogénique se reconnaît en diverses régions du globe. Les involutions actives ou récentes, dans lesquelles diverses structures jouent encore, synergiquement ou individuellement, se situent au bord des grandes voies de coulissement (v. Fig. 7). Le ou les remous (E), actifs ou dormants, sont à divers stades d'évolution, selon que le poinçon pénètre plus ou moins dans les régions embouties: le remous tourne d'abord dans un sens correspondant aux conditions de la Fig. 11 D et peut se stabiliser avant de tourner dans le sens inverse correspondant à la Fig. 11 E. Au cours de cette évolution, les parties distales des gerbes conjuguées peuvent inverser leur jeu, les navettes être écrasées ou écaillées, et les failles coulissantes passer à des failles inverses, au front du poinçon. B: L'involution alpidique (v. Caire, 1973-c) s'enroule autour du remous déprimé de la plaine piémontaise (P), lui-même établi sur un enfoncement de la limite croûte-manteau (Giese et al., 1973, Fig. 2). Cet enroulement a déjà apparu dans divers travaux, spécialement dans les articles de Van Bemmelen (1969-a, b, 1970, 1972, 1973). Cette involution dépend de la partie nord-ouest du promontoire africain (ou adriatique) fonctionnant comme poinçon, et actuellement recouverte axialement par les sédiments du bassin du Pô. Ce poinçon est sensiblement symétrique de la partie nord-est du même promontoire, qui a construit les Carpates, ses gerbes et son oeil transylvain. L'involution alpidique se combine avec une gerbe d'accidents qui s'épanouit dans l'arc tyrrhénien. On voit aussi, sur la figure, une partie du faisceau coulissant dextre W-E d'Afrique du Nord, qui se curve vers le NE et recoupe l'Apennin.

qué formé de trois segments, du fossé anatolien jusqu'au N du Brésil. Selon le même auteur, l'extrémité nord-est de ce cisaillement est alpine et sénestre: sa partie atlantique est dextre et active; le long du système Koufra-Bahr el Ghazal-Lac Tchad-Bénoûé, il est inactif dans le passé récent. Considérée dans son ensemble, cette ligne de faiblesse est une voie typiquement rhexmatique qui rejoue par segments, en accordant ses jeux successifs aux sollicitations tectoniques régionales qui se renouvellent d'âge en âge. La ligne Pelusium-Romanche sépare le compartiment Nord-Ouest Africain du compartiment Sud-Est Africain. Ce dernier contient les grands fossés de l'Est africain, dont l'ouverture est compatible avec une giration sénestre du Sud-Est Africain.

Le long des rides du Nord Atlantique et de Carlsberg, le mouvement relatif paraît inversé. Ce caractère nouveau est explicable par un déplacement périphérique des cellules nord-américaine et indienne, plus rapide que celui de la cellule africaine.

Si l'on applique les mêmes principes, et qu'on prend en considération supplémentaire les zones de subduction, il apparaît que les 'plaques' d'Amérique du Sud et de Nazca obéissent elles-mêmes à une giration sénestre, tout en se rapprochant l'une de l'autre. Pour ce qui concerne les autres cellules lithosphériques, les mêmes considérations conduisent aux girations proposées sur la figure 7. Le cas de l'Antarctique est réservé, par manque d'informations suffisantes. Cependant, la torsion méridionale de la Péninsule Antarctique suggère une giration sénestre du noyau antarctique. Comme pour la giration dextre de l'Arctique, il peut s'agir ici d'une réaction à la rotation terrestre.

GRANDES VOIES DE COULISSEMENT: GÉOGLISSIÈRES OU GÉOCOULISSES (FIG. 7)

Les voies majeures de coulissement qui sont directement

observables à la surface du globe sont les témoins de cisaillements actuels et récents. Comme dans le cas particulier de la ligne pélusienne, elles sont constituées de tronçons successifs, qui se suivent bout à bout, ou se relaient longitudinalement. De plus, ces voies sont rarement constituées d'un accident unique et sont souvent formées d'étriquets faisceaux. Ces grandes voies de coulissement bordent ou recoupent les 'plaques' de la nouvelle tectonique globale. Telle est la voie dextre qui va de la Romanche au Venezuela puis, après un parcours incertain en Amérique centrale, court de la Californie à l'Alaska. Elle présente une réplique ou ramification mésogénée, dont le jeu dextre peut être tenu pour responsable de l'essentiel de la tectogenèse alpine (CAIRE, 1976-a, p. 234-237). Cette voie se ramifie à son tour dans les aires adjacentes, et constitue donc bien un faisceau coulissant.

