Résumé étendu

Objekttyp: **Chapter**

Zeitschrift: **Mémoires de la Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles**

Band (Jahr): **12 (1997)**

PDF erstellt am: **23.05.2024**

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

RÉSUMÉ ÉTENDU

Géologie du Jura central et du Bassin molassique: nouveaux aspects d'une chaîne d'avant-pays plissée et décollée sur des couches d'évaporites.

INTRODUCTION

But du travail

La chaîne du Jura ainsi que le Bassin molassique sont généralement considérés comme une chaîne plissée d'avant-pays, représentant la zone de déformation la plus externe d'âge tardi-Miocène des Alpes du Nord-Ouest. La formation de cette chaîne est un sujet classique, discuté depuis le début de ce siècle par de nombreux auteurs (Fig. 1.7). Dans ce travail, plus de 1500 km de profils sismiques réflexion ont été interprétés. Ils sont localisés dans les Jura suisses neuchâtelois et vaudois, dans le Jura français et dans le Bassin molassique occidental, et ont été mis à disposition par l'industrie pétrolière (British Petroleum, Shell Switzerland, Société anonyme des Hydrocarbures, Shellrex, Fig. 1.4) et le Musée de Géologie de Lausanne. De plus, la grille sismique est contrainte par les résultats d'une vingtaine de forages. Cette analyse a permis d'approfondir nos connaissances sur la stratigraphie et la géométrie des couches enfouies et par la suite de tester différents modèles concernant la formation de la chaîne du Jura et du Bassin molassique.

La géométrie en profondeur des structures du Jura et du Bassin molassique (plis, chevauchements, décrochements) procure des informations importantes sur leur développement et sur la formation de l'avant-pays alpin. Les sujets principaux discutés dans cette thèse sont: les corrélations entre les observations géologiques de surface et les données de la subsurface, l'épaisseur stratigraphique des couches enfouies, la géométrie des plis et des chevauchements et leur développement, les relations socle-couverture et la structure du socle.

L'interprétation des profils sismiques démontre que la couverture mésozoïque et cénozoïque du Jura et du Bassin molassique a été déformée au-dessus d'un niveau de décollement basal et déplacée de quelques 20 à 25 km vers le NW. Le socle sous la région étudiée montre une surface relativement plane et plonge de quelques degrés (1° à 3°) vers le S-SE.

Situation géologique

Le Jura

Le Jura représente une chaîne d'avant-pays localisée au front de la partie Ouest de l'arc alpin (Fig. 1.1). Cette chaîne a donné son nom aux couches du Jurassique, qui affleurent essentiellement dans ces montagnes.

La chaîne du Jura est entourée par des bassins tertiaires de différents types: au Nord, le Graben (ou fossé) du Rhin, à l'Ouest le Graben de la Bresse et au SSE le Bassin molassique (Fig. 1.2). Les Grabens du Rhin et de la Bresse sont associés au rifting ouest-européen d'âge Oligocène, tandis que le Bassin molassique correspond à un bassin d'avant-pays d'âge Oligo-Miocène, qui s'est développé au front des Alpes. Le Jura et le Bassin molassique représentent la zone de déformation la plus externe et la plus jeune des Alpes occidentales.

Dans toute la Suisse, le socle est composé de roches métamorphiques et de roches plutoniques associées à l'orogenèse hercynienne. A la fin de celle-ci, de nombreux fossés (grabens) allongés se sont formés et ont été par la suite remplis par des séries lacustres et fluviatiles d'âge Carbonifère et Permien. Bien que quelques uns de ces fossés, orientés E-W, soient bien localisés grâce aux résultats des forages ou aux affleurements de massifs voisins, ils en restent encore beaucoup à découvrir sous le Jura et le Bassin molassique où les sondages sont peu nombreux. Le socle cristallin n'affleure jamais dans le Jura et le Bassin molassique. Cependant, il a été pénétré par plusieurs forages et latéralement il affleure: au Nord, dans les Vosges et la Forêt Noire et au Sud, dans les massifs cristallins externes.

