

Zeitschrift: Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen =
Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie

Band: 48 (1968)

Heft: 1: Symposium "Zone Ivrea-Verbano"

Artikel: La zone d'Ivrée au sens géophysique et ses rapports avec l'arc des
Alps occidentales

Autor: Goguel, Jean

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-37766>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 24.01.2026

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

La zone d'Ivrée au sens géophysique et ses rapports avec l'arc des Alpes occidentales

Par *Jean Goguel* (Paris)*)

Avec 2 figures dans le texte

Au sens géophysique, tout à fait distinct du sens géologique, la zone d'Ivrée est caractérisée à la fois par une anomalie positive de la gravité, et par des vitesses sismiques anormalement élevées, dès une profondeur faible.

Nous ne chercherons pas à construire un modèle, plus ou moins inspiré par des hypothèses géologiques, et qui rende compte des observations géophysiques, mais nous nous bornerons à dégager les quelques traits généraux que tous les modèles auraient nécessairement en commun.

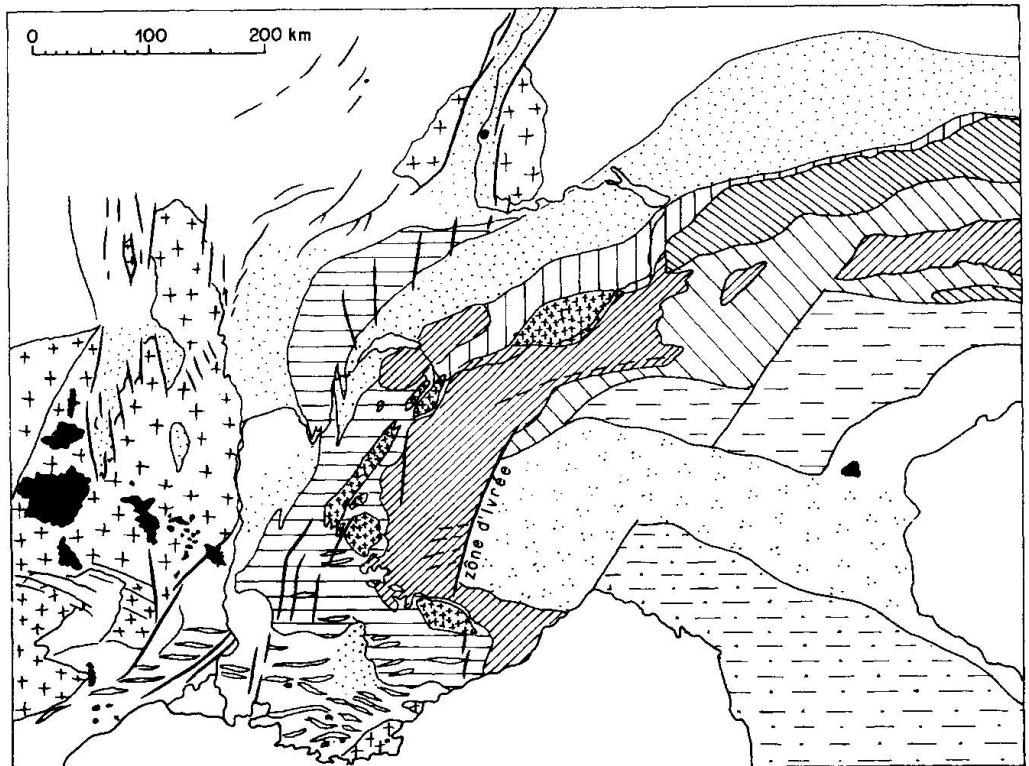
Le fait essentiel est que l'on trouve, dès une profondeur de l'ordre de 10 km, des vitesses d'ondes longitudinales de l'ordre de 7,4 km/sec, alors qu'à cette profondeur, elles ne seraient guère supérieures à 6 km/sec plus à l'W. La limite occidentale de la zone rapide est une surface qui paraît fortement inclinée vers l'W, et dont la position coïncide, d'une manière frappante, avec la lisière occidentale de l'anomalie gravimétrique. La limite orientale n'est pas connue, mais rien n'indique que la zone rapide se prolonge sous la plaine du Pô.