Telle est aussi la grande voie sénestre qui court, clopin-clopant, de l'Atlantique Sud au Pacifique Sud, emprunte la zone d'Eltanin, puis borde les festons et remous involutifs des Fidji à la mer de Banda, et se ramifie vers le N, en particulier dans les Philippines, pour pénétrer dans le bloc asiatique (Figs. 7 et 9). La réplique méridionale passe au S de la Nouvelle Zélande et de l'Australie et à l'W de l'Inde. Elle envoie aussi des ramifications, au long de sa course, dans les compartiments voisins. On a ainsi l'image de danseurs se succédant d'E en W, le long d'une piste de danse (v. légende de la figure 7). En des régions saillantes bousculées par les danseurs, les principaux arcs et involutions de jeu actuel ou récent se situent au bord de cette piste.

ARCS ET INVOLUTIONS

Les complexes arqués en cours d'évolution sont, comme il vient d'être dit, localisés sur les bordures des grandes voies de coulissement actives ou récentes. Il est donc bien probable qu'ils sont engendrés par les mouvements relatifs de compartiments lithosphériques ornés d'indentations (caps, promontoires) périphériques. Ces indentations, aspérités ou irrégularités de bordure peuvent être entraînés dans la voie coulissante, où elles tournent et déterminent des structures variées, y compris des recouvrements (v. par ex. le promontoire africain in CAIRE, 1976-a, p. 235). Comme il ne s'agit, de toute manière, que de mouvements relatifs, on peut s'exprimer d'autre façon, et dire que les bords des compartiments encapuchonnent ou se rabattent sur les caps ou promontoires voisins. Ainsi naissent les arcs, qu'on les dise créés par poussée ou par rabattement des ailes. A leur structure courbée de boucle ou de guirlande s'associent, dans des mesures variables, des gerbes de décrochements, des recouvrements, des remous localisés... Cette association constitue l'involution orogénique (Fig. 8 et suiv.).

Les promontoires lithosphériques agissent comme des poussoirs ou poinçons. Ils provoquent une fracturation profonde de leur avant-pays. La nature violente, saccadée (avec