Le cycle alpin commence au début du Trias avec la formation d'une pénéplaine et la transgression de la mer, lorsque les bords du Jura et le Bassin molassique commencent à faire partie de la marge passive de la mer téthysienne alpine. Au cours du Trias, plus d'un kilomètre d'évaporites et d'argiles sont déposées dans un bassin à forme légèrement elliptique avec un dépôt-centre sous le futur arc jurassien. Les calcaires

des couches du Malm forment l'ossature des plis et affleurent dans le Jura oriental et central. Cependant, les calcaires des séries du Crétacé inférieur forment les crêtes des anticlinaux du Jura occidental. Au cours de l'Oligocène et du Miocène, des sédiments fluviatiles, lacustres et marins des séries de la Molasse se sont déposés dans l'avant-pays alpin ("foredeep basin"). Ces couches transgressent progressivement vers le Nord les couches du Mésozoïque sous-jacent. L'épaisseur du prisme tertiaire décroît du Sud (plus de 4 km) vers le Nord (quelques centaines de mètres). Ces séries affleurent essentiellement dans le Bassin molassique, mais sont aussi préservées dans les synclinaux du Jura. La limite entre le Bassin molassique et la chaîne du Jura est donc une limite naturelle d'érosion.

Le Jura est divisé en deux parties dont le style structural est très différent: a) le Jura externe et b) le Jura interne (Fig. 1.2).

a) Le Jura externe consiste en des régions légèrement faillées et sans grand relief, appelées les Plateaux. Ils sont séparés les uns des autres par les Faisceaux, qui représentent des zones très étroites et fortement déformées, caractérisées par des décrochements et des imbrications.

b) Le Jura interne, aussi nommé la Haute Chaîne, consiste en une succession de plis bien développés. A grande échelle, la déformation est caractérisée par des plis, des chevauchements et des décrochements. Les plis sont en relation avec des chevauchements et leur orientation varie de 90° au sein de la chaîne. Leur continuation latérale est limitée soit progressivement par un plongement axial, soit plus brusquement par un décrochement. Des décrochements sénestres recoupent d'un fort angle les axes de plis; leur orientation dessine un éventail le long de la chaîne. Les parties septentrionales de la Haute Chaîne chevauchent les Plateaux du Jura externe, tandis que le bord méridional plonge progressivement sous les sédiments tertiaires de la Molasse.

Une troisième zone, le Jura tabulaire est souvent associée à la chaîne du Jura. Cette zone est localisée à l'extérieur de l'arc jurassien et représente la couverture mésozoïque du socle cristallin de la Forêt Noire et des Vosges. Le Jura tabulaire représente la transition des grabens du Rhin et de la Bresse au Bassin de Paris.

Le Bassin molassique

Le Bassin molassique (sensu lato) représente un bassin d'avant-pays, qui s'étend sur plus de 700 km de la Savoie (France) à l'Ouest, à la région de Linz (Autriche) à l'Est (Figs. 1.1 et 1.2). Il s'étend parallèlement au front alpin et s'ouvre progressivement vers l'Est. La sédimentation dans le Bassin a été continue depuis le début de l'Oligocène jusqu'au Serravallien. Le Bassin molassique est subdivisé en trois unités tectoniques: la Molasse du Jura, la Molasse du Plateau et la Molasse subalpine.

La Molasse du Jura représente la partie septentrionale du Bassin qui a été passivement impliquée dans le plissement du Jura. Seuls quelques affleurements de Molasse sont préservés au sein des synclinaux du Jura interne.

La Molasse du Plateau, qui constitue la partie essentielle du Bassin molassique, présente un style structural bien différent entre la région occidentale et orientale. Les plis de faible amplitude, orientés NW-SE, et les décrochements soulignent les structures principales à l'Ouest, tandis qu'à l'Est, on observe quelques failles normales orientées WSW-ENE parallèles au Basin et affectant les couches du Mésozoïque et du Cénozoïque.

