

**Zeitschrift:** Bulletin der Vereinigung Schweiz. Petroleum-Geologen und -Ingenieure  
**Herausgeber:** Vereinigung Schweizerischer Petroleum-Geologen und -Ingenieure  
**Band:** 43 (1977)  
**Heft:** 105

**Artikel:** Oxydation des calcaires mésozoïques sous la molasse du plateau suisse et paléokarst  
**Autor:** Pasquier, F. / Persoz, F.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-201811>

### **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:** 26.01.2026

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

# Oxydation des calcaires mésozoïques sous la molasse du plateau suisse et paléokarst

par F. PASQUIER\* et F. PERSOZ\*\*

## 1. Introduction

A l'Eocène, et probablement déjà au Crétacé, la mer se retire des régions jurassiennes et du plateau suisse. L'appartenance de ces régions au domaine continental se manifeste par des dépôts sidérolithiques, généralement peu épais, et/ou des surfaces d'érosion et d'altération.

L'étude des forages profonds du plateau suisse a permis à Büchi et al. (1965-2) de reconstruire la nature du substratum à cette époque: Jurassique à l'E, Crétacé de plus en plus jeune en se dirigeant vers l'W (fig. 2). Aubert (1975) a aussi démontré, dans le Jura, que la régression fini-crétacée était plus précoce à l'E qu'à l'W.

Dès l'Oligocène, la sédimentation des molasses fossilise cette ancienne surface. L'épaisseur des dépôts varie entre quelques centaines et plusieurs milliers de mètres, en fonction de l'ampleur de la subsidence à l'emplacement du plateau suisse. Ceci explique les différences de profondeur actuelles de l'ancienne surface d'érosion: entre 300 et 2400 m en ce qui concerne les forages utilisés pour cette étude.

Dans plusieurs forages, un ancien karst a été mis en évidence (Althaus, 1947; Büchi et al. 1965-1). C'est le cas notamment à Courtion ou Fischer et Luterbacher (1963) signalent l'existence, dans des fissures, de produits d'altération et de concrétions limonitiques jusqu'à une profondeur de 50 m sous l'ancienne surface d'érosion.

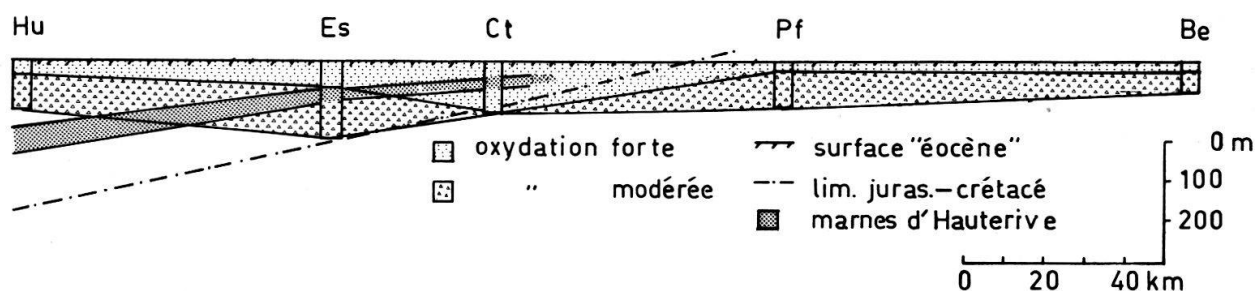


Fig. 1 Epaisseurs d'oxydation des formations mésozoïques sous la molasse du plateau suisse. Les forages suivants ont été utilisés: Humilly (Hu), Faucigny (Fau), Essertines (Es), Courtion (Ct), Pfaffnau (Pf) et Berlingen (Be).

\* Centre d'Hydrogéologie, Institut de Géologie de l'Université de Neuchâtel, Suisse.

\*\* Laboratoire de Minéralogie, pétrographie et géochimie, Institut de Géologie de l'Université de Neuchâtel, Suisse.

