

DR. GERHARD SEIDEL. — *Entwurf einer genetischen und morphologischen Systematik der grosstektonischen Störungen des Ruhrkarbons* (Essai d'une systématique génétique et morphologique des grands dérangements tectoniques du Carbonifère de la Ruhr). Festschrift zum 80. Geburtstag von Prof. Dr. P. KUKUK, Mitteilungen der Westfälischen Berggewerkschaftskasse, Heft 12, April 1957, S. 111-145, 25 Abb.

La Tectonique : « un champ où il a été beaucoup caracolé autour de la vérité ».

F. KAISIN, 1942.

RÉSUMÉ.

On suppose que le plissement du Carbonifère de la Ruhr est dû à une force plus ou moins horizontale, ayant agi perpendiculairement aux axes des plis, que le plissement s'est produit moyennant glissement parallèle (glissement sur joints) des couches, que cette force de plissement se décompose en trois composantes : tangentielle, normale et verticale, et que ces

composantes agissent dans les directions suivantes : la composante tangentielle parallèlement à la stratification et perpendiculairement aux axes des plis, la composante normale perpendiculairement à la stratification et la composante verticale, comme résultante des deux composantes ci-dessus agissant sur les flancs des plis, plus ou moins perpendiculaire au plan horizontal et perpendiculaire aux axes des plis.

Ces composantes déterminent des sollicitations partielles, auxquelles correspondent des plans de cisaillement théoriques avec lesquels on peut identifier les grandes dislocations tectoniques de la Ruhr ou des sections de ces dislocations.

Se référant à la composante intéressée et à la position spatiale de la ligne d'intersection B des surfaces de cisaillement conjuguées, on peut les dénommer comme suit : celles correspondant à la composante tangentielle, quand B est parallèle à l'axe des plis : surfaces TBa, et quand B est perpendiculaire à la stratification : surfaces TBl; celles correspondant à la composante normale, quand B est parallèle aux axes des plis : surfaces NBa, et quand B est parallèle à la ligne de plus grande pente des couches : surfaces NBf; celles correspondant à la composante verticale comme surfaces VBl, quand B est perpendiculaire aux axes des plis et parallèle au plan horizontal. Par les mouvements se produisant sur les grandes dislocations transversales naissent, suite à des sollicitations secondaires, des plans de cisaillement avec B plus ou moins perpendiculaire au plan horizontal, qui sont désignés comme surfaces SBl.

Aux surfaces TBa et NBa correspondent les failles inverses, ou certaines de leurs sections; aux surfaces TBl, NBf et VBl, les failles transversales ou des sections partielles de ces failles; aux surfaces SBl, les failles verticales de décrochement.

D'après l'hypothèse de déformation employée, dénommée hypothèse d'addition à cause de son mode de mise en œuvre, toutes les grandes dislocations tectoniques du Carbonifère de la Ruhr ont pris naissance pendant le plissement, comme une des conséquences du rétrécissement latéral; elles ont acquis leurs formes actuelles, également pendant le plissement, par réunion de surfaces isolées, correspondant souvent à des sollicitations différentes, nées pendant une période de plissement initiale, cette réunion s'étant produite au cours de la continuation du plissement.

Le plissement des failles inverses (Mitfaltung) est un phénomène singulier qui, localement, intéresse des surfaces de cisail-

lement isolées à répartition tautozonale. Ce phénomène ne se produit que là où une faille inverse, dont le sens du pendage correspond au déversement général, se termine dans une crête anticlinale, en relation avec la formation d'une voûte double et seulement si l'intensité du plissement y est suffisante.

En ce qui concerne les relations d'âge des sections partielles des grandes dislocations tectoniques, on peut conclure que, d'une manière générale, c'est la fragmentation suivant la composante tangentielle qui prit naissance en premier lieu, puis celles suivant les composantes normale et verticale; parmi ces deux dernières, avec l'augmentation du pendage des couches, les effets de la composante normale s'estompent. En relation avec la réunion des surfaces TBI, Nbf et VBI pour former les grandes dislocations transversales, se développèrent les failles verticales de décrochement. Il est impossible de parvenir à une répartition exacte, dans l'espace et dans le temps, de la fragmentation suivant les différents plans, puisque le phénomène ne se passa nullement ainsi; la répartition initiale et l'intégration ultérieure des dislocations a suivi une marche oscillante, tant dans l'espace que dans le temps, déterminée par les conditions locales de composition matérielle et de disposition géométrique des paquets de couches intéressés.

D'une manière tout à fait générale, au début du plissement du Carbonifère de la Ruhr c'est la formation des failles inverses qui se trouvait à l'avant-plan, ensuite celle des failles transversales et, vers la fin du plissement, celle des failles transversales de décrochement.

*
* *

L'auteur définit son travail comme un essai de systématisation de toutes les dislocations du Carbonifère de la Ruhr, tant dans leur état initial que dans leurs transformations ultérieures et, au point de vue génétique, comme la recherche d'un plan de sollicitations unique, ne dépendant lui-même que de l'effort de plissement. Ce plan de sollicitations sera simple et l'auteur se propose ainsi de réduire à un dénominateur commun la tectonique de dislocation du Carbonifère de la Ruhr, dans ses rapports avec le plissement, sans tomber en contradiction avec les faits d'observation, afin d'atteindre un « principe d'ordre » non grevé de données hypothétiques.

1. Hypothèse qualitative de déformation (1).

La dynamique de la déformation d'un domaine matériel se laisse rapporter à un ellipsoïde des tensions dans lequel, en cas de sollicitation par compression, le petit axe (A) correspond à l'effort de compression maximum, le grand axe (C) à l'effort de compression minimum et l'axe moyen (B) à l'effort de compression moyen.

Les mouvements, la cinématique du matériel sous tension, peuvent aussi être rapportés à un ellipsoïde triaxial, l'ellipsoïde des déformations ou, mieux, des mouvements. Au début d'une déformation les axes des deux ellipsoïdes sont parallèles. Au cours de la déformation, tandis que la position des axes de l'ellipsoïde des tensions ne change pas, les axes de l'ellipsoïde des déformations subissent une rotation en relation avec la déformation intervenue. Celle-ci dépendra elle-même des surfaces de cisaillement déjà formées ou des anisotropies existantes, si le domaine sous déformation est soumis à un moment de rotation extérieur. La plupart du temps ce sont les axes A et C qui tournent autour de B. C'est la surface de cisaillement sur laquelle le mouvement relatif des écaïlles en déplacement correspondra au mouvement relatif de la rotation extérieure qui se développera le mieux ou même qui sera seule à se développer.

Pour la genèse de surfaces tectoniques la dynamique est, d'après l'auteur, le fait essentiel, la cinématique des surfaces formées pouvant être laissée sur un second plan. C'est pourquoi, le but de ses recherches étant génétique, il n'emploie que l'ellipsoïde des tensions, en d'autres termes la position de déformation nulle, comme système de référence pour les dislocations

(1) Nous traduisons ainsi le mot allemand « *Verformung* », suivant en cela la « Geological Nomenclature » récemment parue (1959), éditée par la Koninklijk Nederlands Geologisch-Mijnbouwkundig Genootschap, sous la direction de A. A. G. SCHIEFERDECKER. Il nous semble toutefois que cette traduction fait penser seulement au changement de forme proprement dit, au plissement, tandis que l'auteur allemand emploie « *Verformung* » pour couvrir l'ensemble des changements : plissements et dislocations. C'est pourquoi nous croyons qu'il eût été préférable d'employer le terme « *réformation* » qui a le sens très général qui convient : action de changer la forme, ce qui correspond mieux aussi avec l'explication en anglais ajoutée par la « Geological Nomenclature », « a change in shape ». Nous n'avons pas osé le faire par crainte des puristes : nous contentant de souligner dans cette note le large contenu du mot originel : « *Verformung* ».

tectoniques à examiner et renonce à établir des ellipsoïdes des mouvements correspondant à un stade déterminé de la déformation. Vu leur multiplicité, ces ellipsoïdes se prêtent moins bien au but de systématisation recherché.

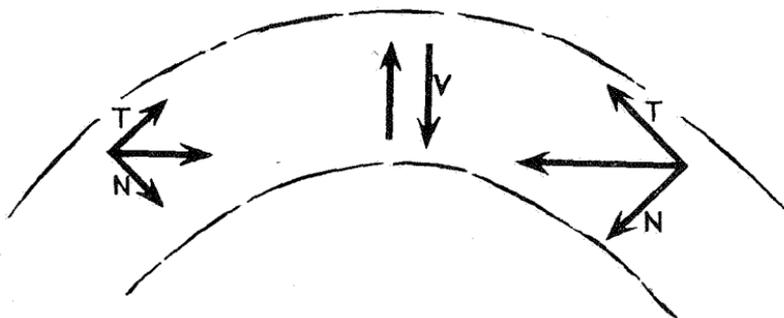
L'angle que font les plans sous effort de cisaillement maximum avec A, donc avec l'axe de compression maximum, dépend de la nature du matériau; sa valeur limite est 45° mais, dans les roches, il est le plus souvent de loin plus faible. De plus, dans la mosaïque des cassures sans rejet, à côté de celles situées au dedans de l'angle théorique on trouve des autres qui, tout en étant aussi symétriques par rapport à l'axe A, dépassent considérablement l'angle théorique. L'auteur ne met pas ce phénomène en relation avec l'existence de plans intergranulaires de moindre résistance, formés dans un stade élastique initial et que la diagenèse, en abaissant la limite de plasticité, transforme en plans de séparation microscopiques mais plutôt en relation avec des pulsations périodiques ou non périodiques que subit la sollicitation déjà existante latemment dans le stade élastique avant le déclenchement du plissement, pulsations pouvant, temporairement, produire une interversion des axes A et C.

2. Systématique du processus déformatif.

Une hypothèse de travail est employée pour l'analyse et la systématique des grandes dislocations du Carbonifère de la Ruhr. Elle fait les suppositions suivantes : les couches ont été soumises à un effort de plissement horizontal dirigé perpendiculairement aux axes des plis et à une réaction laquelle, vu la poussée (Schub) venant du Sud, est à considérer comme plus faible. Dans les paquets de couches qui se plissent moyennant glissements parallèles entre les couches, force de plissement et réaction se divisent en composantes : *une composante tangentielle* se disposant parallèlement aux surfaces de stratification et perpendiculairement à l'axe des plis, à l'intérieur des couches ou paquets de couches se déplaçant isolément; *une composante normale*, qui agit perpendiculairement aux surfaces de stratification; *une composante verticale*, résultante des deux composantes agissant sur les flancs des plis, dans les zones axiales des synclinaux et anticlinaux où il n'y a pratiquement pas de glissement parallèle entre couches; la valeur de cette dernière composante dépend de l'inclinaison des flancs des plis.

Dans un but de simplification l'auteur considère que les plis

sont horizontaux, ce qui est admissible pour le Carbonifère de la Ruhr, où l'angle d'inclinaison (d'ennoyage) des axes des plis est presque toujours inférieur à 15° .



G. Seidel 1956

Abb. 1: Zerlegung der Faltungskraft in Tangential-, Normal- und Vertikalkomponente.

FIG. 1.

L'hypothèse de travail employée est appelée « Additions-hypothèse », ce qui se comprendra par son mode d'emploi et le point de départ pour l'analyse et la systématique du réseau de dislocations sera un modèle simple de forme de pli : anticlinal-synclinal-anticlinal, à axes horizontaux. Sur ce modèle simple l'auteur envisagera, pour commencer, d'un point de vue théorique, les dislocations auxquelles on peut s'attendre dans l'hypothèse envisagée, dislocations qu'il comparera ensuite avec les réseaux observables dans la réalité.

a) Déformations tangentielle (Tangential Verformungen). — Deux positions privilégiées peuvent être envisagées pour l'axe B : parallèlement aux axes des plis et perpendiculairement à la stratification, en ce qui concerne les sollicitations produites par la composante tangentielle.

Le cas B parallèle aux axes des plis ⁽¹⁾ : en cas de dépassement de la résistance au cisaillement naissent des surfaces de cisaillement parallèles à B et donc aux axes des plis. L'angle de ces surfaces avec A sera inférieur à 45° et, vu les conditions de contrainte élevées, tout au plus de la moitié sinon encore moins. Ces surfaces auront le même sens du pendage que les

(1) Voir fig. 2a, disposée en fin du texte.

couches qu'elles découpent. Les mouvements relatifs suivant ces surfaces de cisaillement seront tels que les écaillés au toit de celles plus inclinées que la stratification se déplaceront relativement vers le haut, les écaillés au toit de surfaces de cisaillement moins inclinées relativement vers le bas. A cause des glissements parallèles entre couches, par lesquels sur les flancs des anticlinaux les couches au toit se meuvent vers les parties les plus élevées des anticlinaux, la déformation prend l'allure d'une rotation extérieure par rapport au noyau anticlinal. Par cela, le mouvement sur les surfaces plus inclinées est renforcé, sur celles plus plates freiné et les premières seront de loin les plus répandues.