La Molasse subalpine représente une zone étroite le long du bord méridional du Bassin molassique (Fig. 1.2). Cette zone est caractérisée par une succession d'écailles composées de sédiments tertiaires et décollées à la base des couches tertiaires. La limite méridionale de cette zone correspond au front alpin d'âge Oligocène, représenté par les nappes alpines (Préalpes, Helvétique, ...).

Le changement de style structural le long du Bassin molassique est influencé par la présence d'un niveau de décollement au sein des évaporites du Trias. La partie occidentale du Bassin molassique est détachée de son substratum cristallin ou Permo-Carbonifère; la déformation s'est développée du Sud en direction de la chaîne du Jura. Cependant, dans la partie orientale du Bassin molassique, il n'y a aucune évidence pour admettre un niveau de décollement, car les niveaux d'évaporites du Trias sont absents.

Conditions pour la formation de la chaîne plissée et chevauchée du Jura

La formation d'une chaîne plissée et la nature du plissement dépendent considérablement des conditions aux limites. Pour le Jura, les conditions aux limites régionales les plus importantes sont les suivantes: la présence de couches évaporitiques du Trias agissant comme zone de décollement basal; la présence d'un socle rigide plongeant de 1° à 3° vers le Sud et situé sous une zone de décollement tendre; la rhéologie des couches de la couverture: l'épaisseur des couches compétentes croît du NE vers le SE, tandis que les couches incompétentes décroissent vers le SE; la structure en forme de prisme de l'avant-pays jurassien: une faible pente plongeant vers le NW à la surface tandis qu'à la base, elle plonge vers le SE (socle); la structure en forme de prisme du Bassin molassique: l'épaisseur des couches augmente considérablement du Nord au Sud; les structures héritées d'âge Oligocène au sein de la couverture.

Formation du Jura: questions ouvertes

Le développement de la chaîne du Jura reste toujours un sujet de discussion avec deux points de vue fondamentalement différents (Fig. 1.7). Plusieurs auteurs considèrent la chaîne du Jura comme autochtone, i.e. une couverture plissée et solidaire à un socle déformé par des grands décrochements et des chevauchements intra-cristallins ou recoupant la couverture. D'autres auteurs stipulent que les plis de la couverture du Jura et les chevauchements associés se sont développés au-dessus d'un niveau de décollement et ont été déplacés sur de longues distances, grâce à la poussée des Alpes transmise à travers le Bassin molassique ("Hypothèse du Fernschub"). Bien que des arguments d'équilibrage favorisent la deuxième théorie, certains auteurs ont quand même utilisé des données sismiques pour relancer le débat et proposer un décollement au sein du socle plutôt qu'à la base de la couverture.

Données et méthodologie de travail

Les données de surface consistent en un nombre considérable de cartes géologiques publiées et non publiées (Tab. 1.1), de coupes géologiques de faible profondeur et de logs lithostratigraphiques. Les données de subsurface comportent des profils de sismique réflexion et des forages provenant de l'industrie pétrolière. Elles ont été fournies soit directement par les compagnies pétrolières, soit par le Musée de Géologie de Lausanne où sont déposés la plupart des documents concernant les activités de sismique réflexion effectuées sur le territoire du Canton de Vaud.

L'élaboration de ce travail a nécessité plusieurs étapes, dont voici les principales: compilation des données préexistantes, travaux de terrain, interprétation sismique, conversion en profondeur (mètres) des profils sismiques (en temps), cartes, coupes géologiques semi-équilibrées et équilibrées.

STRATIGRAPHIE

Unités sismiques

L'interprétation géologique d'une grille sismique est basée sur la corrélation de réflecteurs sismiques. Dans les roches sédimentaires, ces réflecteurs correspondent à des discontinuités lithologiques, qui peuvent être calibrées stratigraphiquement grâce aux informations contenues dans les logs de forages. En général, il est préférable de sélectionner des unités de stratigraphie sismique limitées par de forts réflecteurs, plutôt que de définir et de corréler chaque réflecteur sismique. Dans ce travail, huit unités sismiques comprises entre deux intenses réflecteurs (ces derniers sont numérotés par les lettres de A à I, voir Tab. 2.1) ont été définies; chacune représente un intervalle, caractérisé par une lithologie prépondérante. La discordance tertiaire basale de l'avant-pays ("basal foredeep unconformity") est la seule discordance évidente visible sur nos profils sismiques.