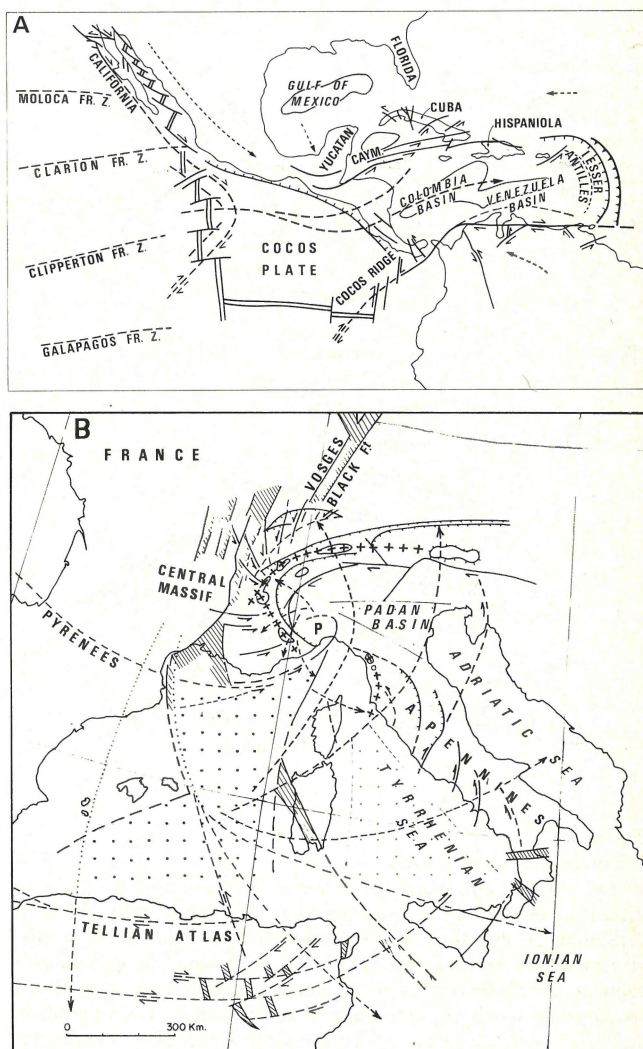


Fig. 9

Involutions autour de la mer des Caraïbes et de la mer de Banda. A des échelles différentes, on peut observer le même arrangement général et beaucoup de traits communs, dans ces deux régions qui en sont pourtant à des stades évolutifs différents. Le point commun fondamental est l'enroulement sous l'action d'un jeu coulissant majeur: décrochements dextres E-W du Venezuela, et du N de la mer de Banda. Cet enroulement s'opère autour d'un 'poinçon' qui tend à s'affaisser et à s'océaniser. On peut établir des équivalences entre les secteurs de: Yucatan et Kalimantan, Cayman ridge et Sud Sulawesi, Cuba et Philippines, Amérique du Sud et Australie, arc d'Amérique centrale et arc de Java-Sumatra, failles de la zone de fractures de Panama et au SW de Timor.

Sources bibliographiques. Pour les Caraïbes et alentours: Bowin, 1976; Case, 1974; Schubert et al., 1975; Silber et al., 1975. Pour l'Indonésie et ses abords: Audley-Charles, 1975; Froidevaux, 1978; Hamilton, 1977; Hedervary et al., 1977; Holcombe, 1977; Karig, 1973; Katili, 1975, 1978; Krebs, 1975; Johnson et al., 1972; Page, 1978; Posavec et al., 1973.

La ligne arquée et tiretée qui traverse le golfe d'Alaska correspond à la limite orientale de la grande zone sismique des Aléoutiennes, et peut représenter une coupure du poinçon situé sous ce golfe.

Sources bibliographiques: Packer et al., 1975, Figs. 1 et 4; Brogan et al., 1975; Minster et al., 1974, p. 244.

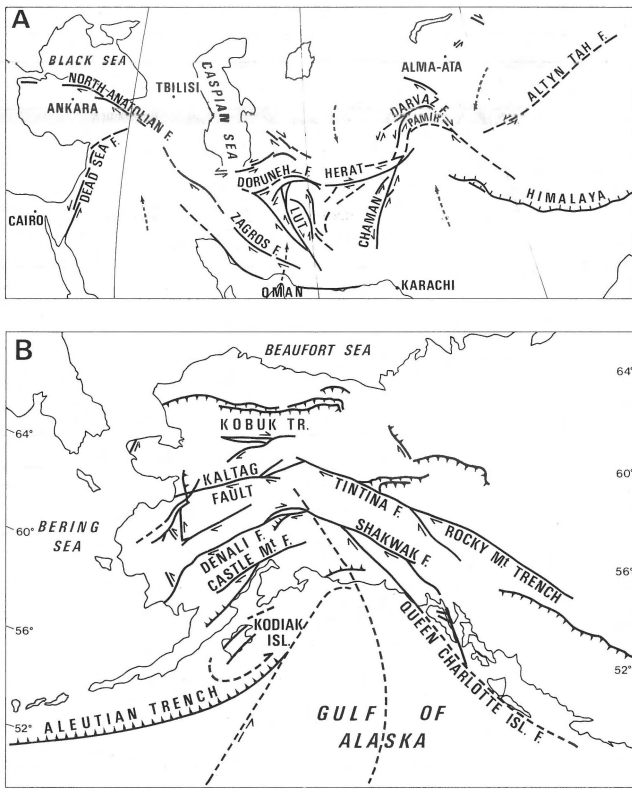


Fig. 10
Les indentations involutives.

A: De la Turquie orientale au Pamir et de là, jusqu'au Kham et en Birmanie, un système d'indentations se développe entre l'Asie et l'ensemble Arabie-Inde. Au N du Golfe persique, la voie de coulissement dextre mésogéenne (v. Fig. 7), se décompose en coulisses élémentaires (failles du Zagros, d'Herat, de Darvaz) et, agissant sur les créneaux successifs, crée des arcs et involutions. Lié au poinçon du Punjab, l'arc du Pamir est sensiblement symétrique. Un enroulement avec remous descendant (désert de Lut) est lié au poussoir d'Oman. Sources bibliographiques: Trifonov, 1978; Mohajer-Ashjai et al., 1975.