Dans les Alpes françaises, si la discontinuité de Conrad est peu nette, la surface de Mohorovičić, marquant le passage à des vitesses de l'ordre de 8 km/sec, a pu être située à une quarantaine de km de profondeur.

Dans l'étendue de la zone d'Ivrée, la position et même l'existence de la surface de Mohorovičić, sont beaucoup plus douteuses. Si l'une des interprétations admet son existence, ce n'est qu'au prix d'un artifice qui n'emporte pas la conviction. (Les ondes enregistrées ne se seraient pas propagées comme ondes longitudinales, mais, au départ du point d'explosion, comme des ondes transversales, et il n'y aurait pas eu d'énergie appréciable transportée par des ondes longitudinales au départ.) L'autre interprétation ne reconnaît pas de surface de Mohorovičić dans la zone d'Ivrée.

Le relief élevé des Alpes entraîne naturellement des valeurs fortement

*) Bureau des Recherches Géologiques et Minières, 100, rue du Bac, 75 Paris VIIe.



- | | |
|---|--|
| [Symbol: dots] 1 Sédimentation néogène de la plaine du Pô | [Symbol: diagonal lines] 8 Préalpes et zones penniques |
| [Symbol: small dots] 2 Sédimentation néogène mollasse | [Symbol: cross-hatch] 9 Grisonides |
| [Symbol: black area] 3 Volcanisme néogène et quaternaire | [Symbol: horizontal lines] 10 Alpes calcaires orientales |
| [Symbol: crosses] 4 Massifs paléozoïques | [Symbol: vertical lines] 11 Dinarides |
| [Symbol: stars] 5 Massifs cristallins externes | [Symbol: dashed lines] 12 Apennin |
| [Symbol: horizontal lines] 6 Chaînes subalpines et Jura | [Symbol: wavy lines] 13 Plis provençaux |
| [Symbol: vertical lines] 7 Nappes helvétiques | |

Fig. 1. Croquis tectonique des Alpes, indiquant la place qu'y occupe la zone d'Ivrée.

négatives pour l'anomalie de Bouguer, sauf cependant dans une bande NS située à l'E de Suza, où l'on trouve des valeurs positives de quelques dizaines de mgal, que l'on ne rencontre normalement qu'en bordure des mers.

Le calcul de l'anomalie isostatique comporte toujours une certaine part d'arbitraire, dans le choix du „système“ utilisé. Ici, ce choix importe peu, et tous les systèmes classiques nous donneront à peu près le même résultat: dans la majeure partie des Alpes, et en particulier dans toutes les Alpes françaises, l'anomalie isostatique est sensiblement nulle. Ses variations, une ou deux dizaines de mgal en plus ou en moins, n'ont guère de sens, car elles dépen-

draient du système utilisé, et surtout, des densités adoptées pour les calculs de corrections. Dès que nous passons la frontière italienne, tout change, et nous trouvons, sur près de 200 km de longueur, une bande étroite d'anomalie positive dépassant +100 mgal (maximum +140, mais sa valeur exacte dépend du système utilisé, et n'est donc pas très significative).

Cette anomalie positive d'Ivrée n'est que le début d'une des plus vastes zones d'anomalie gravimétrique d'Europe, qui s'étend sur toute la plaine du Pô et le N de l'Adriatique. Ici, le relief étant moindre, le système utilisé pour le calcul des anomalies isostatiques a moins d'importance: on peut décrire cette zone d'anomalie en disant qu'elle comporte, suivant un axe Turin-Ravenne, une bande d'anomalies négatives, atteignant jusqu'à 100 mgal, large d'une centaine de km.