Cette déformation, pour des plis n'ayant pas subi de poussée directionnelle (*Vergenz*) ⁽¹⁾ appréciable, intéressera les deux flancs de l'anticlinal, ce qui conduit à un transport vers les

⁽¹⁾ La traduction exacte en français du terme allemand « *Vergenz* », sans lui faire perdre tout le contenu qui lui est accordé dans la langue d'origine, n'est pas facile. P. FALLOT, dans un article intitulé « La Tour de Babel » (*Scientia*, 51^e année, 1957, 5 p., Côme, Italie), relève, avec raison, la crise actuelle du langage scientifique. Si le retour aux sources est indispensable pour employer un terme correctement, il faut aussi tenir compte de l'évolution du langage, qui n'est pas moins rapide que celle des sciences et des techniques, et il nous semble que le savant Professeur du Collège de France choisit en « *Vergenz* », qu'il désire traduire par le français « regard », un exemple fort peu convaincant.

A. BONTE (« Introduction à la lecture des cartes géologiques », 1945, Masson & Cie, éditeurs, Paris) emploie « regard » pour l'orientation du relief produit par une faille et l'applique même à une faille normale recoupant des couches horizontales (fig. 7, p. 23).

Pour J. GOGUEL (« Traité de tectonique », Masson, éditeurs, 1952), « regard » définit le sens du mouvement relatif d'une faille (p. 60), ce qui est bien aussi l'acception de STILLE, mais qui ne l'applique que si le mouvement dont question se traduit par « des imbrications, des plis déversés ou des failles » (FALLOT, p. 3 de l'extrait), ce qui est fort loin de l'emploi de ce terme par A. BONTE.

Dans la très récente « Geological Nomenclature » (Koninklijk Nederlands Geologisch Mijnbouwkundig Genootschap, 1959) « *Vergenz* » est traduit par « overturn » et « déversement en sens inverse », ce qui n'est ni clair, ni suffisant, ni conforme, et « Grösse der *Vergenz* » par « degree of overturn » et « valeur angulaire du déversement ».

En réalité, dans son emploi courant par les auteurs allemands, « *Vergenz* » désigne la *poussée directionnelle et ses conséquences*, ce qui justifie des expressions comme « *Drehmoment der Nordvergenz* », moment de rotation produit, lorsqu'un mouvement est en cours, par la poussée directionnelle principale et par la réaction correspondante dirigée en sens inverse et d'intensité moindre et « *Südvergenzzone* » (H. COLIN, « Geologische Rundschau », Band 44, Stuttgart,

parties les plus élevées des anticlinaux, suivant des surfaces de cisaillement toujours plus inclinées que les couches. Mais s'il y a une poussée directionnelle appréciable, produisant un déplacement (Schub von Süden), les glissements parallèles aux couches seront entravés sur le flanc d'anticlinal dont le pendage est contraire, au sens de la poussée dirigée. La rotation extérieure provoquée par la poussée directionnelle « Vergenz » peut, sur ce flanc de pli, dépasser le glissement parallèle aux couches. De ce fait, les surfaces de cisaillement de faible pendage pourront être activées, tandis que le mouvement sur les surfaces de cisaillement à fort pendage du flanc conforme au sens de la poussée sera encore renforcé.

Les surfaces de cisaillement provoquées par la composante tangentielle, dans la supposition B parallèle aux axes de plis, sont désignées par l'auteur, d'une manière concrète, par l'indice TBa, qui rappelle immédiatement qu'il s'agit de surfaces de disjonction dues à une composante tangentielle et pour lesquelles B est parallèle aux axes des plis a.

Des surfaces de chevauchement (Ueberschiebung — Overschuiuing — Overthrust) pendant sud et nord, qui sur les flancs des plis font des angles de 15°-20° avec les couches et sont de même direction que ces couches, sont fréquentes dans le Carbonifère de la Ruhr (Sutan, Gelsenkirchener Wechsel, Satanella, Hannibal, Scharnhorster Wechsel, etc.) (Wechsel — Aufschiebung — Opschuiuing — Reverse fault — Faille inverse).

Le processus de déformation par les surfaces TBa conduit au problème des failles plissées (mitgefaltet). On comprend normalement par ce vocable des ondulations en forme de plis des surfaces de dislocation mais, dans son acception courante, n'entre pas l'idée *d'une rotation passive d'éléments dislocatifs isolés, qui ont pris naissance pendant le plissement, au cours de l'évolution ultérieure de celui-ci.* D'après l'hypothèse de l'auteur,

1955), soit zone à déversement des plis au Sud, concept dans lequel n'entre pas nécessairement l'idée de fracturation présentant un « regard » au sens de STILLE.

En somme « Vergenz » a un contenu cinématique et dynamique; « regard », par lequel P. FALLOT veut le traduire, n'a qu'un contenu géométrique, strictement statique. Il nous semble dès lors qu'il faut conclure que, dans les cas difficiles, l'emploi d'une périphrase ou même d'un néologisme avec référence à son contenu dans la langue d'origine, sont des solutions de loin préférables.

les « failles plissées » sont des surfaces TBa à distribution tautozonale lesquelles, appartenant au processus de resserrement, naissent pendant le plissement puis prennent part passivement aux changements d'attitude ultérieurs des couches qu'elles recoupent. C'est dans ce sens qu'on peut employer l'expression « plissés en commun » (mitgefaltet).

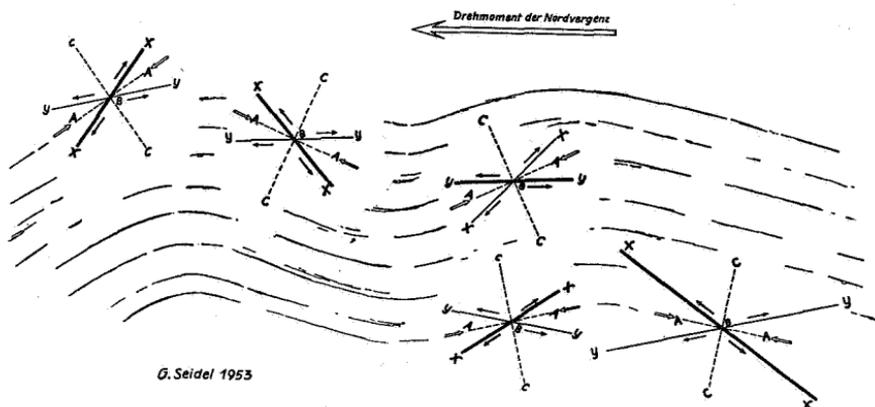


Abb. 3: Schema zur Mechanik der Entstehung „mitgefalteter“ Wechsel. Einzelheiten im Text.

FIG. 3.

Sur la figure 3 les plans de dislocation ont été représentés au milieu des flancs des plis, puisque, d'après des calculs de S. KIENOW, c'est en ces endroits qu'on peut s'attendre à la contrainte élastique la plus élevée, ce qui ne signifie d'ailleurs nullement que ces plans se limiteront strictement à ces endroits. Par dépassement de la résistance au cisaillement naîtront deux surfaces de cisaillement faisant entre elles un angle faible. A cause du glissement parallèle entre couches, c'est surtout la surface de cisaillement X, donc celle relativement plus inclinée, qui deviendra active. Elle déclenche un processus de chevauchement sur les flancs des anticlinaux. La poussée vers le Nord (Vergenz) ajoute un moment de rotation à celui provoqué par le glissement des couches sur le flanc des anticlinaux. Ce moment de rotation supplémentaire agit, sur les flancs sud des anticlinaux, dans le même sens que le moment de rotation du glissement parallèle des couches. Sur les flancs nord, il agit en sens contraire. Le résultat est un renforcement du mouvement

de chevauchement sur les flancs sud, son atténuation sur les flancs nord.

Le moment de rotation dû à la poussée directionnelle (Drehmoment der Nordvergenz) peut, dans des conditions spéciales, devenir plus grand que celui dû aux glissements des couches, sur les flancs septentrionaux des anticlinaux. Ce sera le cas si, dans la formation d'un anticlinal double, une faille inverse naît sur le flanc sud déjà suffisamment incliné de l'anticlinal septentrional, tandis que l'anticlinal méridional, respectivement le synclinal intermédiaire, sont encore assez peu inclinés que pour pouvoir être chevauchés par les couches en mouvement sous glissements parallèles le long des failles. Dans ce cas, le moment de rotation supplémentaire l'emportera aussi sur le flanc nord de l'anticlinal méridional. En cet endroit, ce sont les surfaces de cisaillement Y qui seront activées, provoquant une translation des couches à leur toit. Par cette translation, les contraintes du moment de rotation additionnel se concentrent sur les surfaces de cisaillement Y, sous mouvement. De ce fait, les couches inférieures du flanc nord de l'anticlinal sont déchargées; il y règne les conditions initiales dues à la poussée directionnelle, avec activité le long des plans de cisaillement X. Le processus de déplacement (Abschiebungsvorgang) peut maintenant se propager jusque dans la zone axiale du synclinal voisin parce que sur les flancs d'anticlinal à pendage sud adjacents règnent à nouveau des conditions qui appellent un chevauchement (Ueberschiebung) à pendage sud des couches. C'est de ce processus que résulte un mouvement chevauchant ondulé, suivant des surfaces de cisaillement lesquelles présentent, apparemment, l'aspect « plissé en commun », d'autant plus que les changements de mouvement relatif des surfaces de cisaillement, dans leur rapport aux plans de déformation, se placent justement dans les zones axiales des synclinaux et anticlinaux. Toutefois, *génétiquement, ces failles plissées sont formées de surfaces de cisaillement isolées, de sens du pendage différent* (Einzelscherflächen verschiedener Einfallsrichtungen).

Le transport de longueurs de couches de l'anticlinal méridional dans le synclinal intermédiaire par le glissement parallèle entre couches peut se poursuivre aussi longtemps que l'angle suivant lequel la fracture à pente nord et mouvement de sens direct (abschiebender Wechsel) rencontre la fracture à pente sud du synclinal intermédiaire ne dépasse pas l'angle de frottement admissible qui est de l'ordre de 60°. Quand dans le

développement du plissement ce dépassement se produit, le transport de longueurs de couches du domaine de l'anticlinal méridional dans le synclinal intermédiaire est arrêté. L'intervention de la poussée directionnelle vers le Nord exige en outre que le mouvement avec chacune des surfaces de dislocation située plus au Nord se déplace dans des couches de plus en plus jeunes; cela est analogue à ce qui se produit sur les flancs des anticlinaux où les glissements parallèles entre couches augmentent vers le haut, au-delà de la couche neutre.

Le plissement apparent de fractures à pente sud se limite normalement au passage sur un anticlinal et seulement au synclinal adjacent côté nord. Dans l'anticlinal qui suit au Nord de ce synclinal, il y a relais par une fracture à pente nord se développant dans son noyau ou dans la région voisine de ce noyau de telle sorte qu'on doit plutôt parler d'un enroulement (Einwirbelung) des extrémités des fractures dans les sommets des anticlinaux que d'un plissement (Mitfaltung). Ainsi compris le phénomène devient local, se produisant dans la région de crête des anticlinaux qui ont subi un plissement assez puissant. D'ailleurs, les cas réellement observés sont plutôt peu nombreux et n'intéressent jamais l'étage de plissement supérieur, se limitant à l'étage moyen du domaine plissé de la Ruhr.

La figure 4 schématise ce processus d'enroulement (Einwirbelung) d'une dislocation à pente sud dans des plis doubles :

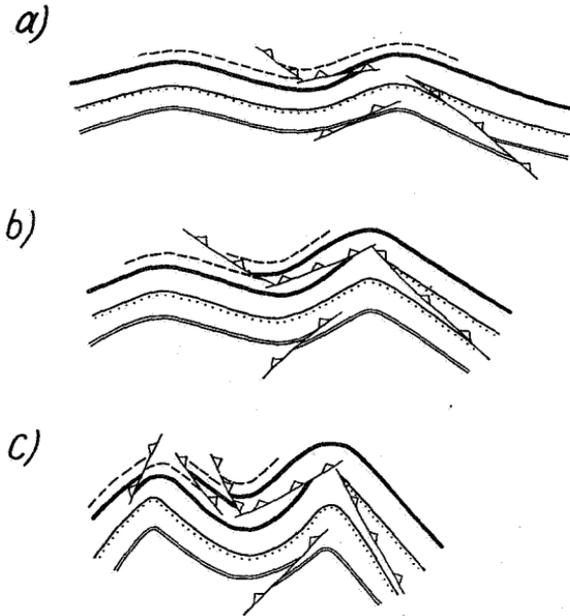
a) Stade initial après le début du plissement;

b) Au cours du développement du plissement addition sélective de surfaces de cisaillement isolées de pendage alternant et transport de longueurs de couches dans le synclinal intermédiaire;

c) Stade final donnant l'impression d'une surface de cisaillement unique plissée (Mitfaltung) avec redoublement des couches dans le synclinal intermédiaire.