Les profils sismiques ont permis d'éclaircir la stratigraphie en profondeur tout particulièrement pour les couches d'âge triasique, qui n'affleurent pas dans la région étudiée. Deux unités ont été définies pour le Trias sur la base des interprétations des profils sismiques: (de haut en bas) l'Unité 1 qui surmonte l'Unité 2. L'Unité 1 est bien litée avec des réflecteurs réguliers et continus; elle montre une épaisseur à peu près constante autour de 200 m. L'Unité 2 contraste fortement avec l'Unité sus-jacente: elle présente des réflecteurs discontinus et obliques. L'épaisseur de cette Unité varie fortement d'une ligne à l'autre en fonction de la position structurale: les épaississements sont visibles sous les anticlinaux, tandis que les amincissements se localisent sous les synclinaux.

Le toit du socle correspond aux derniers réflecteurs intenses, qui contrastent fortement avec le socle cristallin d'apparence transparent (sans réflecteur). Au sein du socle, il est toutefois possible par endroit de reconnaître quelques réflecteurs, interprétés soit comme multiples, soit comme des sédiments permo-carbonifères.

Les profils sismiques longitudinaux, c'est-à-dire parallèles aux synclinaux, sont d'une grande utilité, puisqu'ils montrent des réflecteurs sub-horizontaux, nécessaires pour l'interprétation stratigraphique. Les profils sismiques transversaux, c'est-à-dire perpendiculaires aux structures, sont par contre de moins bonne qualité et montrent des réflecteurs discontinus, probablement à cause du fort pendage des couches et des structures complexes.

Cartes des isopaques

Des cartes d'isopaques (courbe de même épaisseur) ont été construites pour chaque unité du Mésozoïque au sein du Bassin molassique (Figs. 2.24 à 2.29). Les cartes d'isopaques sont basées sur la conversion en profondeur (en mètres) des profils sismiques (en temps) et calibrées sur les forages. Une vitesse sismique a été attribuée à chaque intervalle sismique (voir Appendix 3). Les cartes d'isopaques permettent de déterminer des changements, même mineurs, des épaisseurs des couches. Ces changements sont intéressants pour l'analyse des mécanismes de subsidence, ainsi que pour une réflexion sur la rhéologie des couches. Bien que ces cartes ne soient pas précises quant au taux de subsidence, elles ont l'avantage d'être basées sur une large grille sismique donnant

une haute résolution spatiale et elles permettent de révéler les tendances des variations de la subsidence et l'existence de failles syn-sédimentaires au cours du Mésozoïque.

Durant le Trias, plus de 1000 m de sédiments se sont accumulés dans la région de la future chaîne du Jura, tandis que 60 km plus au Sud, au sein des parties septentrionales du domaine Helvétique, moins de 50 m de sédiments se sont déposés au cours du même laps de temps. Malgré cette considérable variation latérale, aucune évidence pour des failles syn-sédimentaires n'a été trouvée. D'importantes variations latérales d'épaisseur dans les couches du Trias sont en relation avec la déformation d'âge Miocène et l'importante redistribution des évaporites dans ces couches. D'aspect tendre, elles ont agit comme zone de décollement durant la formation du Jura. Pendant la période du Jurassique, les variations latérales de subsidence sont significatives, mais moins importantes que celles durant le Trias; aucune tendance régionale persistante n'a été identifiée. Quelques petits changements d'épaisseurs dans la région d'Yverdon peuvent être le résultat de failles syn-sédimentaires, mais une évidence directe est obscurcie par la présence de décrochements d'âge Miocène. En guise de synthèse, durant tout le Mésozoïque, la région étudiée était un domaine avec une subsidence très lente, située entre le Bassin de Paris au Nord-Ouest et la mer alpine téthysienne au Sud.