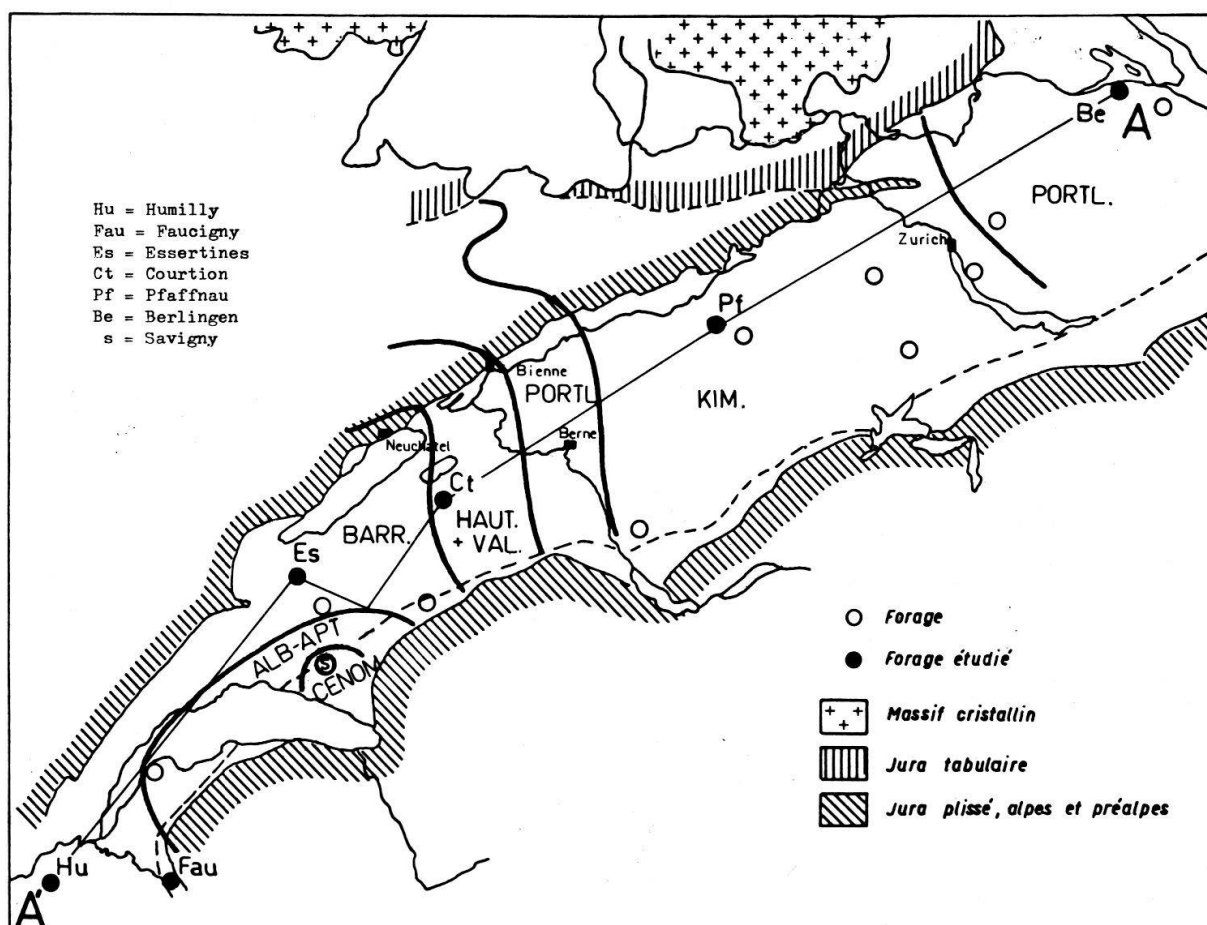


Fig. 2 Substratum du plateau suisse, d'après Büchi et al. (1965-2) et Lemcke (1963). KIM = Kimméridgien, PORTL = Portlandien, HAUT + VAL = Hauterivien et Valanginien, BARR = Barrémien, ALB-APT = Albien et Aptien, CENOM = Cénomanién.

Si l'existence d'un paléokarst à la fin du Crétacé et au début du Tertiaire est donc connue, il n'en est pas de même du volume karstifié, ni de la géométrie de cette tranche d'altération.