Les surfaces de dislocation qui se produisent au début du plissement commencent donc par tourner avec l'augmentation du pendage des couches pour parvenir, à cause du glissement parallèle entre couches et de l'accentuation du synclinal intermédiaire, à se réunir en une dislocation unique.

Si l'idée que les « failles plissées » sont constituées par des dérangements isolés de pendage différent est juste, on doit trouver dans la nature des cas où les dérangements consti-



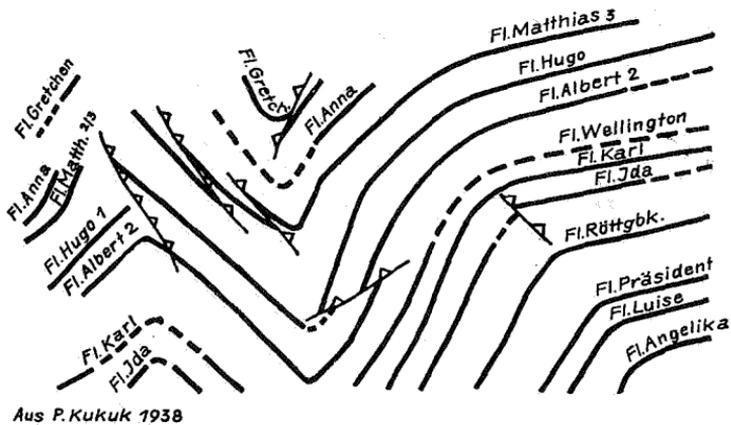
G. Seidel 1955

Abb. 4: Einwirbelung („Mitfaltung“) eines südfallenden Wechsels an Doppelfalten im Schema. a) Frühstadium nach Beginn der Faltung. b) Im Fortgang der Faltung selektive Addition von Einzelscherflächen wechselnden Einfallens und Transport von Schichtlängen in die Zwischenmulde. c) Endstadium mit scheinbarer Mitfaltung und mit Schichtverdopplung in der Zwischenmulde. Einzelheiten vgl. Text.

FIG. 4.

tuants sont restés séparés, ce qui est bien le cas. L'auteur décrit et figure plusieurs coupes où, dans un synclinal intermédiaire, le flanc sud (flanc nord d'anticlinal) est découpé par des failles à mouvement descendant ou de sens normal (abschiebender

Wechsel) tandis que sur son flanc nord (flanc sud de l'anticlinal suivant dans le sens de la poussée) on observe des fractures de chevauchement (aufschiebender Wechsel) qui l'écaillent. Les deux genres de fractures sont parfaitement séparées (exemple fig. 5). On est en présence d'une « faille plissée » (Einwirbelung — Mitfaltung) *in statu nascendi*.



Aus P. Kukuk 1938

Abb. 5: Der Gelsenkirchener Sattel in der Schachtanlage Pluto.

FIG. 5.

Dans les exemples qui ont pu donner lieu à observation continue, on ne constate nullement un changement progressif de pente des failles dans les noyaux synclinaux et anticlinaux, comme ce devrait être le cas s'il s'agissait d'un accident unique ultérieurement plissé, encore moins l'incurvation continue pour passer d'un pendage à l'autre. Il n'y a jamais que relais de failles à pendage alternant et souvent, dans la zone de séparation entre ces failles, la structure est écaillée.

Les faits d'observation montrent qu'il existe, sur les flancs nord et sud des anticlinaux, de grands chevauchements longitudinaux qui font des angles de 15°-20° avec les couches, en dehors des zones de raccordement d'un pli à l'autre et pour autant qu'il n'y ait pas eu plissement ultérieur. S'il y a poussée directionnelle on observe également des failles longitudinales normales, moyennant lesquelles les structures ont subi des déplacements ondulants au-dessus des noyaux anticlinaux.

Dans le domaine à déplacement normal on peut observer plusieurs chemins de déplacement, contre un seul dans le domaine en chevauchement, ce qui est conforme avec la représentation théorique.

Sur les flancs nord, au mur des failles normales, on observe aussi des chevauchements dont la signification et l'explication sont claires. Ces chevauchements apparaissent là parce que la poussée directionnelle vers le Nord, qui a déclenché le mouvement normal, n'y pouvait plus agir.

De par l'identité de leurs positions et mouvements, toutes les failles ci-dessus décrites peuvent être identifiées avec les surfaces théoriques TBa.

Le cas B perpendiculaire à la stratification : En cas de dépassement de la résistance au cisaillement naîtront des surfaces de cisaillement lesquelles, puisque B est leur ligne d'intersection, seront disposées perpendiculairement sur la stratification (fig. 2 b). Les mouvements relatifs, auxquels on doit s'attendre, déclenchés au moment de la rupture, seront perpendiculaires à B, donc dans un plan parallèle au pendage des couches. Les sens de ces mouvements relatifs seront de ce fait une fonction de l'angle de pendage des surfaces de cisaillement. Sur des flancs de pli opposés, ces surfaces ont même direction mais des pendages opposés. L'angle qu'elles font avec l'axe de compression est, tout comme pour les surfaces TBa, plus petit que 45° . Ce sont les rotations extérieures qui, théoriquement, pourraient déterminer des mouvements plus importants sur l'une ou l'autre de ces surfaces. Il serait difficile de trouver des raisons pour de telles rotations, tout en se gardant dans la ligne de la renonciation à des hypothèses supplémentaires incontrôlables. Il est préférable de persévérer, en premier lieu, dans la supposition d'une activation de toutes les deux dans la même mesure. Dans ce dernier cas cette activation n'est pas simultanée, ce qui serait mécaniquement impossible, mais alternativement, en pulsations irrégulières. Les surfaces qui correspondent à cette sollicitation sont désignées par le sigle TBl qui rappelle qu'il s'agit de la composante tangentielle avec B disposé perpendiculairement (lotrecht) à la stratification.

Le champ de dislocations du Carbonifère de la Ruhr montre de nombreux exemples de surfaces de cisaillement de ce genre et l'auteur présente un certain nombre d'observations sur le terrain de cassures dont les caractères sont ceux des surfaces de cisaillement théoriques TBl : angle aigu avec l'axe des plis,

angle droit avec la stratification, angle faible, environ 40° , entre les deux séries de plans conjugués, bourrelets (Gleitwülste) et stries de glissement (Harnischstreifen) disposés parallèlement à la ligne de plus grande pente des couches ou faisant avec elle un angle faible. Les mouvements relatifs se faisant suivant un plan parallèle à la stratification il n'y a pas d'effet stratigraphique appréciable. Les deux directions de cisaillement se rencontrent également représentées.

b) Déformations normales (Normalverformungen). — Pour l'axe B il faut également considérer deux positions préférentielles en ce qui concerne les sollicitations dues à la composante normale, donc axe de compression perpendiculaire à la stratification : 1^o) B parallèle aux axes des plis et 2^o) B perpendiculaire aux axes des plis et parallèle aux surfaces de stratification, donc, dans la supposition axes des plis horizontaux, suivant la ligne de plus grande pente.

Le cas B parallèle aux axes des plis : Comme dans le cas TBa, les surfaces de cisaillement possibles se dirigeront parallèlement aux axes des plis mais sous d'autres angles de pendage. Ces surfaces feront avec A des angles $< 45^\circ$, donc avec les couches des angles $> 45^\circ$. De ce fait, le sens du pendage d'une des deux surfaces sera toujours contraire à celui des surfaces recoupées. Les mouvements relatifs sur les surfaces de cisaillement conduiront vers le centre du pli sur le côté tourné vers A, vers l'extérieur du pli sur le côté opposé. Les surfaces de cisaillement prenant ainsi naissance seront désignées NBa. Le moment de rotation du glissement entre couches, qui sur flancs des plis est dirigé vers le sommet des plis, agit sur les surfaces NBa de manière à renforcer le mouvement sur celles de même sens de pendage que les couches. Celles de sens du pendage contraire ne seront activées — suivant un processus analogue à celui exposé pour les surfaces TBa à mouvement direct (abschiebend) — que là où le moment de rotation de la poussée vers Nord sera plus grand que celui du glissement parallèle entre couches, donc sur les flancs septentrionaux des synclinaux et partout où le moment de rotation du glissement parallèle est pratiquement nul, donc dans les noyaux des anticlinaux. Les surfaces NBa produisent des suppressions de couches. Celles qui inclinent dans le même sens que les couches donnent en outre lieu à des dispositions remarquables. Au point de vue

mouvement, ce sont des chevauchements (Ueberschiebungen) mais au point de vue stratigraphique ils superposent toutefois du plus jeune sur du plus âgé.

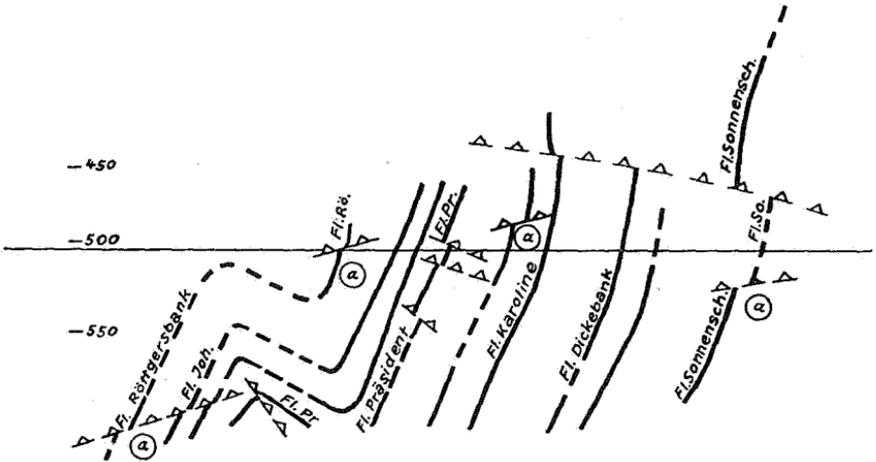


Abb. 15: Mit (a) gekennzeichnet flach einfallende NBA-Flächen, die mit den Schichten in gleicher Richtung einfallen, Jüngerer auf Älteres überschieben und einen Schichtausfall hervorrufen. Nordflügel des Stockumer Sattels in der Schachtanlage Tremonia. Vereinfacht nach P. KUKUK 1938.

FIG. 6.

Si l'on cherche, dans le Carbonifère rhénan, des surfaces de dislocation pouvant correspondre aux surfaces NBA, on trouve que pareilles surfaces existent mais tout au plus parmi les dislocations d'importance tectonique moyenne. Entre autres, l'auteur classe ici les dislocations appelées dans la Ruhr « Schaufelflächen » (Schaufel = pelle, chevauchements de faible pendage incurvés d'une manière concave vers la surface; plans listriques), lesquelles, tout en étant des chevauchements, produisent un allongement des couches. La figure 6 montre de remarquables surfaces NBA (notées a) sur le flanc nord de l'anticlinal de Stockum, au puits Tremonia. Ces surfaces, inclinant dans le même sens que les couches, ont produit un chevauchement de couches plus jeunes sur de plus anciennes, avec suppression de couche.

Les disjonctions (Deckel) qui ont un pendage contraire aux couches et provoquent une suppression de couche (ex. Tremonia-

Deckel) sont également des surfaces NBa. Leur formation, comme pour les surfaces TBa à mouvement direct (abschiebend), est en relation génétique avec l'action de la poussée directionnelle.

Le cas B perpendiculaire aux axes des plis et parallèle à la stratification : En cas de dépassement de la résistance au cisaillement naîtront des surfaces de cisaillement dont la ligne d'intersection sera disposée parallèlement à la ligne de plus grande pente des couches (toujours dans la supposition de plis sans ennoyage). Les mouvements relatifs le long de ces surfaces de cisaillement seront parallèles au plan A/C, lequel est incliné, par rapport aux flancs des anticlinaux, de l'angle complémentaire du pendage des couches; les écailles tournées vers l'axe A se déplaceront dans la direction du centre de l'anticlinal, celles tournées en sens contraire se déplaceront en sens opposé. L'angle que font ces surfaces de cisaillement avec l'axe A est ici aussi $< 45^\circ$.

Les surfaces de cisaillement provoquées par cette forme de sollicitation sont désignées comme NBf (composante normale, B suivant la ligne de plongement des couches = Fallinie). De la même manière que pour les surfaces TBl, on peut également, de la direction et du pendage des surfaces NBf, déduire la position des axes du plan de déformation correspondant et ainsi fixer la direction des mouvements initialement produits et le pendage des couches au moment du décollement de ces surfaces. Sur les flancs d'anticlinal opposés, les surfaces NBf auront même direction et pendage contraire. Elles sont aussi disposées principalement sur les flancs des anticlinaux. Par rapport à la stratification, elles ont un effet stratigraphique.