Limitée au N au pied des Alpes, elle englobe, au S, toute la partie frontale des Appenins, dont on sait d'ailleurs qu'elle correspond à des recouvrements de nature très superficielle. L'axe de cette anomalie négative, E 30° S, fait un angle très marqué avec la direction générale des Alpes, aux environs de E à E 20° N.

Outre la zone d'anomalies positives d'Ivrée, relativement étroite et très

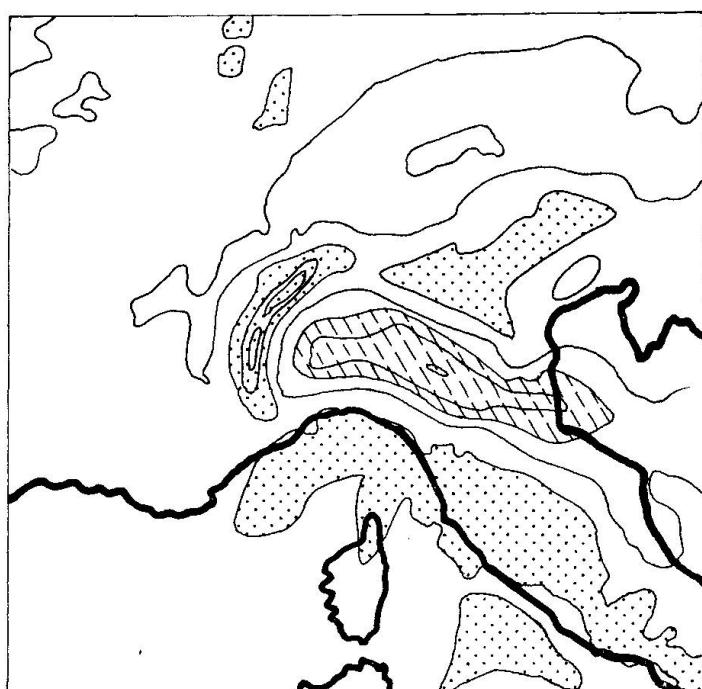


Fig. 2. Les anomalies isostatiques (Airy, 30 km) dans les Alpes et l'Italie du Nord. D'après la carte des anomalies isostatiques du Bureau Gravimétrique International au 1/10 000 000, 1962.

Les zones où l'anomalie dépasse +40 mgal sont ponctuées, celles où elle est inférieure à -40 mgal sont hachurées.

Courbes 0, ± 40 , ± 80 mgals. ± 120 .

intense, la zone négative du Pô est bordée d'anomalies positives, étendues, tant au N (Alpes Bergamasques et d'une manière générale, Dinarides, même abstraction faite de l'anomalie positive locale des Monts Euganéens), qu'au S, de Gênes à la Toscane. Au total, si on se place à l'échelle des 500 km, les excédents et les déficits de masse se compensent, et, dans l'ensemble, l'équilibre isostatique peut être considéré comme réalisé, mais en grand seulement. Dans le détail, un important système de contraintes doit exister. Il faut souligner que, du Néogène au Quaternaire, la zone du Pô n'a pas cessé de s'affaisser, ce qui signifie que le déséquilibre ne tend pas à s'atténuer et à disparaître, mais que la cause profonde qui en est responsable, quelle qu'elle soit, continue à agir.

En dehors de la plaine du Pô et de ses bordures, la totalité des Alpes, aussi bien orientales que centrales ou occidentales, sont sensiblement en équilibre isostatique.

La zone d'activité, c'est la plaine du Pô, dont les forces tectoniques provoquent l'affaissement, par rapport aux Dinarides et à l'Apennin, qui subissent le contre-coup de ces contraintes, et où les anomalies positives doivent correspondre à un certain soulèvement.

L'anomalie lourde d'Ivrée, si elle est plus intense, est aussi beaucoup plus étroite, et ne correspond au total qu'à un excédent de masse bien moindre.