Une méthode minéralogique simple de localisation de la karstification est présentée dans cette note. Elle fait appel aux phénomènes d'oxydation des calcaires et repose sur l'hypothèse que les séries mésozoïques sous-jacentes à l'ancienne surface sidérolithique étaient primitivement à l'état réduit. L'oxydation pénètre les roches grâce à la circulation des eaux météoriques et se manifeste par la transformation de la pyrite en goethite, phénomène qui est bien connu dans certaines carrières où des auréoles jaune-brun soulignent sur un fond gris-bleu le réseau des fissures.

## 2. Méthode

Pyrite et goethite ont été déterminées par diffraction X sur la fraction du résidu insoluble inf. à 16  $\mu$ . La technique est exposée dans Persoz-Remane (1976). En analyse de routine, le dosage même semi-quantitatif est impossible. Les seuils de détection sont estimés à 0,1% de la roche totale dans les calcaires et 1% dans les marnes argileuses. Pyrite et goe-

thite sont exprimées par leur présence ou absence dans l'échantillon. Ces deux minéraux s'excluent dans le 95% des cas, comme l'ont démontré Persoz et Remane (1976) dans une étude portant sur 900 échantillons prélevés dans les formations à la limite Jurassique-Crétacé, dans les zones de karst récent.

### 3. Résultats

Dans les forages de Faucigny, Humilly, Essertines, Courtion, Pfaffnau et Berlingen (fig. 1 et 2), le fer, sous forme de goethite ou pyrite, est généralement présent dans plus de 50% des échantillons (tableau 1). La présence du fer sous l'une ou l'autre de ces formes est maximale dans les formations de type nettement plate-forme et diminue dans celle de type bassin, c'est-à-dire en direction de la fosse vocontienne. La même tendance a été observée sur des échantillons récoltés en affleurement ou dans des forages de faible profondeur à la limite Jurassique-Crétacé (Persoz-Remane, 1976).

L'indice d'oxydation ( $N_{\text{goethite}} / N_{\text{goethite}} + N_{\text{pyrite}}$  où  $N$  = nombre d'échantillons) varie de 0 à 1 (tabl. 2). Il est nul dans les formations du Lias, du Dogger ainsi que dans l'"Argovien", nul ou faible dans le Séquanien.

Dans la tranche oxydée, il augmente de Faucigny à Courtion (Crétacé) et de Berlingen à Pfaffnau (Malm).