On peut prendre comme règle que des dérangements transversaux qui montrent un plongement non perpendiculaire par rapport aux couches, respectivement aux axes des plis, se placent presque toujours parmi les surfaces NBf, pour autant qu'ils présentent également un angle $< 45^\circ$ en plan horizontal avec la perpendiculaire à la direction des plis, un effet stratigraphique et une composante horizontale du mouvement, qui s'indique par le déplacement des arêtes synclinales et anticlinales (Muldenlinie, Satellinie).

Pour éviter la confusion avec les surfaces TBl, le critère le plus simple est l'inclinaison non perpendiculaire sur la surface de stratification. De plus, pour les dérangements qui déplacent

le bloc occidental relativement vers le Nord, sur des flancs anticlinaux méridionaux en cas des surfaces NBf et TBl de direction plus ou moins la même, les surfaces NBf auront toujours un pendage vers Ouest, les TBl toujours vers l'Est. Sur les flancs septentrionaux des anticlinaux, c'est-à-dire pour des dislocations qui déplacent le bloc oriental vers le Nord, la situation sera inverse (voir fig. 2).

Des arrangements qui résultent des plans de déformation on peut déduire comme règle que les dislocations transversales qui, par rapport à la perpendiculaire sur la direction des plis prise comme ligne de référence, se disposent dans le 1^{er} et le 3^e cadran, déplacent le bloc est relativement vers le Nord, celles du 2^e et du 4^e cadran le bloc ouest relativement vers le Nord (les cadrans étant comptés dans le sens direct). Au point de vue de l'effet stratigraphique de part et d'autre d'une dislocation, un effet contraire peut apparaître dans la représentation cartographique. Notamment quand les couches et la résultante des mouvements (résultante des mouvements ayant eu lieu jusqu'à l'heure actuelle le long de la dislocation) inclinent dans le même sens, la résultante des mouvements étant plus inclinée que les couches.

Comme exemple de surface NBf dans le domaine de la tectonique moyenne, l'auteur donne une coupe observée dans une carrière de briqueterie à Witten (fig. 7). Il y existe un graben d'environ 100 m de large dans les « Wittener Schichten », dont la faille limite orientale est dégagée. Son intersection avec les couches du graben est parallèle à la ligne de pendage des couches. Les traces de mouvement sur la surface de dislocation se disposent en moyenne parallèlement au plan A/C (plan perpendiculaire à la ligne de plus grande pente des couches). La direction des couches est N-80°-W, le pendage de 20° W. La direction de la dislocation est N-155°-W et le pendage 55° W. Son plan fait un angle de 37° dans le plan A/C, sa direction un angle de 15° dans le plan horizontal, par rapport à la perpendiculaire sur l'axe des plis. Cette dislocation remplit donc toutes les conditions théoriques des surfaces NBf.

Si on examine les grandes dislocations du district de la Ruhr concernant leur éventuelle appartenance à NBf, on constate que presque toutes montrent, ne fût-ce que dans certaines de leurs parties, des attributs qui correspondent aux propriétés des surfaces NBf. L'auteur nomme comme exemple les grandes dislocations transversales suivantes : Herner-, Blumenthaler-,

Bickefelder-, Kirchlinder-Störung. Le fait qu'il n'y a souvent que des parties des grandes dislocations transversales qui montrent les propriétés des surfaces NBf, trouve son explication dans l'évolution des grandes dislocations, qui sont constituées d'éléments génétiquement différents. Quand, sur des surfaces NBf, l'intersection de la surface de dislocation avec les couches

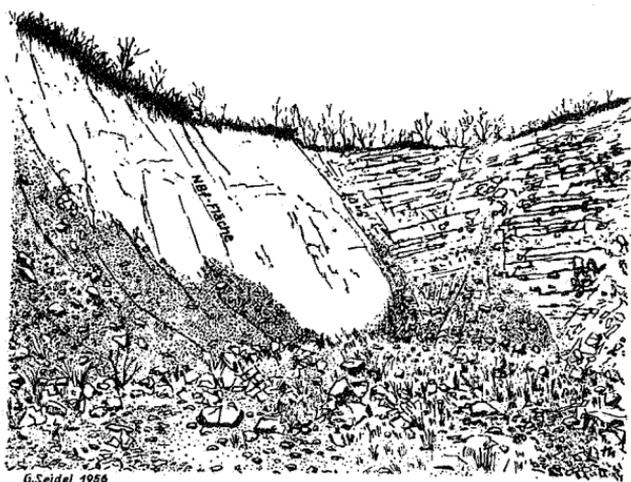


Abb. 16: Querstörung (NBf-Fläche) im Steinbruch der Ziegelei Dünkelberg bei Witten (Wittener Schichten). Man sieht deutlich das für die NBf-Flächen kennzeichnende auf die Schichten bezogen unlotrechte Einfallen der Störung.

FIG. 7.

des blocs découpés, dans l'état actuel, n'est plus parallèle à la ligne de pendage des couches, cela est dû à des mouvements ultérieurs des couches. Souvent d'ailleurs les surfaces NBf se terminent dans les noyaux synclinaux et anticlinaux, ce qui est en conformité avec leur mode de genèse.

c) Déformations verticales (Vertikalverformungen). — Dans le plan de sollicitation produit par la force verticale, l'axe B peut occuper deux positions privilégiées : horizontal et parallèle aux axes des plis, horizontal et perpendiculaire aux axes des plis. Au premier cas on devrait attribuer des surfaces de cisaillement qui se dirigent parallèlement aux axes des plis, ont des pendages de 60°-70° et dont l'écaïlle au toit s'est déplacée parallèlement à A et donc relativement vers le bas. Ces surfaces seront désignées par VBa. De pareilles sur-

faces ne sont pas connues dans le Carbonifère de la Ruhr. Ce serait d'ailleurs invraisemblable qu'il en existe puisque l'axe C comme direction de la plus grande extension ne peut être actif en sens opposé de l'effort de plissement, comme ce serait le cas pour des surfaces VBa, même si celui-ci, de par les glissements parallèles, se décompose de manière à annuler la composante verticale.

Dans le second cas, B perpendiculaire aux axes des plis (fig. 2 c), la situation est en principe la même que dans le cas VBa avec la différence que les surfaces de cisaillement qui prennent naissance tournent, dans le plan horizontal, de 90° par rapport aux surfaces VBa et seront donc dirigées perpendiculairement aux axes des plis. Ces surfaces, à désigner par VBl, correspondent à des dislocations exactement perpendiculaires, qui montrent un effet stratigraphique, ont un pendage de 60° à 70° et ne présentent aucun indice d'une composante horizontale du mouvement. De pareilles formes sont bien connues, comme surfaces isolées, parmi les dislocations transversales. Toutefois, les dislocations exactement perpendiculaires constituent le plus souvent des sections partielles de surfaces cisailantes importantes. Dans ce dernier cas, il y a une composante horizontale du mouvement, mais qui appartient à des remises en mouvement ultérieures. L'auteur identifie aux surfaces théoriques VBl plusieurs grandes dislocations de la Ruhr dont la direction est exactement perpendiculaire à celle des axes des plis.

Avec les surfaces tectoniques dont il a été question on n'a pas épuisé toutes les catégories de dislocations importantes du bassin de la Ruhr, puisqu'il manque les bien connues failles verticales de décrochement (Blattverschiebungen) et les formes d'étirement pures; il en sera question plus loin.

3. Relations dans le temps.

Théoriquement, depuis le début du plissement jusqu'à la position à 45° des flancs des plis, c'est sur la composante tangentielle qu'il faut compter, puis de 45° jusqu'à la verticale sur celle normale, tandis que celle verticale est à prendre en considération surtout pour des inclinaisons de couches qui se situent autour et près de 45° .

Le champ de contraintes dû à l'effort de plissement combine son action avec celle d'autres efforts supplémentaires, dont la présence est due à la composition variée de la masse des roches,

aux frottements qui prennent naissance au cours de la déformation, etc. Dans un examen qualitatif de la tectonique majeure, ces influences secondaires peuvent être négligées. Mais leur effet peut être parfaitement visible dans la tectonique mineure.

Les déformations tectoniques que nous observons dans une région se sont formées lentement au cours de longues périodes de temps. Ce qui est l'œuvre d'un processus successif nous apparaît actuellement en un ensemble spatial. L'analyse tectonique devrait pouvoir déterminer quel fut le plan de dislocation initial et ensuite, pour autant que l'observation des faits et la théorie le permettent, suivre le devenir ultérieur de ce plan initial. Dans cette analyse, la théorie peut permettre des conclusions qu'on ne saurait atteindre seulement par l'observation. Le cisaillement d'un matériel permet des mises en mouvement qui sont finalement arrêtées par le frottement. Mais si, ultérieurement, par une autre disposition du champ de contraintes, le gradient énergétique augmente, il s'ensuivra un changement correspondant du plan de sollicitation, avec modification de la position privilégiée des plans de déformation. Aussi bien l'expérimentation que l'observation concourent à indiquer que dans le processus tectonique la déformation s'est poursuivie sous des oscillations irrégulières, dans l'espace et dans le temps, du champ de forces responsable des contraintes subies.

Il se peut que, dans des cas spéciaux, on puisse déterminer exactement la suite de ces changements mais, en général, on doit se contenter de vues plus sommaires faisant dépendre du degré de plissement l'influence prépondérante de l'une ou l'autre composante du champ de forces.

Au début du plissement, avec des flancs de plis encore peu inclinés, c'est la composante tangentielle qui dominera généralement. De ce fait, dans ce stade, on doit s'attendre avant tout à des déformations suivant des plans TBa et TBl. C'est la déformation suivant TBa qui devrait se développer au début de préférence parce que, lors du déplacement d'un paquet de couches, le transport « vers le haut », qui correspond au plan de sollicitation pour la formation d'une telle faille, possède un plus grand gradient énergétique que si le mouvement se faisait suivant la direction des axes des plis. Ce n'est qu'au moment où, à cause du frottement, le développement des surfaces TBa est tellement freiné que le gradient énergétique devient plus grand pour TBl, que ces dernières surfaces commenceront à se former.

Au moment où les couches seront près d'atteindre 45° de pente la sollicitation par les composantes normale et verticale entreront en ligne de compte, alternant entre elles suivant les variations du gradient énergétique. Puis, avec l'augmentation de la pente des couches, la composante normale deviendra prépondérante, tandis qu'au-delà de la limite des 45° la composante verticale diminue jusqu'à s'annuler presque.

Au point de vue du développement tectonique général, tous les plans de sollicitation produits par quelque composante de la force de plissement que ce soit et leurs oscillations dans l'espace et dans le temps agissent ensemble vers la consolidation (Verfestigung) des matériaux tectonisés. Mais la courbe de développement correspondante, les possibilités de différenciation étant pratiquement innombrables, montrera de nombreuses phases de libération (Entfestigung) intercalées, donnant au phénomène, dans son stade final, une allure asymptotique.

Les dislocations ci-dessus décrites ont été actives pendant la phase asturienne de l'orogénèse varisque. Mais des mouvements ultérieurs eurent encore lieu suivant ces dislocations. L'auteur apporte comme preuve de ce fait les « failles renversées » (Umkehrverwerfungen), décrites par OBERSTE-BRINK dans KUKUK, « Geologie des Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlengebietes », pour la région nord-ouest de la Ruhr, où des fractures transversales du Carbonifère se prolongent dans le Crétacé. Certaines montrent un mouvement inverse (Aufschiebung) dans le Crétacé et un mouvement normal (Abschiebung) dans le Carbonifère. Ce qui indique que le mouvement inverse n'a pas su effacer l'effet stratigraphique du mouvement normal initial dans le Carbonifère.

On ne connaît pas, dans la Ruhr, de prolongement d'une faille longitudinale du Carbonifère dans les terrains de couverture. Ce fait conduit l'auteur à la conclusion que les mouvements post-carbonifère le long des failles transversales du Carbonifère de la Ruhr, mouvements qui se continuent peut-être encore aujourd'hui, sont dus à un plan de sollicitations ultérieur différent de celui qui a plissé le Carbonifère. L'auteur suppose qu'il peut s'agir du champ de forces « saxon », qui fut incapable de changer sensiblement les structures tectoniques déjà formées.