Il est très frappant de voir comment la zone lourde d'Ivrée barre transversalement l'extrémité de l'anomalie légère du Pô, et la déborde très légèrement de part et d'autre. Il est difficile d'admettre que cette position soit fortuite: si nous admettons que sa tendance à l'enfoncement est, à l'heure actuelle (et depuis le Miocène), la manifestation essentielle de l'activité du système alpin, l'interruption de celle-ci vers l'W, soulignée par l'anomalie lourde d'Ivrée, en constitue l'un des caractères les plus singuliers.

L'interprétation d'une anomalie gravimétrique isostatique comporte un double aspect: d'une part, on cherche à préciser la position des densités anormales, en plus ou en moins, qui se superposent à un échelonnement de densités par couches horizontales, sur lequel la gravimétrie ne peut rien nous apprendre. D'autre part, on souhaiterait se faire une idée de la distribution des contraintes non hydrostatiques, nécessaires pour maintenir en place les structures.

Dans l'interprétation par la distribution des masses, on trouve facilement leur total, et un maximum pour leur profondeur. Si on peut faire une hypothèse sur les différences de densité, il arrive que l'encombrement qui en résulte laisse peu d'ambiguïté, dans la manière de les distribuer au dessus de la profondeur limite. Tel est le cas pour la zone d'Ivrée. Mais, pour la plaine du Pô, la largeur de l'anomalie négative est telle, que nous ne pouvons guère préciser la profondeur des variations de densité qui en sont la cause; une partie du déficit de densité correspond certainement aux sédiments néogènes et quaternaires. Le vrai problème est celui de l'interprétation dynamique; le déséqui-

libre, tant au N qu'au S, correspond à un cisaillement de l'ordre de 100 millions de tonnes par mètre. Si l'on supposait qu'un tel effort est supporté par l'écorce, il faudrait de plus y supposer un mécanisme capable de fournir de l'énergie pour continuer à enfoncer la plaine du Pô, en prenant appui sur ses bordures. Cela paraît très peu vraisemblable, et il faut plutôt imaginer que le mécanisme producteur d'énergie se situe beaucoup plus bas, donc dans le Manteau supérieur, dont l'anomalie légère du Pô doit traduire une action sur l'écorce. Il ne paraît guère possible, dans un tel schéma, de préciser beaucoup la répartition en profondeur des irrégularités de densité.

Par contre, l'étroitesse de l'anomalie d'Ivrée permet d'affirmer que les variations de densité qui la produisent, se trouvent à une profondeur moyenne de l'ordre de 20 km. Cette information sera essentielle pour la comparaison avec les modèles sismiques.

L'estimation du tonnage nécessaire pour rendre compte de cette anomalie, dépend de la manière dont on la définit. Si nous rapportons une coupe prise au N de Lanzo (qui correspond au maximum d'intensité), à une anomalie régionale passant progressivement à l'anomalie négative de la plaine du Pô, il nous faudra une section de 430 km^2 d'une roche dont la densité dépasse de 0,5 celle des roches environnantes, à répartir entre la surface et une quarantaine de km de profondeur, soit sur une largeur de 11 km. Si on définit l'anomalie, par rapport au zéro de l'anomalie isostatique, c'est à dire en considérant comme indépendante l'anomalie négative de la plaine du Pô, une section de 300 km^2 avec $\Delta \rho = 0,5$ est suffisante, la masse pouvant être répartie entre la surface et 40 km.

Gravimétrie et sismique indiquent donc la présence dans la zone d'Ivrée de roches à la fois lourdes et rapides, sur une faible largeur, à une profondeur de 10 à 30 km. On peut, d'autre part, y noter l'abondance, en surface, des „roches vertes“, non seulement dans les diverses formations volcaniques associées aux schistes lustrés, mais en grandes masses de périclases, comme celles de Lanzo, ou de serpentines qui peuvent en dériver.