B: L'Alaska présente une involution bien développée, avec (1) une gerbe majeure, terminaison du faisceau Californie-Alaska (Fig. 2), s'incorporant des accidents coulissants dextres des Montagnes Rocheuses; (2) une gerbe mineure de décrochements sénestres, conjuguée à la précédente; (3) des amygdales et navettes jalonnant les fractures coulissantes; (4) des recouvrements tectoniques périphériques; (5) des structures contiguës déformées (Iles et fosse des Aléoutiennes); (6) une éventuelle cellule rotatoire dans le secteur des Iles Kodiak.

séismes), insistante, vigoureuse, de leur pénétration, permet d'assimiler leur technique à une 'tectonique de choc', et engage à la décrire en termes pugilistiques. Ce qui n'empêche pas les couvertures sédimentaires, et plus généralement les niveaux plastiques, de s'adapter, et à traduire la fracturation discontinue en torsions progressives et en plissements.

Les dispositifs arqués créent ou réutilisent des discontinuités anciennes, héritées, qui rejouent dans l'ambiance tectonique nouvelle et s'incorporent ainsi au dessin cohérent de la boucle orogénique. Avec les structures nouvellement

créées, elles réalisent ainsi un dispositif ordonné, ou assemblage congruent (CAIRE, 1975). L'arc tend à être symétrique (en plan) lorsque le poinçon, lui-même symétrique, se déplace parallèlement à son axe, et que la région enfoncée est isotrope. Ce cas, évidemment exceptionnel, est à peu près réalisé dans l'arc du Pamir (Fig. 10 A). L'arc est dissymétrique quand le poinçon se déplace obliquement à son axe, et se décompose en segments (Fig. 8 A), et agit sur un avant-pays éventuellement hétérogène. Il en résulte un dispositif 'enroulé en dedans', c'est à dire involutif. Dès lors, une des deux gerbes de fractures coulissantes domine sur l'autre, par le développement horizontal et par la valeur des coulissements. Cette gerbe majeure détermine déjà, à elle seule, une giration régionale; mais peuvent se développer en outre: (1) un dessin sigmoïde dans lequel interviennent la gerbe majeure et des structures adjacentes déformées (Fig. 8 A); (2) un ou plusieurs remous dans la zone de jonction entre l'extrémité de la gerbe majeure et les structures adjacentes déformées (E de la Fig. 8 A). Ces structures annexes complètent l'image du tournoiement.

Le remous (E de la Fig. 8 A) peut présenter un sens de rotation direct ou inverse, ou indifférent. C'est qu'il peut s'accorder d'abord avec le coulissement débutant entre gerbes opposées (Fig. 11 D), et, après une période d'incertitude, se renverser quand le poinçon pénètre profondément et que joue la règle du roulement (Fig. 11 E). Les autres parties de l'involution se présentent elles aussi à divers stades de maturation. Par exemple, les navettes situées le long des failles coulissantes (MR de la Fig. 8 A) peuvent se transformer en écaillés chevauchants lorsqu'elles prêtent le flanc à une forte poussée du poinçon.

Le poinçon et le(s) remous situé(s) sur son bord tendent à s'enfoncer et correspondent, au stade de maturité d'une involution, à des dépressions, comblées de sédiments ou non. Le fond de ces dépressions semble par ailleurs promis à une océanisation. Ces caractères peuvent permettre une classification des involutions selon leur stade de développement. Parmi les exemples que j'ai donnés (CAIRE, 1977-a), qui se trouvent à divers états d'évolution, et dont plusieurs sont présentés dans les figures ci-jointes, on comparera les Alpes occidentales (Fig. 8 B), les Carpathes (CAIRE, 1974, Fig. 14), l'arc tyrrhénien (Fig. 8 B), l'arc de Gibraltar, les régions de Lut (Fig. 10 A), de la mer de Banda (Fig. 9 B), de San Cristobal, des Fidji, l'arc des Antilles du Sud, celui des Antilles du Nord (Fig. 9 A), l'involution alaskienne (Fig. 10 B).

BIBLIOGRAPHIE

- Audley-Charles, M. G. 1975 The Sumba Fracture - Tectonophysics 26: 213-228.
Ben Ayed, N. 1975 Etude géologique des cuvettes de Siliana et du Sers - Thèse 3ème cycle Géol. Struct., Paris VI.
Bowin, C. 1976 Caribbean gravity field and plate tectonics - Geol. Soc. Amer. Spec. Pap. 169.
Brogan, G. E., L. S. Cluff, M. K. Korringa & D. B. Slemmons 1975 Active faults of Alaska - Tectonophysics 29: 73-85.