4. Développement du réseau de dislocations par la réunion de surfaces isolées.

Si on examine la figure 2 *d*, sur laquelle les diverses surfaces de dislocations théoriques ont été réunies, on constate que les directions, sens et valeur du pendage, direction du mouvement relatif, sur des surfaces correspondantes TBI ou NBf, sont différents sur les deux flancs d'un anticlinal. Des surfaces NBf ont même direction sur les flancs opposés, mais des pendages et des mouvements relatifs contraires. Il en est de même pour les surfaces TBI situées sur les flancs opposés de l'anticlinal. Mais si on compare les surfaces NBf d'un des flancs du pli avec les surfaces TBI du flanc de pendage opposé, alors on constate qu'il y a concordance entre leurs direction, pendage et mouvement. Jusqu'ici il fut question de la formation initiale d'une série d'éléments dislocatifs. Une fois ces éléments formés, ils prennent part à la déformation subséquente avec, comme conséquence, une anisotropie de plus en plus élevée. Le développement de la segmentation tectonique rend la formation de nouvelles surfaces de disjonction de plus en plus difficile mais, d'autre part, les surfaces déjà existantes, suivant leur position par rapport aux plans de cisaillement correspondant aux plans de sollicitation momentanés et à ses oscillations dans le temps et dans l'espace seront de plus en plus activées et reprises dans les mouvements. C'est de cette manière que, au cours de ce développement, on arrivera à une réunion (Addition) de surfaces lesquelles, quoique appartenant initialement à des plans de dislocation différents, finissent par s'intégrer dans une disjonction unique. Les caractéristiques des divers éléments constitutifs (direction, angle et sens du pendage) se maintiennent, mais il peut y avoir des changements quant à la direction du mouvement relatif. Ainsi, si des surfaces TBI et VBI se réunissent, il peut s'ensuivre pour les premières une augmentation de l'effet stratigraphique.

Les possibilités de réunion sont surtout grandes pour les dislocations transversales : TBI, NBf et VBI. La plupart des grandes dislocations transversales sont formées de sections de directions différentes. Ce n'est qu'une petite partie de ces sections qui montre une perpendicularité exacte. La plupart font un angle, qui ne dépasse pas 20-30°, avec la perpendiculaire sur la direction des plis, une égale répartition existant de part et d'autre de cette perpendiculaire.

Une grande dislocation transversale peut avoir réuni la suite de surfaces suivante : une surface NBf du flanc méridional d'un anticlinal, une surface VBl du noyau de l'anticlinal, une surface TBl du flanc septentrional de l'anticlinal, puis une surface NBf du flanc sud de l'anticlinal suivant, TBl du flanc nord de ce même anticlinal et ainsi de suite. Il en résultera, dans le domaine de la Ruhr, une dislocation transversale à pendage ouest, laquelle, dans sa première section sud, aura une direction de 140° , prendra dans le noyau anticlinal une direction exactement perpendiculaire, soit environ 160° , puis sur des distances plus longues reprendra et gardera la direction de 140° , avec une apparence d'indépendance par rapport aux noyaux synclinaux ou anticlinaux. De pareilles dislocations sont bien connues dans la Ruhr. L'observation montre en effet que l'interposition d'une surface VBl n'est pas indispensable pour que des fractures des flancs opposés se réunissent à travers le noyau. D'autre part, la réunion n'a pas toujours lieu. En cas de contrainte locale insuffisante, les dislocations peuvent se cantonner sur un seul flanc de pli; on peut aussi avoir une surface importante découpant seulement un noyau synclinal ou anticlinal et ne se prolongeant pas sur les flancs correspondants, parce que les contraintes étaient insuffisantes pour l'y continuer. L'auteur cite des exemples réels de tous ces cas.

Théoriquement il serait aussi possible que des surfaces NBf appartenant à deux flancs d'anticlinal opposés se rencontrent dans le noyau de cet anticlinal. Les deux ont même direction, avec des sens du pendage différents et aussi avec mouvements relatifs différents. Il en résultera une zone de dislocation transversale qui change de pendage (Aenderung des Einfallens) dans le noyau anticlinal. Ce cas existe également dans la Ruhr, mais il est peu fréquent.

Pour les surfaces TBa et NBa, qui sont des dislocations longitudinales, après formation de leur déchirure, leur intervention passive dans la déformation subséquente s'extériorisera surtout à côté de réunions (intégrations, Additionsvorgänge) dans le domaine TBa, par des rotations autour d'axes parallèles aux axes des plis. L'intégration de surfaces TBa donne lieu au phénomène d'enroulement (Einwirbelung) déjà exposé ci-dessus. De même, on doit citer ici les réunions de failles inverses à pendage sud avec les failles incurvées (Schaufelflächen) de la déformation NBa.

Après formation des surfaces TBa et NBa, l'accentuation du plissement conduit à un accroissement du pendage de ces surfaces, tandis que l'angle plus petit qu'elles forment avec la stratification dès le début reste acquis. Cela peut conduire même à un renversement (Ueberkippung) de ces surfaces. L'auteur décrit et figure, comme exemple, la faille « Sutan » au puits Werne laquelle pend de 70° vers le Sud dans son parcours oriental; vers l'Ouest la pente s'accentue, devient verticale, puis se renverse à 80° au Nord. L'angle sous lequel la faille recoupe les couches reste faible. Ces rotations ne sont possibles que par une augmentation des glissements parallèles entre couches. De ce fait, l'effet stratigraphique peut être sérieusement accentué le long des surfaces ayant subi une rotation importante et cet effet stratigraphique n'a rien à voir avec la distance de cheminement (Schubweite) initiale, au sens habituel. Celle-ci peut n'avoir été que peu importante au moment où la rotation a débuté. D'ailleurs, si le cheminement initial avait été important, les surfaces TBa d'un flanc de pli se seraient raccordées à celles des flancs anticlinaux opposés et ce phénomène aurait conduit à des raccordements (Scharungsbildern) tectoniques caractéristiques. Pareils raccordements, permettant de conclure à des cheminements initiaux importants, ne s'observent pas dans la Ruhr. Les raccordements de ce genre qu'on y rencontre sont formés de fractures avec cheminements peu importants ou se présentent comme un éparpillement en plusieurs surfaces de dislocation, dont le mouvement s'amortit rapidement dans des anticlinaux particuliers.

5. Découpage secondaire, en liaison directe avec l'effort de plissement.

Avec l'augmentation de la concentration du gradient énergétique sur les grandes zones de dislocation, il se forme pendant le plissement et parallèlement à ce processus, les nombreux horst et graben qui divisent le Carbonifère de la Ruhr en blocs disposés transversalement. Les dislocations limitant un bloc sont des failles d'affaissement obliques (Schrägabschiebungen) faisant entre elles un angle aigu et présentant des pendages opposés. De ce fait, une sollicitation secondaire à la compression prend naissance dans ces blocs transversaux, disposée sous angle aigu par rapport à leur bordure. Cette sollicitation secondaire peut conduire à la formation de surfaces de cisaillement, dont l'angle par rapport à la direction des dérangements marginaux sera tel que le gradient énergétique pour les nouvelles

surfaces de cisaillement soit supérieur à celui pour les surfaces déjà existantes et qui se situent beaucoup trop loin en dehors des surfaces de cisaillement du nouveau plan. De par les mouvements relatifs en bordure des blocs naît une rotation extérieure de sens direct pour les blocs situés dans le 2^e et le 4^e

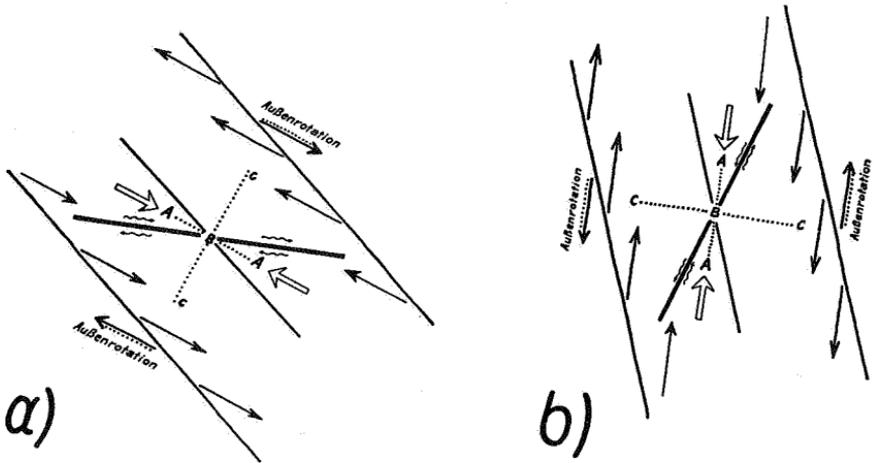


Abb. 17 a, b: Verformungsplan zur Entstehung der Blattverschiebungen, a) in Querschollen mit Randstörungen im zweiten und vierten Quadranten, b) in Querschollen mit Randstörungen im ersten und dritten Quadranten.

FIG. 8.

cadran, laquelle fera ressortir plus fortement la surface de cisaillement qui fait le plus grand angle avec la dislocation marginale (fig. 8 a). Les nouvelles surfaces devraient donc se disposer dans le secteur 80°-110°, avoir un pendage approchant de la verticale et des mouvements relatifs déplaçant le bloc sud vers l'Ouest. Le mouvement s'effectuant surtout parallèlement à un plan horizontal, leur effet stratigraphique initial sera très faible. Ces surfaces sont désignées par l'auteur comme SBI (déformations secondaires, B vertical — lotrecht).

Pour des surfaces SBI se formant dans des blocs dont les fractures marginales sont situées dans le 1^{er} et le 3^e cadran, les mouvements relatifs étant inversés, — bloc ouest vers Sud

et bloc est vers Nord, — la rotation extérieure est de sens inverse, ce qui fait que, dans ce cas, ce sont les surfaces de plus grand angle directionnel qui sont activés; ces surfaces sont de direction comprise entre 20° et 40° avec un mouvement relatif bloc est vers Nord, bloc ouest vers Sud.

Les surfaces ci-dessus décrites doivent être comparées aux failles verticales de décrochement (Blattverschiebungen) très bien connues dans la Ruhr. On en rencontre aussi bien parmi les dislocations importantes que dans le domaine de la petite tectonique. Ce sont des failles verticales à déplacement latéral, montrant toujours une certaine liaison avec les dislocations transversales. Souvent leur sens du pendage alterne autour de la verticale et leur mouvement relatif correspond à celui théoriquement indiqué pour des surfaces SBI. Les deux genres théoriques (*a* et *b* ci-dessus) sont représentés.

Les failles verticales de décrochement (Blätter) du Carbonifère de la Ruhr se sont formées vers la fin de la période de sectionnement transversal et notamment à partir du moment où les divers genres de dislocation isolée ont commencé à s'intégrer en des dislocations importantes, donnant ainsi naissance à un compartimentage transversal.

Dans la littérature sur la tectonique de la Ruhr, on classe souvent parmi les « Blätter » toute faille qui montre une importante composante horizontale du mouvement. L'auteur fait remarquer qu'une composante horizontale du mouvement peut exister également pour des surfaces TBI et Nbf. Le concept « Blatt » ou « Blattverschiebung » — faille verticale de décrochement — n'est pas clairement défini par l'existence d'une composante horizontale du mouvement. On devrait le définir soit génétiquement soit sur les relations géométriques actuelles. Pour l'histoire du développement tectonique la première définition sera commode, *en pratique la seconde sera plus appropriée*.

L'état actuel étant seul directement observable et le développement dans le temps des dislocations fort variable, l'auteur propose qu'il soit considéré comme appartenant à la catégorie « Blatt » toute faille pour laquelle l'état actuel de son chemin de mouvement indique un déplacement horizontal des blocs séparés par elle et cela jusqu'à un pendage de 25°. Toutes autres dislocations transversales, même si elles présentent une composante horizontale, devraient être classées d'après lui parmi les failles normales (Sprünge).

Il faut encore mentionner un second genre de dislocations secondaires : ce sont les phénomènes de déchirement (Zerrungserscheinungen) observés occasionnellement en relation avec les grandes dislocations transversales. Ce sont des phénomènes satellites (Fiedereffekte) se produisant dans les parties marginales de deux blocs séparés par une zone de dislocation. Ces déchirures satellites se cantonnent presque toujours dans le domaine de la microtectonique.

Localement, et également dans le domaine microtectonique, on observe des fissures transversales minéralisées dans la zone axiale des plis. S'il ne s'agit pas de phénomènes satellites de surfaces VBI, ces fissures transversales peuvent avoir été produites dans des zones limitées, encore ou à nouveau dans un état élastique, par des efforts de relaxation amenés par les fluctuations d'intensité de la sollicitation.

Ces phénomènes satellites de déchirement, les fissures transversales minéralisées, ont souvent été apportés comme preuves à l'appui d'une formation par déchirement des dislocations transversales, raisonnement dans lequel les rapports d'appartenance et d'importance relative sont ignorés.

6. Relations réciproques entre les dislocations des sollicitations partielles.

La mosaïque compliquée dans laquelle le Carbonifère de la Ruhr est actuellement découpé peut donc être reconstituée au moyen de l'« Additions-hypothèse », hypothèse d'intégration, d'après laquelle des plans de sollicitation différents se succèdent et relaient leurs effets dans le temps et cette succession dans le temps, du moins dans ses grands traits, peut aussi être déduite de la théorie, en partant d'une situation initiale des déformations. En effet, au début, ce sont les surfaces correspondant à la composante tangentielle qui se trouvent au premier plan; ensuite, avec l'augmentation du blocage de ces surfaces par le frottement à cause de l'accentuation du redressement des couches, ce sont les sollicitations normale et verticale qui prédomineront; enfin, en relation avec la constitution de grands blocs transversaux, ce sont les surfaces des sollicitations secondaires qui se développeront à l'intérieur de ces blocs.