Rappelons que les roches rapides, dont l'apparition caractérise la discontinuité de Mohorovičić, sont classiquement considérées aussi comme des roches lourdes, parce que les variations de profondeur de la discontinuité de Mohorovičić entre continent et océan (accessoirement dans les zones montagneuses), permettraient ainsi d'expliquer la compensation isostatique.

Pour beaucoup d'auteurs, les périclases (par exemple sous la forme d'inclusions dans les projections basaltiques) proviennent essentiellement d'au-delà de la surface de Mohorovičić.

Rappelons d'ailleurs que la „surface“ ou „discontinuité“ de Mohorovičić, apparaît surtout par la réfraction d'ondes, d'une longueur d'onde supérieure au km, et qu'elle ne permet généralement pas l'observation de réflexions des mêmes ondes; elle peut donc très bien correspondre, non à une véritable

surface de discontinuité, mais à une variation progressive des propriétés moyennes, telle qu'elle pourrait résulter de l'abondance progressivement croissante d'intrusions.

Ces rapprochements, pour frappants qu'ils puissent paraître, ne suffisent pas pour affirmer que la surface de Mohorovičić se trouve à moins de 10 km de profondeur, et encore moins qu'elle atteint la surface aux environs de Lanzo. Mais on peut envisager, avec une certaine vraisemblance, que la zone d'Ivrée soit caractérisée par l'abondance, sur une dizaine de km de large, des injections d'un matériel, essentiellement représenté par les périclithites, ou plus généralement les roches ultra-basiques, qui ne se trouve normalement qu'en dessous de la surface de Mohorovičić (qui devrait se trouver ici vers 30 à 40 km de profondeur), ceci sur une largeur d'une dizaine de km, sans doute à la faveur d'un système de cassures dont nous aurons à apprécier la signification.

L'anomalie lourde d'Ivrée barre transversalement à son extrémité la longue anomalie négative du Pô, qui traduit l'effet actuel des forces profondes, dont il faut bien admettre qu'elles sont la dernière manifestation de celles qui ont engendré les Alpes. Et cela pose la question de la terminaison occidentale de celles-ci.

Sans entrer dans trop de détails, on peut, schématiquement, envisager deux types d'interprétations :

- La première, longtemps classique, a reçu son expression la plus typique dans la série des coupes de R. STAUB, qui décrivent une structure variant d'une manière continue et progressive, mais dont l'axe, à peu près rectiligne de Vienne à la Suisse Occidentale, tourne ensuite de près de 135°, selon l'arc des Alpes Occidentales, jusqu'aux Alpes Maritimes.
- L'autre interprétation consiste à admettre que le fait essentiel de la structure alpine, de Vienne aux Alpes Penniques, c'est à dire une poussée vers le N, produisant la série des nappes superposées, s'interrompt vers W, non loin de la frontière franco-suisse. Mais cette interruption est complexe; lorsqu'elle se produit par des failles de décrochement, celles-ci sont généralement obliques, et non perpendiculaires à la direction générale, et le déferlement des nappes vers le N y produit des poussées secondaires vers l'W, dont les effets ont produit les Alpes Occidentales, avec des mouvements en coulisse des massifs cristallins externes, et le faisceau des plis de couverture des chaînes subalpines et du Jura. Il s'y superpose les nappes résultant de l'écoulement par gravité, qui se sont mises en place suivant des directions divergentes (GOGUEL, 1963).

La deuxième interprétation, par le rôle qu'elle fait jouer à des failles de décrochement N-S, évoque un rapprochement avec la manière dont l'anomalie lourde d'Ivrée coupe transversalement l'extrémité de l'anomalie légère du Pô,

dont nous avons vu qu'elle correspond à la manifestation actuelle des sources d'énergie profondes qui avaient antérieurement donné naissance aux Alpes.