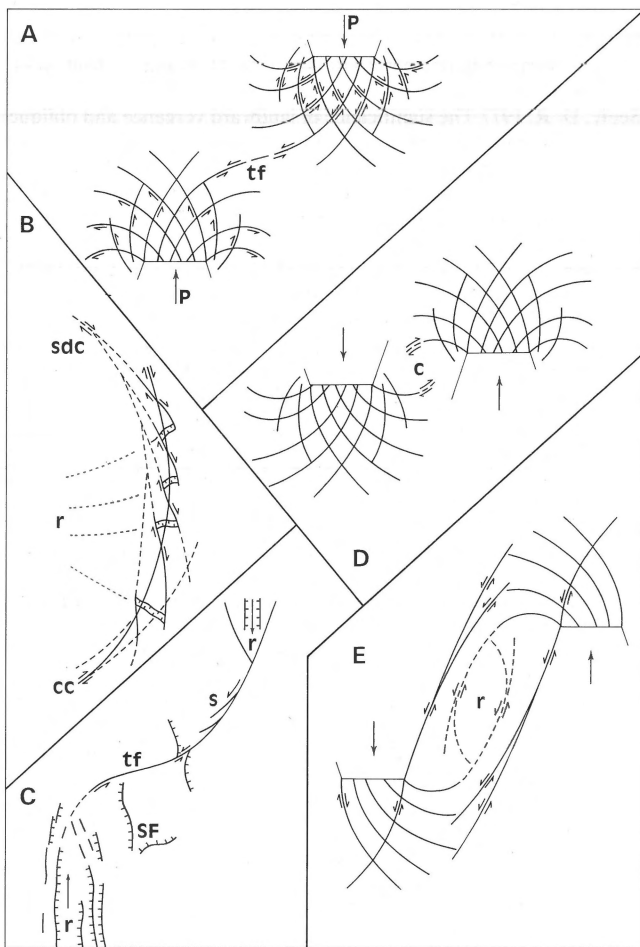


Fig. 11
Failles courbes et cellules rotatives.

A: Un poinçon P crée, dans un bloc plastique homogène, des lignes de coulissement disposées en gerbes conjuguées, dextre et sénestre (v. Gzovsky, 1959). Entre deux poinçons décalés, des failles de liaison (tie-faults: tf) sigmoïdes se développent. B: Assemblage cohérent, le long d'une voie de coulissement (cc), d'une gerbe (r) tronquée de fissures (affectées de déformations marginales et médianes), et de failles de liaison, associées en gerbe tronquée, et dont les prolongements fictifs aboutissent en sdc. C: Entre deux rifts R, une faille de liaison sigmoïde TF s'allonge, ornée de gerbes locales S et de failles sigmoïdes subordonnées SF. Comparer avec la figure A et avec la 'faille transformante' étudiée par Choukroune et al. (1978). D: Localisation d'une cellule rotative précoce (c) dans une zone sigmoïde entre poinçons décalés. La rotation interne est ici sénestre (dans le sens antihoraire). E: Zone de traînage entre deux poinçons, avec cellule rotative r. Dans le noyau rhomboïdal, la rotation interne est dextre (sens des aiguilles d'une montre).

Burollet, P. F. 1977 From Atlantic to Pacific. Main hypothesis of the Alpine system – 6th Ann. Conv. Indonesian Petrol. Assoc.: 19 pp.

Caire, A. 1973-a Les liaisons alpines précoces entre Afrique du Nord et Sicile, et la place de la Tunisie dans l'arc tyrrhénien. Livre Jub. M. Solignac – Ann. Mines Geol. Tunis 26: 87-110.

— 1973-b Sur quelques caractères et propriétés des gerbes de failles – Ann. Sc. Univ. Besançon, géol. 20: 55-71.