Pour la détermination de l'âge relatif, lors du regroupement (Scharung) de deux dislocations, cet ordre sommaire de succession dans le temps n'est pas toujours suffisant. La méthode courante, qui consiste à considérer comme relativement plus

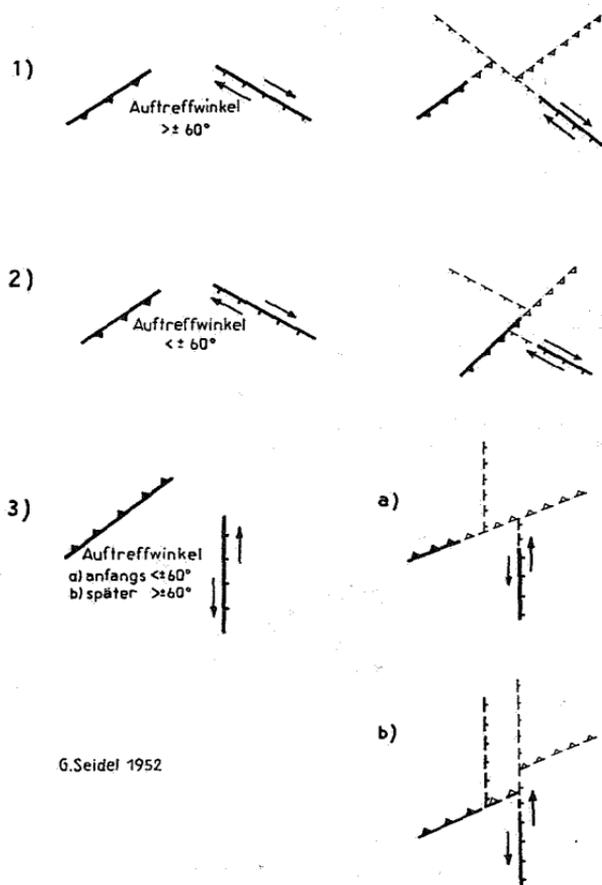
relatif. Il faut envisager l'angle de rencontre des deux massifs et cet angle ne doit pas être mesuré dans un plan horizontal — ce qui se comprend facilement pour des motifs géométriques — mais dans le plan E (fig. 9) perpendiculaire à la dislocation II et parallèle à la direction initiale du mouvement le long de la dislocation I.

Les schémas de la figure 10 montrent l'indépendance de l'angle sous lequel deux dislocations se groupent en plan horizontal (Scharungswinkel) envers l'angle réel sous lequel les massifs en déplacement se rencontrent (Auftreffwinkel), mesuré comme indiqué à la figure 9. Ce dernier peut avoir, dans des cas déterminés, des valeurs de loin inférieures à l'angle de frottement de Coulomb pour les roches, auquel cas les déductions qu'on tirera de la figure géométrique en plan seront erronées.

Les schémas de la figure 10 montrent, pour un angle de groupement de 2 failles en plan horizontal (Scharungswinkel) indiqué à gauche, quel est le phénomène de découpage qui interviendra (indiqué à droite) suivant la valeur de l'angle de rencontre des massifs (Auftreffwinkel). Les cas 1 et 2 montrent les différentes figures de découpage résultant pour un même angle de groupement en plan horizontal, quand l'angle de rencontre des massifs est différent. Sur un même plan de dislocation, des changements du plan de sollicitation peuvent amener successivement des angles de rencontre différents, ce qui donnera naissance à un faisceau de dislocations (fig. 10, cas 3, où on suppose un angle de rencontre pour commencer inférieur à 60° puis devenant supérieur à 60°).

Pour résoudre correctement le problème de l'âge relatif de fractures se rencontrant, problème important pour la pratique, il faut donc, en dehors de la connaissance des directions et pendages, pouvoir déterminer les directions des mouvements initialement produits le long des dislocations. Cela est possible moyennant l'analyse des déformations telle qu'elle a été conduite ci-dessus, suivant l'hypothèse d'addition des fractures et, en pratique, au moyen d'un réseau de transformation.

D'après une conception encore généralement admise, en cas de rencontre, une faille inverse doit toujours être morcelée par une faille transversale, puisque cette dernière catégorie est considérée comme plus jeune. On ne devrait donc jamais observer de failles transversales découpées par des failles inverses, ce qui est pourtant bien le cas. Car l'observation montre cette



G.Seidel 1952

Abb. 19: Störungsscharungen im Grundriß. Der in der Kartenebene erscheinende Scherungswinkel der Störungen ist nicht gleich dem im Raume zu messenden Auftreffwinkel der bei der Störungsscharung gegeneinander bewegten Gebirgsschollen (1, 2). An ein und derselben Störungsfläche sind bei verschiedenen Beanspruchungen verschiedene Auftreffwinkel möglich, so daß Störungsbündel entstehen können (3).

FIG. 10.

dernière disposition aussi bien dans le domaine de la microtectonique que dans celui de la tectonique en grand. L'auteur apporte comme exemple observé la rencontre d'une surface TBI avec une faille inverse. Les surfaces TBI ont leur chemin de déplacement initial parallèle à la stratification; la faille inverse fait environ 20° avec la stratification. L'angle de rencontre des écaïlles en mouvement sur la surface TBI avec celles séparées par la faille inverse mesure ici également quelque 20° et se trouve donc loin sous la valeur nécessaire (environ 60°) pour le découpage de la faille inverse.

L'auteur figure plusieurs autres exemples réels de découpage et déplacement d'une faille transversale par une faille longitudinale inverse, se passant dans le cas où l'angle de rencontre des massifs est inférieur à 60° . Nous en reprenons un seul (fig. 11).

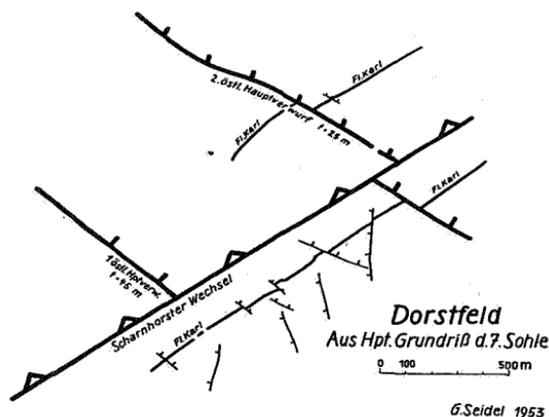


Abb. 21: Das Verspringen einer großtektonischen Querstörung am Scharnhorster Wechsel auf der Schachtanlage Dorstfeld.

FIG. 11.

Pratiquement toutes les dislocations, au cours de leur développement, ont pu se trouver sous l'influence de nombreuses phases de déformation successives et, de ce fait, des chemins de mouvement différents ont pu être actifs le long d'une même déformation. Il s'ensuit qu'une dislocation transversale, laquelle fut morcelée et découpée, lors de sa formation, par une dislocation plus ancienne peut, lors d'une réactivation, découper maintenant la dislocation plus ancienne si, pour la direction actuelle du déplacement, l'angle de rencontre dépasse 60° . Il faudra donc s'assurer, par une analyse spéciale, quoique les

angles de rencontre pour une dislocation importante varient peu, qu'il n'y a quand même pas eu possibilité de chemins de déplacements à angle de rencontre plus grand que 60° . Si c'est le cas on devra, comme règle, escompter la possibilité d'un découpage ultérieur de la dislocation plus ancienne, même si le premier mouvement indique la nécessité d'un déplacement de la nouvelle dislocation. Par ce découpage ultérieur de la dislocation plus ancienne, il se produit un dédoublement de la dislocation plus jeune dans l'écaïlle située au-delà de la dislocation plus ancienne (cas schématisé en 3, fig. 10).

Si un chemin de mouvement avec un angle de rencontre inférieur à 60° n'est pas possible, on devra toujours, en cas de mouvements ultérieurs, compter sur un découpage des plus jeunes dislocations sur les plus anciennes. En sens contraire, une dislocation, qui découpe une plus ancienne à cause de l'angle de rencontre de son premier mouvement tectonique, pourra continuer à la recouper lors de mouvements ultérieurs, même si l'angle de rencontre diminue sous 60° , de par un frottement plus faible déterminé par la situation antérieurement acquise.

7. Discussion d'autres conceptions et preuves supplémentaires pour la théorie de l'Addition.

L'analyse des dislocations suivant la théorie de l'Addition conduit à la conclusion que pratiquement tous les types de dislocation de la Ruhr sont génétiquement, dans leur disposition initiale, intimement liés au plissement et qu'ils ont ensuite évolué passivement en relation avec le développement du plissement. C'est également pendant le plissement que les dislocations initiales se sont intégrées pour former le réseau actuel de grandes dislocations tectoniques. Il ne faut en excepter que des formations nouvelles toujours possibles par des sollicitations posthumes, mais qui pratiquement se cantonnent dans le domaine microtectonique. Cela signifie, contrairement à ce qui est ordinairement accepté, que les charriages à pente sud se formèrent également *pendant* le plissement et que toutes les *dislocations transversales* importantes, donc les « *Blätter* » y compris, se produisirent également *pendant le plissement*. Les dislocations transversales, à cause de leur subordination comme surfaces de cisaillement à une composante de la force de plissement, prennent donc clairement part à la compression et au rétrécissement transversal auquel correspond un allongement

latéral de la masse sous tectonisation; elles ne sont pas des surfaces d'arrachement (Zerrsprünge) nées après achèvement du plissement sous l'influence d'une extension (Zerrung) dirigée SW-NE.

D'autres preuves peuvent être apportées en faveur de ces données déduites d'une théorie. Envisageons, pour commencer, celles qu'on peut tirer des failles inverses (Wechsel) à pendage sud. Ces fractures, suivant les conceptions admises jusqu'à présent, se seraient formées, sinon lorsque les couches étaient encore dans une position absolument horizontale, du moins lorsqu'elles n'avaient encore acquis que des pendages très faibles ou ne commençaient qu'à se relever légèrement contre des seuils, de toute manière avant que n'ait débuté le glissement parallèle entre couches, indispensable au plissement. Ces fractures cisailent les couches sous un angle de 15° à 25° . Cela signifie qu'au moment de la formation de ces fractures l'adhérence des couches sur les surfaces de stratification aurait été si élevée que l'arrachement de surfaces de cisaillement sous un angle d'à peine 15° à 20° avec ces couches aurait présenté un gradient énergétique supérieur à celui nécessaire pour le glissement suivant les surfaces de stratification. En d'autres termes, les couches auraient « collé » si fortement ensemble que l'arrachement de surfaces de cisaillement nécessitait une moindre dépense d'énergie que celle qu'il aurait fallu pour obtenir un glissement le long des surfaces de stratification, malgré que celles-ci, par l'intercalation de schistes doux et de charbons, y sont véritablement prédestinées. Cela apparaît comme proprement invraisemblable si on se rappelle le comportement mécanique d'une masse sédimentaire (Gebirgskörper) en ce qui concerne les possibilités et la concentration observable des mouvements sur des surfaces de gradient énergétique maximum, faisant un angle faible avec les cisaillements.

Il est impossible de supposer au début un blocage pareil du glissement parallèle entre couches (Schichtparallele Gleitung — Bedding plane slip), d'autant plus que la suite stratigraphique (Schichtenfolge) du Carbonifère de la Ruhr n'était certainement pas composée, avant le plissement, de plaques planes horizontales mais comportait des irrégularités d'origine sédimentaire lesquelles, localement, pouvaient encore diminuer l'angle entre les surfaces de stratification et de cisaillement, ce qui fait que, en pareils endroits, le glissement entre couches et donc le plissement pouvaient s'amorcer d'autant plus facilement. Même

dans des zones où la puissance des horizons gréseux est relativement importante, comme dans le Namurien supérieur, s'intercalent toujours, après peu de décamètres de puissance massive, de faibles intercalations ou des lits charbonneux ou schisteux.