Stratigraphie rhéologique

L'épaisseur stratigraphique et la continuité latérale des formations compétentes et incompétentes au sein d'une colonne stratigraphique joue un rôle essentiel dans l'évolution tectonique d'une chaîne plissée. La rhéologie de chaque couche dépend principalement de la composition minéralogique de la roche, de la texture et de la température de déformation. Aux conditions de déformation du Jura, la compétence pour les sédiments impliqués dans la colonne stratigraphique augmente de la manière suivante: sel, gypse, anhydrite, argile, marne, grès de la Molasse, calcaire, dolomie. Trois degrés de compétence ont été définis au sein des unités stratigraphiques étudiées (Fig. 2.30): 1) dur (forte viscosité); 2) tendre (faible viscosité); 3) très tendre (très faible viscosité). Les calcaires du Crétacé et du Malm supérieur représentent principalement les niveaux durs, tandis que les argiles et les marnes du Malm inférieur (Argovien) et du Lias, ainsi que l'Unité 1 du Trias, représentent les niveaux tendres. Enfin, les évaporites de l'Unité 2 du Trias caractérisent les niveaux les plus tendres. C'est d'ailleurs dans cette dernière Unité que se localise la zone du décollement du Jura.

STRUCTURES

L'interprétation des profils sismiques a permis de mettre en évidence deux types de plis différents: d'une part, des plis larges, de grande longueur d'onde et de faible amplitude localisés dans le Bassin molassique et les Plateaux jurassiens; d'autre part, des plis de forte amplitude, situés dans la Haute Chaîne jurassienne.

Plis associés à des évaporites: les Plateaux jurassiens et le Bassin molassique

Les plis des Plateaux jurassiens et du Bassin molassique sont remarquablement bien visibles sur les profils sismiques transversaux grâce aux changements de l'épaisseur de l'Unité 2 du Trias. Ces plis sont contrôlés par des épaississements, dus à des empilements d'évaporites appelés coussins d'évaporites ou anticlinaux d'évaporites, localisés à l'intérieur de l'Unité 2 des couches du Trias. Ces empilements d'évaporites montrent, sur certains exemples des structures en forme de duplex. Le pli de Laveron, dans les Plateaux jurassiens, présente une épaisseur de plus de 1000 m, confirmée par forage, pour les couches de l'Unité 2 du Trias et correspond au plus grand épaississement reconnu dans la région étudiée. Il faut souligner qu'aucun chevauchement et qu'aucune répétition au sein des couches du Mésozoïque, en association avec les plis, n'ont été observés sur les profils sismiques provenant du Bassin molassique et des Plateaux du Jura. Les cartes d'isopaques du Bassin molassique occidental montrent que les coussins d'évaporites sont alignés NE-SW, parallèlement à la direction des structures majeures du Jura. Les anticlinaux décrits ci-dessus sont tout à fait comparables aux plis de faible amplitude, en relation avec des épaississements de sel de Melville Island dans les territoires arctiques du Canada.

Plis associés à un chevauchement: la Haute Chaîne jurassienne (Jura neuchâtelois et vaudois, Jura français)

Les plis de grande amplitude de la Haute Chaîne jurassienne sont en relation avec des chevauchements à vergence vers le NW ou le SE. Ils montrent un déplacement d'ordre kilométrique qui se traduit par le redoublement de toute la séquence jurassique. Ces chevauchements montent depuis la zone de décollement principale (Unité 2 du Trias) à travers toute la série mésozoïque et cénozoïque. La répétition des unités de stratigraphie sismique est la principale évidence sismique pour déterminer ce type de plis.