Le système des failles de décrochement N-S, qui marqueraient ainsi vers l'W la fin des grands chevauchements, n'est visible dans les zones internes qu'en un point, avec la faille de Champagny en Savoie, qui limite le chevauchement vers le N du Mont Pourri. Partout ailleurs, ces failles paraissent avoir été défigurées par des compressions secondaires, ou cachées par les nappes formées par écoulement. Mais, en dehors du domaine alpin, on observe de nombreuses failles, qui paraissent appartenir au même système, à commencer par les failles du fossé rhénan. On peut y rattacher aussi les décrochements du Jura (dans la mesure où ils résulteraient de failles antérieures au plissement), les failles de la Bresse, et peut être des Limagnes, ainsi que celles qui encadrent la basse vallée du Rhône.

Si nous voulons rattacher à ce système, le groupe de cassures qui paraît avoir été à l'origine de la zone d'Ivrée (au sens géophysique), et peut-être même des accidents plus orientaux, jusqu'à la ligne Judicarienne, il faut admettre que celles-ci n'interrompent pas le faisceau des accidents alpins E-W, mais les décrochent seulement: dans le massif de Dora Maira, les structures E-W sont très développées, et elles doivent être coupées par la zone d'Ivrée.

Pour que les cassures de la zone d'Ivrée aient été injectées par les péridotites venues de la profondeur, il a fallu qu'elles aient une tendance à s'ouvrir, comme sous l'action d'une traction, à l'inverse de la faille de Champagny, transformée localement en un véritable synclinal par la compression postérieure. Cette traction relative pourrait être une conséquence du déplacement vers le Nord (ou NNW), dans la poussée alpine, des masses situées plus à W.

Cette interprétation reste encore assez hypothétique. Plutôt qu'une solution complète, elle tend à suggérer une hypothèse de travail, des voies de recherche, que des travaux de détail devraient explorer dans les secteurs cruciaux.

Dans l'étude des blocs continentaux, l'importance des linéaments, qui les découpent en blocs qui peuvent avoir connu des histoires assez différentes, n'échappe plus à personne. L'interprétation proposée revient, en somme, à chercher à les discerner aussi dans une zone montagneuse, indépendamment des directions des axes de plissement, auxquels on s'est peut-être trop exclusivement attaché jusqu'ici.

Et, d'autre part, si on accepte de voir dans la zone d'Ivrée (au sens géophysique) la trace d'un tel linéament transverse, celui-ci n'a fait que localiser un phénomène d'origine profonde, et les caractères géophysiques les plus frappants de cette zone résultent de remontées de matériel ultrabasique profond, vraisemblablement issu du manteau, et qui peut, par place, arriver jusqu'à la surface. Elle montre comment les coupures tranchées que supposent les modèles utilisés pour représenter les structures profondes du globe, même si

ils rendent assez bien compte des observations dans la majorité des cas, peuvent par place passer à des transitions, comportant un mélange de couches que l'on peut ailleurs considérer comme bien distinctes. On pourrait d'ailleurs citer nombre d'exemples de régions ou de structures, dont le caractère dominant résulte de la dissociation, accidentelle ou exceptionnelle, de phénomènes normalement liés, c'est à dire en corrélation plus ou moins forte : zones plissées non géosynclinales des chaînes subalpines, épanchements ophiolitiques du N de la Syrie débordant sur la plateforme en dehors de la zone plissée. La zone d'Ivrée, si elle représente une remontée exceptionnelle de matériel du manteau jusqu'à la surface, fournit une opportunité exceptionnelle pour son étude.

Bibliographie

- CLOSS, H. et LABROUSTE, Y. (rédacteurs) (1963): Recherches séismologiques dans les Alpes Occidentales au moyen de grandes explosions en 1956, 1958 et 1960. Année Géophysique Internationale. Participation Française, Série XII, fasc. 2, Séismologie, C.N.R.S.
- GOGUEL, J. (1963): L'interprétation de l'arc des Alpes Occidentales. Bull. Soc. géol. France 7, V, p. 20—30.