Supposons néanmoins qu'un très important blocage du glissement parallèle aurait existé avant le plissement donc, comme l'admettent d'autres chercheurs, que la résistance au cisaillement d'une masse de roches (Gebirge) dépendant de sa profondeur et des propriétés mécaniques des matériaux qui la composent, au-delà d'une profondeur déterminée cette résistance au cisaillement peut devenir inférieure à la résistance au glissement entre couches; de ce fait, en un endroit déterminé de la masse rocheuse peut naître une faille inverse qui aura un pendage sud à cause de la poussée directionnelle régionale. Avant arrachement de la faille inverse, dans les conditions de profondeur et de composition des couches données, le glissement parallèle est considéré comme impossible. Mais, dès que le cisaillement est formé, le mouvement d'un paquet de couches sur la surface de cisaillement nécessite le glissement parallèle entre couches sous ces mêmes conditions de profondeur et composition, sous lesquelles, d'après l'hypothèse initiale, il n'est pas possible. Car le chevauchement (Aufschiebung) d'un paquet de couches sur une surface de cisaillement inverse sans glissement simultanément entre couches à l'intérieur de ce paquet de couches exige, pour des raisons géométriques, un enlèvement de l'ensemble du paquet de couches de son substratum, conception qui s'exclut d'elle-même. L'écoulement des contraintes sur la surface de faille produit une décharge du domaine environnant, par laquelle la résistance au glissement y est relativement augmentée de telle sorte qu'il faut maintenant des tensions encore plus élevées pour obtenir le glissement sur joints — et par là le chevauchement du paquet de couches sur la faille — qu'il ne fallait avant l'arrachement de la faille dans le stade initial supposé (résistance au cisaillement < résistance au glissement). Et pourtant, conformément à l'hypothèse faite, il n'y aurait toujours que le cisaillement du domaine environnant possible et non le glissement entre couches, malgré que c'est ce dernier qui est nécessaire, dans le domaine considéré, pour rendre possible un transport sur la surface de faille. On se trouve ainsi devant de sérieuses difficultés si on place la naissance des failles inverses à pendage sud, dans le temps,

avant le plissement. Pour échapper à ces difficultés, d'autres suppositions devraient être introduites, ce qui nous enfoncerait un peu plus loin dans l'hypothétique.

Il est bien plus simple d'admettre que la formation de toutes les grandes failles inverses, celles à pente sud y comprises, est en relation avec le processus de plissement, tout en admettant le rôle des influences régionales pour fixer le dispositif d'ensemble et le déversement des plis et dérangements. Ces failles inverses, vu leurs caractères, seront à considérer comme des surfaces T_{Ba} formées au début, à part celles qui peuvent se former plus tardivement à cause de contraintes locales élevées, mais qui appartiennent le plus souvent au domaine de la petite tectonique. Cette conception présente le double avantage d'être conforme à la mécanique et de s'intégrer dans un plan de sollicitation unique, responsable de l'ensemble du processus de déformation. D'ailleurs, l'hypothèse différente ci-dessus examinée admet, elle aussi, que les failles inverses à pendage sud se forment au début du processus de plissement. La différence consiste en la supposition que le premier phénomène serait l'apparition des failles inverses à pendage sud, localisées dans des endroits appropriés du massif intéressé, après quoi seulement démarrerait l'incurvation des couches tandis que, pour l'auteur de la présente étude, il y a pour commencer incurvation des couches et ensuite formation des fractures inverses à pendage sud.

La convergence géométrique entre des modèles obtenus par incurvation de feuilles de papier ou de plaques parallèles et une situation tectonique réelle, ou les dessins explicatifs, constitués d'une manière appropriée, ne tiennent aucun compte des conditions élastico-mécaniques dans lesquelles se déroulent les phénomènes, ne constituent pas des preuves et ne devraient plus être apportés à l'appui du plissement des failles inverses (Mitfaltung).

D'autres arguments en faveur de la théorie de l'addition peuvent être tirés de l'examen des failles transversales. Si celles-ci se sont formées pendant le plissement, elles doivent influencer passivement le développement ultérieur de celui-ci. Les blocs séparés par des failles ou par des zones de dislocation transversale, après leur formation par intégration de surfaces isolées, doivent avoir poursuivi indépendamment leur plissement. Les chevauchements, l'effet stratigraphique, dus au plissement ultérieur à la formation des grands blocs trans-

versaux, devraient donc montrer une certaine indépendance d'un bloc à l'autre. Le raccordement des plis et des failles longitudinales, de part et d'autre des grands accidents transversaux, devrait n'être possible que dans les grandes lignes et servir d'indication pour le stade dans lequel ces grands accidents transversaux n'étaient pas encore actifs. Mais dans le détail devraient apparaître des différences montrant le stade post-séparation transversale des blocs voisins et les résultats du plissement ultérieur qui fut actif dans chacun des blocs. Et, de-ci de-là, on devrait également trouver une concordance exacte du plissement particulier de deux blocs voisins, soit parce que, à cause de circonstances locales spéciales, le plissement y aura cessé après arrachement des grandes dislocations transversales, ou bien simplement par un effet du hasard, ce qui est aussi théoriquement possible.

Si on examine, de ce point de vue, la figure tectonique du Carbonifère de la Ruhr, on est étonné de constater à quel point elle correspond aux déductions théoriques. Presque à chaque grande dislocation transversale on peut constater que, si on se rapporte à un même niveau stratigraphique, pour éliminer l'influence de la profondeur sur un faisceau de couches plissé, les grands synclinaux et anticlinaux les traversent, tandis que le plissement secondaire est d'habitude fort différent de part et d'autre, de telle sorte que les traits du plissement y sont à peu près les mêmes mais non point superposables.

L'auteur figure et commente plusieurs exemples, tant dans le domaine de la petite que de la grande tectonique, qui illustrent les variations brusques (*sprunghafte Aenderung*) des caractères du plissement secondaire et de la fracturation longitudinale, de part et d'autre des grandes failles transversales de la Ruhr. Tous ces exemples sont fort démonstratifs, tant en ce qui concerne les modifications des plis que celles des failles. Pour ces dernières relevons l'exemple de la terminaison du « Gelsenkirchener Wechsel » contre le « Herner Sprung » dans la région de Shamrock ou le « Constantin-Deckel », une fracture très plate de la région de Bochum, appartenant à la zone de dislocation du « Sutan » et montrant, de part et d'autre du « Constantin-Sprung » des valeurs du déplacement très différentes. Les « Deckel » du Carbonifère de la Ruhr sont des failles inverses très plates, formées par intégration de surfaces TBa et NBa et ne constituant donc nullement un groupe de dislocations spéciales.

Si, contrairement à ce qui est envisagé ci-dessus, on admettait que les dislocations transversales sont postérieures au plissement et dues à une force d'extension (Zerrung) s'exerçant longitudinalement, des difficultés seront soulevées. En tout premier lieu, toutes les dislocations transversales devraient se disposer perpendiculairement aux axes des plis et, conformément à la position des axes de l'ellipsoïde correspondant à cette sollicitation à la traction, posséder des pendages de 45° ou moins. Or, seulement un pourcentage restreint de fractures transversales ont dans la Ruhr une direction exactement perpendiculaire aux axes des plis et ces fractures s'intègrent harmonieusement, comme surfaces VBI, dans l'ensemble du processus de dislocation produit par la sollicitation générale à la compression. De plus, le pendage de ces fractures transversales exactement perpendiculaires est élevé, pour la plupart de 60° à 70° et non 45° et moins de 45° , comme ce serait le cas si elles étaient le résultat d'une sollicitation par extension. La genèse par extension exclut en outre la possibilité de composantes de mouvement horizontales sur les surfaces des fractures transversales dont la direction n'est pas exactement perpendiculaire. Des hypothèses additionnelles devraient être introduites pour expliquer ces mouvements, puisqu'ils existent. L'auteur en conclut que la formation synchrone au plissement de tous les genres de dislocations, comme surfaces isolées, et leur intégration, également pendant le plissement, en de grandes fractures transversales, présente l'avantage, sur la conception antérieurement admise, de s'intégrer harmonieusement dans l'ensemble du plan de sollicitation produit par la force de plissement et de rester en accord avec les possibilités mécaniques sans devoir, à aucun moment, ignorer ces dernières.

La rotation de dislocations transversales par le plissement n'est possible, théoriquement, que pour des surfaces TBI, parce que pour ces surfaces la position des axes de l'ellipsoïde est favorable. De pareilles surfaces TBI, ayant subi un mouvement de rotation, sont communes dans les couches fortement inclinées et forment une grande partie des « petites fractures transversales » qu'on observe dans les régions plissées.

Un argument d'ordre général peut être apporté en faveur de l'hypothèse de l'addition, comme principe d'ordre de la tectonique de dislocation de la Ruhr. Si tous les éléments dislocatifs sont génétiquement reliés à la force de plissement admise, alors ils doivent se disposer symétriquement par rapport à

celle-ci. Le schéma de la figure 12 représente la fréquence statistique des directions des diverses grandes dislocations tectoniques de la Ruhr, donc leur répartition statistique. C'est une projection verticale qui respecte les directions. Les dislocations

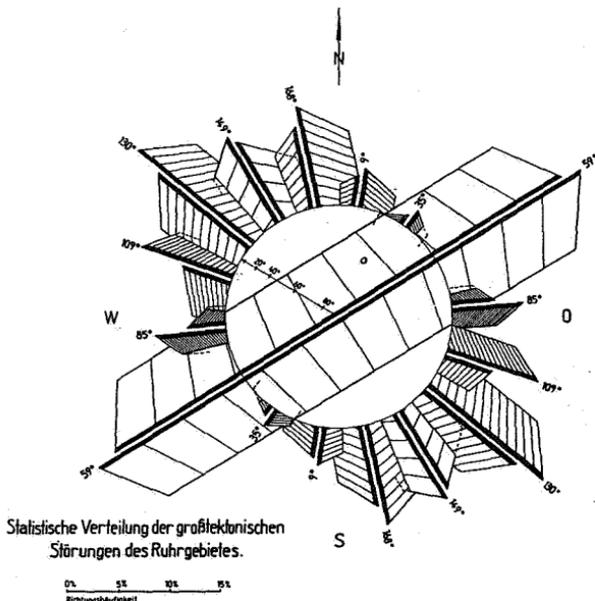


Abb. 25: Statistische Zusammenstellung der großtektonischen Störungen des Ruhrkarbons. Die gemittelten Streich- und Einfallswerte der Störungen sind als vertikal projizierte Flächen dargestellt. Die Länge der Flächenoberkanten bezeichnet die Häufigkeit, die lotrechte Flächenbreite, als Kosinusfunktion, den Einfallswinkel und zugleich die Einfallrichtung.

FIG. 12.

correspondant à une direction déterminée sont représentées schématiquement comme des surfaces inclinées. Leur largeur, mesurée perpendiculairement dans le plan du dessin donne, comme cosinus de l'angle de pendage, la mesure du pendage moyen des fractures qui sont représentées par la dite surface. L'arête supérieure des surfaces donne la direction par sa position et, par sa longueur, mesurée à partir du centre du cercle, la fréquence des dislocations suivant chaque direction représentée (à une échelle des fréquences indiquée). La flèche, à l'intérieur du cercle, donne l'échelle des angles de pendage.

Cette représentation fut obtenue au moyen de tous les plans de mine disponibles. La répartition des fréquences du diagramme n'est pas schématique mais représente des maxima réels.

Les dislocations dont la direction est d'environ 60° correspondent aux failles inverses (Wechsel). La fréquence des failles inverses à pendage sud est un peu plus grande que celle des failles inverses à pendage nord. Perpendiculairement à la direction de ces fractures, laquelle représente statistiquement également la direction des axes des plis, on trouve un maximum sur 150° , qui est en même temps la direction de la perpendiculaire sur l'axe des plis. Symétriquement à cette dernière direction se disposent, par paires, trois directions de dislocation : une première paire sur 168° et 130° , une deuxième sur 9° et 109° , la troisième sur 35° et 85° . Les deux dernières paires de dislocations ont un pendage plus fort que celui de la première paire. Les dislocations de la direction 150° montrent partiellement aussi des pendages plus élevés.

Les dislocations exactement transversales du diagramme correspondent aux surfaces VBI, les dislocations restantes des directions 109° jusque 9° aux surfaces TBI et NBf et celles des directions 85° et 35° principalement aux surfaces SBI, d'où leur pendage plus élevé.

On arrive à une conception erronée si, tout en considérant les dislocations transversales du Carbonifère de la Ruhr comme des surfaces de cisaillement, on les groupe en un faisceau Nord-Ouest et un autre Nord-Est, ce qui conduit à placer leur axe de symétrie dans la direction Nord-Sud. Cette conception conduit à un grand surplus de fractures suivant la direction Nord-Ouest, dont l'explication pourrait être appuyée sur des rotations externes régionales. Mais il est bien plus simple de placer l'axe de symétrie, en plan horizontal, perpendiculairement à l'axe des plis. D'un côté, on échappe ainsi à la nécessité d'une hypothèse auxiliaire pour expliquer l'accumulation plus grande de dislocations dans le secteur nord-ouest, d'un autre côté, la force responsable du processus de cisaillement s'identifie à la force de plissement et la recherche d'une force auxiliaire produisant le cisaillement est rendue inutile.

La disposition symétrique des dislocations par rapport à la perpendiculaire sur la direction des plis est nécessaire, si l'hypothèse de l'addition est valable; elle n'est pas nécessaire si on choisit des plans de sollicitation différents pour expliquer la

tectonique de dislocation observée. Puisque cette disposition symétrique existe, elle plaide en faveur de l'hypothèse de l'addition comme principe d'ordre et comme base d'appui pour l'établissement d'une systématique des dislocations de la Ruhr.