Les Jura neuchâtelois et vaudois (région du Risoux) de la Haute Chaîne jurassienne montrent les plus beaux exemples de plis associés à des chevauchements. Dans le Jura neuchâtelois, la continuité latérale des anticlinaux est de 10 km pour la région de l'Est ou 15 km à 20 km pour la région de l'Ouest. Les anticlinaux sont orientés soit ENE-WSW ou NNE-SSW et se terminent principalement contre des failles décrochantes. La combinaison des deux orientations résulte en des structures de forme losangique, comme par exemple le Val de Ruz ou le synclinal du Locle. Au contraire, le Jura vaudois et la région du Risoux (France) présentent une structure très régulière avec des anticlinaux orientés NE-SW (Mt-Tendre, Mt-Risoux), qui s'étendent latéralement sans discontinuité majeure sur plus de 30 km.

Les décrochements

Les décrochements sont bien définis dans le Jura, car la plupart s'expriment par une dépression morphologique bien visible sur les cartes topographiques. Les décrochements les plus importants montrent un mouvement sénestre et sont orientés NW-SE dans la partie méridionale du Jura, NNW-SSE à N-S dans le Jura central (par exemple Pontarlier, La Tourne, La Ferrière-Vue des Alpes) et NNE-SSW dans le Jura oriental. Des décrochements conjugués, avec un mouvement dextre, leur sont très souvent associés. Les cartes géologiques présentent aussi des évidences pour déceler les décrochements: les axes de plis ont tendance à se terminer brusquement contre les failles décrochantes, sans présenter une corrélation évidente de part et d'autre de la faille. Les évidences géophysiques pour déterminer les décrochements sur les profils sismiques consistent en une large zone transparente (sans réflecteur), en une succession stratigraphique différente de part et d'autre de la faille et en un décalage des unités sismiques. Les principaux décrochements observés (Pontarlier, Morez, Mt Chamblon-Treycovagnes, La Ferrière-Vue des Alpes) affectent l'ensemble de la couverture mésozoïque et ne décalent pas le toit du socle d'un côté à l'autre de la faille. Aucun élément valable n'a été observé pour étendre ces failles dans le socle. Ces failles décrochantes sont alors, soit des décrochements limités à la couverture ("tear faults"), soit des rampes latérales.

SYNTHÈSE ET CONCLUSIONS

L'interprétation d'un réseau de profils sismiques a permis de réfléchir sur la formation des plis du Jura et du Bassin molassique et de présenter une évolution dans le temps. Les plis des Plateaux jurassiens, localisés dans l'avant-pays, sont interprétés comme des plis de flambage correspondant à un stade précoce de la déformation. En augmentant la déformation, une rampe se génère et ce type de pli se développe en association avec un chevauchement, comme ceux observés dans la Haute Chaîne. La déformation augmente, donc, vers l'arrière-pays au sein de la chaîne plissée et chevauchée du Jura. Dans le Bassin molassique, les plis de faible amplitude représentent, cependant, un stade précoce, qui n'a pas pu évoluer à cause de la surcharge importante des sédiments tertiaires.

Afin de synthétiser toutes les données, une carte du toit du socle (Fig. 5.1) de la région étudiée a été réalisée à l'aide des résultats de la conversion en profondeur des profils sismiques. Cette carte montre un socle plat et lisse plongeant de 1° à 3° vers le S-SE. Aucun changement important de profondeur et de direction, qui affecterait les couches de la couverture sédimentaire, n'a pu être décelé sous les décrochements principaux. Aucune relation structurale n'a pu être déduite entre la carte d'isopaques de l'Unité 2 du Trias et celle des contours du toit du socle. Le socle n'est donc pas impliqué dans la formation des plis, des chevauchements et des décrochements du Jura central et du Bassin molassique. A l'échelle de la chaîne de montagne, il existe une très bonne corrélation entre la distribution des couches du Trias et l'étendue de la couverture déformée du Jura. Il semble donc que la forme arquée de la chaîne du Jura est étroitement dépendante de la présence d'évaporites du Trias à la base de la couverture.

En conclusion, l'interprétation des profils sismiques démontre, que la couverture mésozoïque et cénozoïque du Jura et du Bassin molassique a été déformée, au-dessus d'un niveau de décollement basal, et déplacée de quelques 20 à 25 km vers le NW.