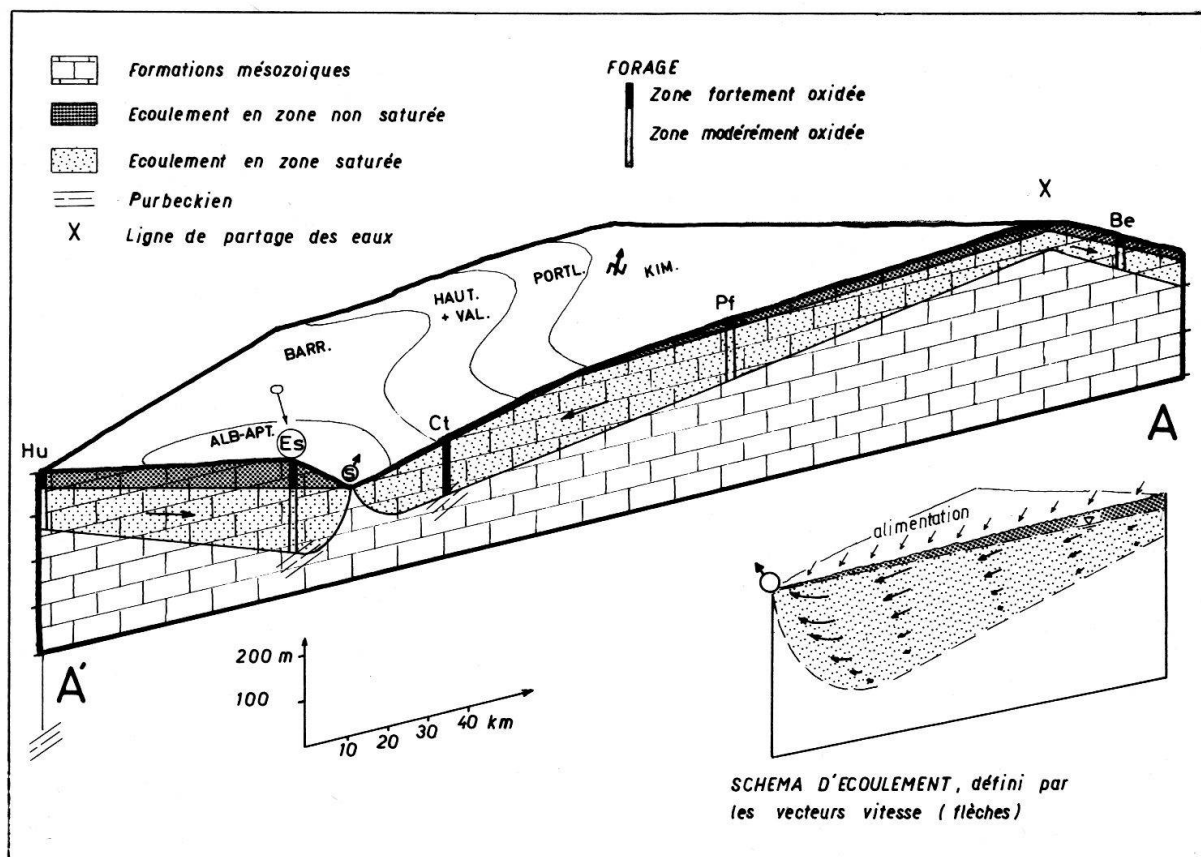


Fig. 3 Modèle d'écoulement souterrain du plateau suisse au Tertiaire pré-oligocène, selon le profil AA' de la fig. 2 (vue en perspective). Abréviations comme sur la figure 2.

En s'aidant des indices d'oxydation et de la distribution spatiale des échantillons oxydés, nous déterminons une zone supérieure fortement oxydée et une zone inférieure modérément oxydée. Ces zones d'oxydation sont reportées sur le tableau 3 et la figure 1 dans laquelle la surface éocène est représentée horizontalement.

#### 4. Discussion

L'hypothèse d'un état primitivement réduit du mésozoïque semble être confirmée par la présence exclusive de pyrite dans toutes les formations à Faucigny, dans l'Hauterivien et la presque totalité du Valanginien à Humilly. Dès lors, il est possible de considérer la zone d'oxydation comme une zone de circulation des eaux météoriques et ainsi d'interpréter les données d'oxydation en termes de karstification. Nous ne sommes cependant pas en mesure de déterminer si la distinction entre zone fortement et modérément oxydée préjuge de l'intensité de la karstification.

Nous avons admis, en première approximation, que la zone fortement oxydée se situait au-dessus du plus bas niveau d'étiage de la nappe, et la zone modérément oxydée au-dessous de ce niveau. Il est admis en effet que la karstification se développe principalement au niveau de battement de la nappe. Par ailleurs, l'intensité de la karstification dépend principalement du vecteur vitesse de filtration (Király, 1975). Ce vecteur diminue avec la profondeur, et augmente de la zone alimentaire à la zone d'exutoire en raison de la concentration des écoulements (voir schéma d'écoulement de la figure 3). Dans la zone d'exutoire, les lignes d'écoulement profondes remontent vers la surface. Dans les nappes côtières, cette remontée est facilitée par le barrage que représente l'interface eau douce/eau salée.

En période de soulèvement orogénique, la karstification entame des couches toujours plus profondes. Sa profondeur d'équilibre est probablement atteinte instantanément par rapport à la lenteur des mouvements orogéniques. On ne peut donc pas se baser uniquement sur l'orographie passée pour estimer la pente de la nappe correspondante (écoulements souterrains). La pente d'une nappe dépend du rapport entre la perméabilité du terrain et le débit d'alimentation (climat). Dans l'interprétation qui suit, les gradients de la nappe ont été ajustés de manière à obtenir une image cohérente par rapport aux épaisseurs de la zone oxydée et aux distances des exutoires. Cette image dépend des modèles orographiques choisis. Les données paléogéographiques actuelles permettent d'en présenter deux variantes.