- 1973-c Italy in its Mediterranean setting. In: C. Squyres (ed.): Geology of Italy – Tripoli (1975): 11-74.
- 1974 Observations. In: Réunion ext. Soc. géol. France dans les Carpathes roumaines – Bull. Soc. géol. Fr. 17 (1975): 297.
- 1975 Les règles de la fracturation continentale et le rôle des géofractures dans l'évolution de l'écorce terrestre – Rev. Géogr. Phys. et Géol. Dyn. 17: 319-354.
- 1976-a The central Mediterranean mountain chains in the Alpine orogenic environment. In: The ocean basins and margins – Plenum Press (New-York London) 4B (1978) chapter 4A: 201-256.
- 1976-b Interprétation tectonique unitaire de l'Atlas tunisien à fossés – C. R. Ac. Sc. Paris 284 D: 349-352.
- 1976-77 Analyse du système d'avant-chaîne – A.S.A.C. 1: 1-2 et 2: 1-3.
- 1977-a L'involution orogénique – C.R. Ac. Sc. Paris 284 D: 1501-1503.
- 1977-b Interprétation unitaire des fossés des Limagnes, de la Bresse et du Rhin – C.R. Ac. Sc. Paris 285 D: 1279-1281.
- Case, J. E. 1974 Oceanic crust forms basement off Eastern Panama – Geol. Soc. Amer. Bull. 85: 645-652.
- C. F. P. (Compagnie Française des Pétroles) D.C.E.P. 22 1970 Carte structurale schématique des océans.
- Choukroune, P., J. Francheteau & X. le Pichon 1978 In situ structural observations along Transform Fault A in the FAMOUS area, Mid-Atlantic Ridge – Geol. Soc. Amer. Bull. 89: 1013-1029.
- Couch, R. W. 1969 Gravity and structures of the crust and subcrust west of Washington and British Columbia – Ph.D. diss. Oregon State Univ. (Corvallis).
- Dehlinger, P., R. W. Couch, D. A. Mc Manus & M. Gemperle 1968 Northeast Pacific Structure – The Sea 4 (1970): 133-189.
- Emilia, D. A., J. W. Berg Jr. & W. E. Bales 1968 Magnetic anomalies off the coast of the United States – Bull. Geol. Soc. Amer. 79: 1053-1062.
- Freeth, S. J. 1978 A model for tectonic activity in West Africa and the gulf of Guinea during the last 90 m.y. based on membrane tectonics – Geol. Rdsch. 67: 675-687.
- Froidevaux, Cl. M. 1978 Tertiary tectonic history of Salawati Area, Irian Jaya, Indonesia – Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull. 62: 1127-1150.
- Giese, P., C. Morelli & L. Steinmetz 1973 Main features of crustal structure in western and southern Europe based on data of explosion seismology – Tectonophysics 20: 367-379.
- Gzovsky, M. V. 1959 Method of modelling in tectonophysics – U.G.G.I. Trav. Sc. A 20: 383-406.
- Hamilton, W. 1977 Subduction in the Indonesian region – Maurice Ewing Series 1: Island arcs, deep sea trenches and back arc basins: 15-31.
- Hédervári, P. & Z. Papp 1977. Seismicity maps of the New Guinea – Salomon Islands – Tectonophysics 42: 261-281.
- Holcombe, C. J. 1977 Earthquake foci distribution in the Sunda Arc and the rotation of the Backarc Area – Tectonophysics 43: 169-180.
- Johnson, T. & P. Molnar 1972 Focal mechanism and plate tectonics of the southwest Pacific – J. geophys. Res. 77: 5000-5032.
- Karig, D. E. 1973 Plate convergence between the Philippines and the Rynkyn Islands – Marine Geol. 14: 153-168.
- Katili, J. A. 1975 Volcanism and plate tectonics in the Indonesian islands arcs – Tectonophysics 26: 165-188.
- 1978 Past and present geotectonic position of Sulawesi, Indonesia – Tectonophysics 45: 289-322.
- King, Ph. B. 1969 Tectonic map of North America 1/5 000 000 – U.S. Geol. Survey.
- Krebs, W. 1975 Formation of Southwest Pacific island arc-trench and mountain systems: plate or global-vertical tectonics? – Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull. 59: 1639-1666.