8. Systématique des formes de dislocation.

L'auteur se pose les questions s'il est utile de rechercher une systématique spéciale des formes de dislocation de la Ruhr, vu que ces dislocations ne diffèrent pas fondamentalement de celles d'autres régions, et si l'emploi d'indices, comme en cristallographie, ne constituerait pas une méthode plus adéquate pour désigner les différentes dislocations, ce qui fut d'ailleurs déjà préconisé et employé. Il n'y a évidemment pas une tectonique particulière du Carbonifère de la Ruhr. Mais l'emploi de la systématique cristallographique et de ses indices pour la description de cette tectonique, compte tenu de la phylogenèse morphologique du réseau de dislocation, conduirait à des formules compliquées, qui ne présenteraient pas l'avantage d'une vue immédiate de la position dans l'espace, comme le permettent les notations préconisées par l'auteur.

On peut distinguer, se basant sur l'hypothèse de l'addition :

I. — Surfaces de dislocation de la sollicitation tangentielle :

- a) Surfaces TBa, de direction parallèle aux axes des plis, faisant avec les couches le plus souvent des angles de 15° à 25° , produisant toujours un redoublement des couches.
 1. Surfaces isolées : failles inverses (Wechsel) à pendage nord et sud. « Deckel » de même pendage que les couches et faisant chevaucher du plus ancien sur du plus jeune.
 2. Surfaces intégrées (Additionsflächen) : failles inverses plissées ou enroulées (mitgefaltet); parfois réunies avec des surfaces NBa.
- b) Surfaces TBI, dont l'angle avec la perpendiculaire sur la direction des plis ne dépasse pas 45° .
 1. Surfaces isolées : dislocations transversales se localisant surtout sur les flancs des anticlinaux; par rapport aux surfaces de stratification, ce sont des failles

verticales de décrochement (Blattverschiebungen), qui n'ont pas d'effet stratigraphique. Celles qui, par leur direction, se situent dans les 1^{er} et 3^e cadrans, ont un pendage ouest sur les flancs sud d'anticlinaux, un pendage est sur les flancs nord d'anticlinaux. Dans les 2^e et 4^e cadrans, elles ont pendage est sur les flancs sud d'anticlinal et pendage ouest sur les flancs nord d'anticlinal. Leur déplacement relatif est : dans les 1^{er} et 3^e cadrans bloc est vers Nord, dans le 2^e et le 4^e cadrans bloc ouest vers Nord.

2. Surfaces intégrées : forment souvent les grandes dislocations transversales ensemble avec des surfaces NBF et VBI, de directions du pendage plus ou moins identiques. Les déplacements relatifs y sont également dans 1^{er} et 3^e cadrans bloc est vers Nord, dans 2^e et 4^e cadrans bloc ouest vers Nord.

II. — Surfaces de dislocation de la sollicitation normale :

- a) Surfaces NBA : de direction parallèle à celle des axes de plis et faisant avec les couches des angles supérieurs à 45°.
 1. Surfaces isolées : failles inverses plus rares, en relation avec un plissement plus intense, dont l'effet stratigraphique est un manquant de couches. Les surfaces NBA de même pendage que les couches font chevaucher du plus jeune sur du plus ancien. De plus appartiennent aux NBA les « Schaufelflächen » et les « Deckel » de pendage contraire aux couches.
 2. Surfaces intégrées : se réunissent parfois avec des surfaces TBa.
- b) Surfaces NBF : faisant avec la perpendiculaire sur la direction des plis des angles jusque 45°.
 1. Surfaces isolées : dislocations transversales se disposant surtout dans les flancs des anticlinaux; par rapport aux couches elles ont un effet stratigraphique. Celles de direction située dans les 1^{er} et 3^e cadrans ont un pendage est sur flancs sud d'anticlinaux, un pendage ouest sur flancs nord d'anticlinaux. Dans les 2^e et 4^e cadrans le pendage est Ouest sur les flancs sud des anticlinaux, il est Est sur les flancs nord des anticlinaux. Le déplacement relatif est : dans les 1^{er}

et 3^e cadrans blocs est vers Nord, dans les 2^e et 4^e cadrans blocs ouest vers Nord; affaissements obliques (Schrägabschiebungen).

2. Surfaces intégrées : forment souvent de grandes dislocations transversales ensemble avec des surfaces TBI et VBI, de directions du pendage plus ou moins identiques. Déplacements relatifs ici également dans les 1^{er} et 3^e cadrans bloc est vers Nord, dans les 2^e et 4^e cadrans bloc ouest vers Nord; affaissements obliques.

III. — Surfaces de dislocation de la sollicitation verticale :

- a) Surfaces VBI, de direction perpendiculaire aux axes des plis.
 1. Surfaces isolées : localisées principalement dans les noyaux anticlinaux, aussi dans les noyaux synclinaux. Aucune composante horizontale dans le mouvement relatif. Ce sont les failles normales vraies (echte Sprünge).
 2. Surfaces intégrées : prises dans les grandes dislocations transversales formées par les surfaces TBI et NBf; de ce fait, superposition de composantes horizontales dans le mouvement relatif.

IV. — Surfaces de dislocation des sollicitations secondaires :

- a) Surfaces SBI, faisant un angle de plus de 45° avec la perpendiculaire sur la direction des plis.
 1. Surfaces isolées : dans le plan horizontal, effet stratigraphique très faible. Mouvement relatif principalement horizontal; celles de direction située dans les 2^e et 4^e cadrans, ce sont les « Blätter », ont comme mouvement relatif bloc sud vers Ouest; dans les 1^{er} et 3^e cadrans bloc est vers Nord; s'observent presque toujours en surfaces isolées.
 2. Surfaces intégrées : rarement avec des surfaces TBI, NBf, VBI ou leurs dislocations intégrées.

Les cadrans sont comptés ci-dessus, comme précédemment, à partir de la perpendiculaire sur l'axe des plis et dans le sens direct. Dans la systématique ne sont pas comprises les formes de la petite tectonique (Kleintektonik) comme, par exemple, les diaclases d'extension (Zugklüfte), souvent minéralisées.

En gros, la fragmentation du Carbonifère de la Ruhr se réduit à deux types de dislocation en ce qui concerne la dislocation longitudinale, et à quatre types pour la dislocation transversale. D'importance spéciale sont : la surface TBa pour la fragmentation longitudinale et les surfaces TBl et NBf pour la fragmentation transversale. Les dislocations complexes formées par intégration sont de loin prépondérantes sur les dislocations isolées. L'addition des surfaces TBl et NBf est constante; celle de surfaces VBl avec l'une des deux précédentes ou avec toutes les deux et celle de surfaces de même désignation entre elles sont communes.

Lors d'une étude dans la partie centrale du synclinal houiller de Liège, étude qui a fait l'objet d'une publication récente ⁽¹⁾, l'auteur de la présente traduction résumée eut quelque peine à s'accommoder de plusieurs conceptions tectoniques pourtant généralement admises et fréquemment défendues.

S'appuyant sur de nombreuses observations, il fut obligé d'admettre : l'importance primordiale des mouvements parallèles; la relation étroite, génétiquement indissoluble, entre cisaillement et plissement; l'unité du champ de fracturation, failles type Saint-Gilles et failles transversales y comprises; la localisation des failles transversales dans des zones de faiblesse de la fragmentation longitudinale; l'impossibilité d'admettre le concept « plat-crain plissé » tel qu'il est normalement compris (c'est-à-dire formation d'une cassure avant plissement puis plissement de celle-ci harmoniquement avec les couches intéressées).

Aussi fut-il extrêmement intéressé lorsque, peu de temps après l'achèvement de son étude, il prit connaissance de l'important travail du Docteur SEIDEL de Bochum, dans lequel il trouva un appui théorique de toutes les conceptions déduites de ses observations dans le Houiller de Liège.

Le travail du Docteur SEIDEL ouvre véritablement de nouveaux horizons au tectonicien du Houiller et nous le remercions d'avoir bien voulu qu'il soit mis à la disposition des géologues de langue française, sous forme d'une traduction, par

(1) ADERCA, B. M., 1959, Étude géologique dans la région centrale du Synclinal de Liège (Publication n° 1 du Centre National de Géologie houillère, Bruxelles).

places quelque peu résumée, mais dont nous n'avons rien omis d'autre que plusieurs exemples pris dans le gisement houiller de la Ruhr. Cette omission n'a qu'un but d'allègement quantitatif surtout que des exemples d'observation, pour chaque cas, peuvent être trouvés nombreux par quiconque s'occupe de tectonique du Houiller, dans sa propre région.

L'auteur de la présente traduction compte revenir ultérieurement sur les changements qu'il faut introduire dans la théorie tectonique du Docteur SEIDEL afin de l'adapter au bassin houiller méridional de la Belgique. Ces changements sont imposés par le fort ennoyage des plis, disposition qui conduit, contrairement à la Ruhr, à un manque de parallélisme des directions structurales sur les deux flancs d'un même pli et à un arrangement en éventail des dislocations, ainsi que nous l'avons déjà observé et décrit pour le synclinal de Liège.

B. ADERCA.

Centre National de Géologie Houillère.
Bruxelles, février-mars 1960.

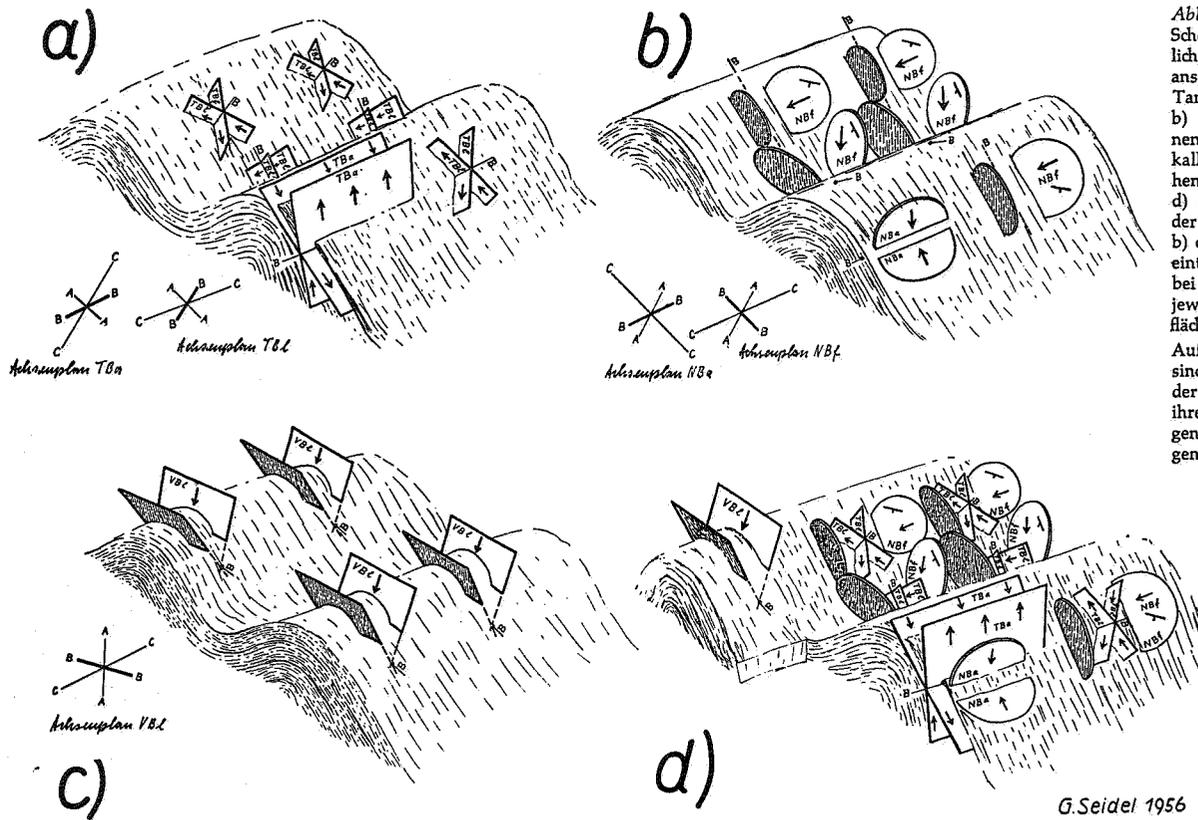


Abb. 2:
 Schema zur Veranschaulichung der bei einer Beanspruchung durch a) die Tangentialkomponente, b) die Normalkomponente und c) die Vertikalkomponente entstehenden Scherflächen. In d) sind die Scherflächen der Beanspruchungen a) b) c) in einem Bilde vereint. Die Achsenpläne bei a) b) c) zeigen die jeweilige Lage der Scherflächenschnittgerade B. Auf den Scherflächen sind die Benennungen der Flächen und die bei ihrer Entstehung vorliegenden Relativbewegungen eingetragen.

G.Seidel 1956

FIG. 2