##### *Modèles d'écoulement*

1) En se basant sur la répartition des sédiments mésozoïques conservés sous la molasse (figure 2, d'après Lemcke, 1963, et Büchi et al., 1965), on peut penser qu'au Paléocène ou à l'Eocène le plateau suisse a été coupé en deux par une dépression allongée dont l'axe plongeait vers le S, de Bienne à Savigny. Cette dépression est peut-être à mettre en relation avec le fossé rhénan, et serait due à la surélévation de la partie centrale du plateau, entre Berne et Zürich, et de sa bordure jurassienne, entre Humilly et Essertines. Quant à l'extrémité orientale du plateau suisse (Berlingen), sa surface devait être inclinée en direction du bassin bavarois, si l'on tient compte des paléogéographies du Crétacé et de l'Oligocène (Lemcke, 1970; Rutsch, 1961).

La figure 3 représente un modèle des écoulements souterrains suivant cette hypothèse orographique. On notera que l'horizon imperméable du Purbeckien influence les écoule-

ments. Ainsi à Courtion, il forme un mur de la nappe relativement peu profond, forçant au-dessus de lui les vitesses d'écoulement (zone fortement oxydée). L'absence de toute trace d'oxydation importante à Faucigny indiquerait que cette région est restée un point bas (rivage marin).

2) En se basant sur les récents travaux de Zimmermann et al. (1976) sur la "molasse d'eau douce inférieure" du plateau suisse, on peut délimiter un fossé de subsidence oligocène où se sont déposées les premières formations de la molasse (unités D2 à D4 de Zimmermann et al; sur la figure 4 on a reporté les isopaches de l'unité D2). Il serait l'analogue du sillon précédent, mais déplacé vers l'E. Au NE du plateau suisse, la mer rupélienne devait s'étendre jusqu'à une trentaine de kilomètres de Berlingen (d'après Rutsch, 1961). Les données d'oxydation peuvent également s'intégrer dans ce schéma orographique (fig. 5). Toutefois, la karstification des régions de Courtion et d'Essertines a dû être antérieure à l'état D2, représenté sur la figure, car la masse molassique relativement peu perméable a dû forcer les nappes karstiques à résurger sur son pourtour, laissant à cet endroit les zones profondes en dehors des circulations actives.

En conclusion, on peut dire que les données disponibles ne suffisent pas à établir un modèle univoque des écoulements responsables de la karstification du substratum mésozoïque du plateau suisse. Cependant, si le modèle n'est pas univoque dans le temps, il l'est