- Larson, R. L. 1972 Bathymetry, magnetic anomalies, and plate-tectonic history at the mouth of the gulf of California – *Geol. Soc. Amer. Bull.* 83: 3345-3360.
- Lawver, L. A. & J. W. Hawkins 1978 Diffuse anomalies in marginal basins: their possible tectonic and petrologic significance – *Tectonophysics* 45: 323-339.
- Le Pichon, X., J. Francheteau & J. Bonin 1973 Plate tectonics – Elsevier Publ. Comp. (Amsterdam).
- Mc Manus, D. A. 1964 Major bathymetric features near the coast of Oregon, Washington and Vancouver Island – *Northwest Sc.* 38: 65-82.
- Mason, R. G. & A. D. Raff 1961 Magnetic survey off the west coast of North America, 32°N latitude to 42°N latitude – *Bull. Geol. Soc. Amer.* 72: 1259-1266.
- Menard, H. W. 1967 Transitional types of crust under small ocean basins – *J. geophys. Res.* 72: 3061-3073.
- 1969 The deep-ocean floor. In: *Continents adrift – Readings from Scientific American*: 79-87.
- Minster, J. B., T. H. Jordan, P. Molnar & E. Haines 1974 Numerical modelling of instantaneous plate tectonics – *Geophys. J. R. Astr. Soc.* 36: 541-576.
- Mohajer-Ashjai, A., H. Behzadi & M. Berberian 1975 Reflections on the rigidity of the Lut Block and recent crustal deformation in Eastern Iran – *Tectonophysics* 25: 281-301.
- Nagy, R. M., M. A. Ghuma & J. J. W. Rogers 1976 A crustal suture and lineament in North Africa – *Tectonophysics* 31: T67-T72.
- Neev, D. 1975 Tectonic evolution of the Middle East and the Levantine basin (easternmost Mediterranean) – *Geology* 3: 683-686.
- 1977 The Pelusium line – a major transcontinental shear – *Tectonophysics* 38: T1-T8.
- Packer, D. R., G. E. Brogan & D. B. Stone 1975 New data on plate tectonics of Alaska – *Tectonophysics* 29: 87-102.
- Page, B. M. 1978 Franciscan Melanges compared with olistostromes of Taiwan and Italy – *Tectonophysics* 47: 223-246.
- Pitman, W. C. III & D. E. Hayes 1968 Sea-floor spreading in the gulf of Alaska – *J. geophys. Res.* 73: 6571-6580.
- Posavec, M., D. Taylor, Th. van Leeuwen & A. Spector 1973 Tectonic controls of volcanism and complex movements along the Sumatran fault system – *Geol. Soc. Malaysia Bull.* 6: 43-60.
- Raff, A. D. & R. G. Mason 1961 Magnetic survey off the west coast of North America 40°N latitude to 50°N latitude – *Bull. geol. Soc. Amer.* 72: 1267-1270.
- Seely, D. R. 1977 The significance of landward vergence and oblique structural trends on trench inner slopes – *Maurice Ewing Series 1: Island arcs, deep sea trenches and back-arc basins*: 187-198.
- Silver, E. A., J. E. Case & H. J. Mac Gillavry 1975 Geophysical study of the Venezuelan borderland – *Geol. Soc. Amer. Bull.* 86: 213-226.
- Schubert, C. & H. G. Henneberg 1975 Geological and geodetic investigations of the movement along the Bocono fault, Venezuelan Andes – *Tectonophysics* 29: 199-207.
- Tobin, D. G. & L. R. Sykes 1968 Seismicity and tectonics of the northeastern Pacific Ocean – *J. Geophys. Res.* 73: 3821-3846.
- Trifonov, W. G. 1978 Late Quaternary tectonic movements of western and central Asia – *Geol. Soc. Amer. Bull.* 89: 1059-1072.
- Van Bemmelen, R. W. 1969-a Origin of the Western Mediterranean Sea – *Verh. Kon.Ned. Geol. Mijnb. Gen.* 26: 13-52.
- 1969-b The Alpine loop of the Tethys zone – *Tectonophysics* 9: 107-113.
- 1970 Tektonische Probleme der östlichen Südalpen – *Geol. Ljubljana* 13: 133-158.
- 1972 Geodynamic models. An evaluation and a synthesis – *Developments in Geotectonics 2*, Elsevier Publ. Comp.
- 1973 Geodynamic models for the Alpine type of orogeny (Test-Case II: The Alps in Central Europe) – *Tectonophysics* 18: 33-79.
- 1974 Driving forces of orogeny, with emphasis on blue-schist facies of metamorphism (Test-Case III: The Japan Arc) – *Tectonophysics* 22: 83-125.
- 1975 Some basic problems in geonomy. In: *Progress in geodynamics – North-Holland Publ. Co.* (Amsterdam).
- 1978 The present formulation of the Undation Theory – *Z. geol. Wiss.* 6: 523-540.
- Wilson, J. T. 1968 Continental drift, transcurrent and transform faulting – *The Sea* 4 (1970): 623-644.

Malheureusement Monsieur le Professeur Caire n'a pas pu voir cet travail publié. Son décès, le 17 juin dernier, est regretté par ces collègues et par les éditeurs de 'Geologie en Mijnbouw'.