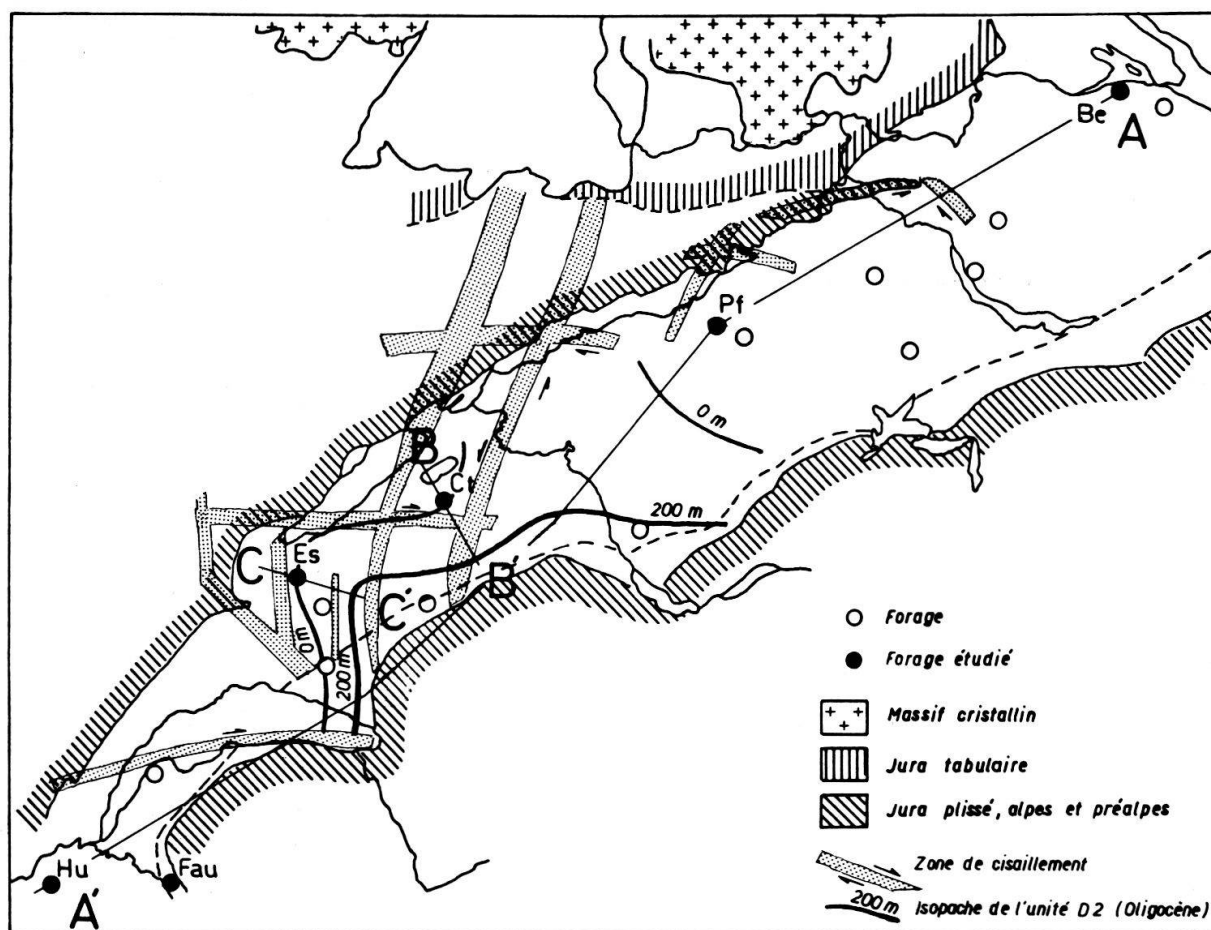


Fig. 4 Schéma tectonique du plateau suisse (Pasquier, 1976) et fossé de subsidence oligocène, défini par les isopaches de l'unité séquentielle D2 de la "molasse d'eau douce inférieure", selon Zimmermann et al, (1976).



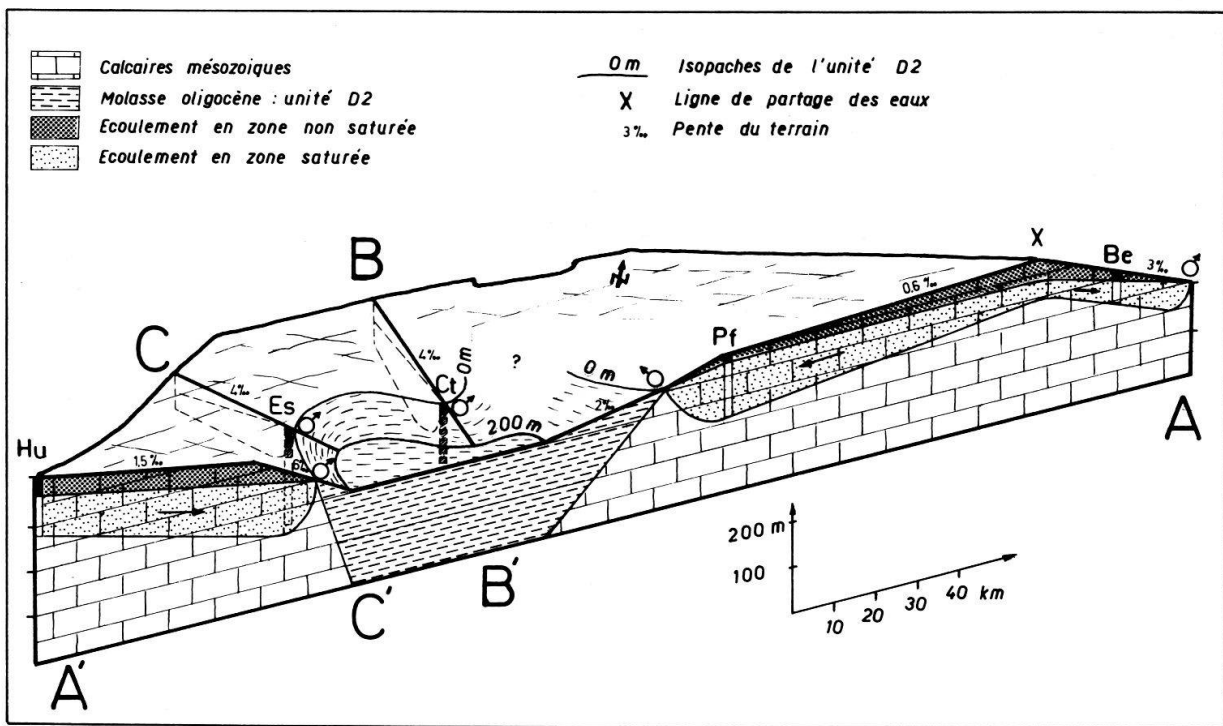


Fig. 5 Modèle d'écoulement souterrain du plateau suisse au début des dépôts molassiques oligocènes (unité D2, Zimmermann et al. 1976), selon les profils AA', BB', CC' de la figure 4 (vue en perspective). Abréviations comme sur la figure 4.

plus ou moins dans l'espace, en raison de la persistance d'un fossé de subsidence au S des lacs de Neuchâtel et de Bienne. La stabilité spatiale de ce fossé permet de supposer une zone de karstification maximale sur son pourtour amont, d'autant plus qu'aux conditions orographiques de karstification (fossé) s'ajoutent des conditions tectoniques favorables (fissuration dans les zones de grands décrochements). Cependant, la karstification est habituellement affectée d'une forte hétérogénéité, et en raison de celle-ci, nous voudrions garder sous réserve la qualité prévisionnelle des résultats de cette étude, que nous n'avons pu étayer avec suffisamment de forages.

### Remerciements

Ce travail a bénéficié d'un subside du Fonds National Suisse de la Recherche Scientifique (Req. 2.542.076 et 2.331.0.75). Les échantillons de Faucigny 1 nous ont été donnés par ESSO-REP de Bordeaux, ceux d'Humilly 2 par la SNEA(P) et PETROLES D'AQUITAINE BERNE S.A., ceux de Berlingen 1, Pfaffnau 1 et Essertines 1 par SWISSPETROL, alors que les échantillons de Courtion 1 nous ont été offerts par l'Institut de Géologie de l'Université de Fribourg.

Nous remercions chacune de ces institutions pour leur aide. Notre gratitude va aussi à Mme A. Hamoud qui a effectué les analyses et à M. le Prof. D. Aubert qui a relu le manuscrit.

Tableau 1: Fréquence de présence des formes réduites ou oxydées du fer (Nb d'échantillons à goethite et/ou pyrite sur Nb tot. échant.) basée sur l'analyse de près de 1200 échantillons.

	Fau.	Hum.	Ess.	Ct.	Pf.	Be
Crétacé	0,48	0,82	0,82	0,89	—	—
Malm	0,42	0,32	0,69	0,73	0,74	0,46
Dogger	0,45	0,92	0,81	0,95	0,96	0,78
Lias	0,88	0,80	0,93	1,00	1,00	0,83
-----						
Barrémien	0,00	0,40	0,67	—	—	—
Hauteriv. sup.	0,67	1,00	1,00	1,00	—	—
Hauteriv. inf.	1,00	1,00	1,00	0,57	—	—
Val. sup.	0,80	0,94	0,74	1,00	—	—
Val. inf.	0,60					
Purbeckien	0,50	0,88	0,32	0,33	—	—
Port. Kim.	0,39	0,19	0,90	0,53	0,52	0,40
Sequan.	0,45	0,42	1,00	0,95	0,50	0,67
Argovien		0,23	0,58	0,97	0,91	0,80
-----						
Nb échant.	111	245	278	217	143	95

Tableau 2: Indice d'oxydation (N goethite / N goethite + pyrite, N = nombre d'échantillons).

L'Oxfordien inf. (Argovien) ainsi que le Dogger et le Lias ont un indice 0.

	Fau.	Hum.	Ess.	Ct.	Pf.	Be.
Crétacé	0	0,12	0,53	0,57	—	—
Malm sup.	0	0	0,02	0,05	0,56	0,43
-----						
Barrémien	0	0,83	1,0	—	—	—
Haut. sup.	0	0	1,0	1,0	—	—
Haut. inf.	0	0	0,1	0,50	—	—
Valanginien	0	0,03	0,46	0,29	—	—
Purbeckien	0	0	0,17	0,25	—	—
Port. + Kim.	0	0	0	0	0,56	0,43
Sequanien	0	0	0	0	0,25	—



Tableau 3: Epaisseurs d'oxydation

- 1) profondeur de la surface éocène
- 2) épaisseur de la zone fortement oxydée sous cette surface
- 3) épaisseur de la zone modérément oxydée
- 4) épaisseur totale
- 5) profondeur du sommet du Malm.

	Fau.	Hum.	Ess.	Ct.	Pf.	Be.
1.	2432 m	438	336	1320	685	1475
2.	0	34	64	130	20	24
3.	0	88	140	—	115	51
4.	0	122	204	130	135	75
5.	~ 2840	812	531	1434	—	—

## Bibliographie

- ALTHAUS, H.E. (1947): Die ölführende Molasse zwischen Genfer- und Neuenburgersee. Matériaux pour la géologie de la Suisse, série géotechnique 26/1, 1-18.
- AUBERT, D. (1975): L'évolution du relief jurassien. Eclog. Geol. Helv. 68/1, 1-64.
- BUCHI, U.P., WIENER, G., HOFMANN, F. (1965-1): Neue Erkenntnisse im Molassebecken auf Grund von Erdöltiefbohrungen in Zentral- und Ostschweiz. Eclog. Geol. Helv. 58/1, 87-108.
- BUCHI, U.P., LEMCKE, K., WIENER, G., ZIMDARS, J. (1965-2): Geologische Ergebnisse der Erdöl-exploration auf das Mesozoikum im Untergrund des schweizerischen Molassebecken. Bull. Ver. Schweizer. Petrol.-Geol. und Ing. (ASP) 32, 82, 7-38.
- FISCHER, H., LUTERBACHER, H. (1963): Das Mesozoikum der Bohrungen Courtion 1 und Altishofen 1. Mat. Carte géol. Suisse NF 115, 1-40.
- KIRALY, L. (1975): Rapport sur l'état actuel des connaissances dans le domaine des caractéristiques physiques des roches karstiques. IAH Paris, Intern. Union of geol. Scient. B., 3, 53-67.
- LEMCKE, K. (1963): Die Ergebnisse der Bohrung Savigny 1 bei Lausanne. Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. Ing. 38, 78, 4-11.
- (1970): Epirogenetische Tendenzen im Untergrund und in der Füllung des Molassebeckens nördlich der Alpen. Bull. Ver. Schweiz. Petrol. u.-Ing. 37, 91, 25-34.
- PASQUIER, F. (1976): Aspects hydrogéologiques du stockage souterrain d'eau chaude en Suisse. Non publié. Rapports scientifiques et techniques sur le comportement des nappes souterraines IV/1 au FNRS, Groupe d'étude sur le comportement thermique des nappes souterraines, EPFL-UNINE.
- PERSOZ, F., REMANE, J. (1976): Minéralogie et géochimie des formations à la limite Jurassique-Crétacé dans le Jura et Bassin vocontien. Eclog. geol. Helv. 69/1, 1-38.
- RUTSCH, R.F. (1961): Zur Paleogeographie der subalpinen Unteren Meeresmolasse (Rupélien) der Schweiz, I. Teil. Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. Ing. 28, 74, 27-32.
- ZIMMERMANN, M.A., KUBLER, B., OERTLI, H.J., FRAUTSCHI, J.-M., MONNIER, F., DERES, F., MONBARON, M. (1976): "Molasse d'eau douce inférieure" du plateau suisse. Subdivision par l'indice de détritisme, essai de datation par nannofossiles. Bull. Centre Rech. Pau-SNPA, 10/2, 585-625.