

Zeitschrift: Archives des sciences physiques et naturelles
Herausgeber: Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève
Band: 3 (1921)

Artikel: La Kuckersite : étude d'un dépôt marin phytogène du silurien inférieur d'Estonie
Autor: Lindenbein, H.-A.-R.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-741085>

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: 06.02.2026

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

LA KUCKERSITE

ÉTUDE D'UN DÉPOT MARIN PHYTOGÈNE
DU SILURIEN INFÉRIEUR D'ESTHONIE

PAR

H.-A.-R. LINDENBEIN

INTRODUCTION.

Bien que plusieurs travaux sur la Kuckersite aient été publiés ces dernières années, je me propose d'exposer dans les pages suivantes, mes idées sur la genèse de cet intéressant sédiment marin phytogène. Je prendrai pour bases les observations que j'ai faites sur le terrain pendant plus de 6 mois, entre Baltisch-port et Narwa, ainsi que l'étude microscopique et chimique des matériaux rassemblés. Ce travail a été dirigé par le prof. L.-W. Collet au laboratoire de Géologie de l'Université de Genève. La nature et les caractères de l'algue marine dont l'accumulation a donné naissance à la kuckersite, ont été étudiés sous la direction du prof. R. Chodat. De cette étude de paléobotanique, publiée ailleurs (5), je ne retiendrais ici que ceux des résultats obtenus qui sont nécessaires à mon étude géologique. Enfin, l'étude chimique du sédiment organique a été effectuée dans les laboratoires du prof. Amé Pictet.

Je me fais un devoir d'exprimer à mes maîtres toute ma reconnaissance pour leurs précieux conseils et l'intérêt qu'ils

n'ont cessé de me témoigner pendant l'exécution de ce travail. Mes remerciements vont aussi à M. le prof. M. Reinhard avec qui j'ai eu d'intéressantes discussions sur la genèse du sapropèle et son étude microscopique.

I. — LE SOUS-ÉTAGE DE KUCKERS ET LA KUCKERSITE.

a) *Stratigraphie*¹. — Les sédiments esthoniens, au N. W. de la plateforme russe, se présentent en strates tabulaires inclinés de quelques pour mille vers le S. W. Les mouvements orogéniques y ont eu une influence minime et la succession schématisée de leurs dépôts se présente comme suit :

	Esthonia et Ingermanie	Grande-Bretagne
	Gothlandien	Calcaires divers
Silurien		
	» de Borkholm	Ludlow
	» Lyckholm	Wenlock
	» Wesenberg	Llandovery
	» Jewe	
	» Kuckers	
Ordovicien		
	» à Echinosphérites	Caradocian
	» Orthocères	Llandeilian
	» glauconie	Skiddavian (Arenig)
	Sables glauconieux	
	Schistes à Dictyonema	
	flabelliforme	Tremadocian
Cambrien supérieur	Sables et schistes	

L'étage de Kuckers, qui nous intéresse spécialement, est représenté par un complexe de calcaires gris bleu, en bancs, de

¹ Il ne m'est pas possible de répéter ici ce qui a été écrit sur la stratigraphie détaillée et la géologie régionale. Le lecteur que ces questions intéressent trouvera à la fin de cette étude une liste bibliographique spéciale. Dans cette liste, je soulignerai *Ueber die Oelschiefer in Esthland*, comme le meilleur complément géologique, travail dû au Dr C. Gaebert en la compagnie duquel j'ai eu l'honneur et le plaisir d'effectuer une partie du travail sur le terrain.

plus de 10 m d'épaisseur, avec intercalations de bancs plus cristallins et de couches argilo-marneuses. La roche décomposée a une coloration brun jaune qui prête alors à confusion, au toit, avec la base des calcaires de Jewe. Les couches argilo-marneuses et même d'argile plastique, entre les calcaires, ressemblent beaucoup à l'argile bleue cambrienne.

Connu en Ingérianie, le complexe n'a pas encore été signalé entre la Narowa et Jewe. A l'ouest il affleure d'une façon continue jusqu'à Baltischport et au cap Spitham où il disparaît sous la mer. Son toit est formé par des calcaires, en bancs minces, plus siliceux, chargés d'oxydes de fer et caractérisés par *Chasmops Wrangeli* (calcaires d'Itfer) tandis que le mur est plus difficile à délimiter vu la rareté des profils qui nous montrent la base de l'étage. Du côté de Réval, Hoyningen-Huene a remarqué un banc calcaire compact renfermant de nombreux salpingostomes et dont l'acceptation comme mur du complexe de Kuckers limite à cet étage la répartition des formes caractéristiques telles que *Phacops Odini*, *Cybele rex*, etc.

Les calcaires de Kuckers renferment, en couches et en imprégnations, la matière organique appelée « Kuckersite ». Dans son voisinage, les calcaires se recouvrent fréquemment d'une efflorescence blanche donnant à la roche l'aspect d'un calcaire fraîchement cassé ; si l'on brise la roche, sa couleur caractéristique plus foncée apparaît. De plus, les bancs marneux verdâtres au mur des couches donnent, si on les chauffe, une fumée et une odeur rappelant celle du pétrole brut.

La kuckersite même est une argile schisteuse, pétrie de matières organiques, au toucher gréseux, de couleur brun jaunâtre ou rouge orangé, rayable à l'ongle, de cassure esquilleuse, $D = 1,6$ environ renfermant jusqu'au deux tiers de sa masse de substances organiques. A la loupe elle a l'aspect d'un microgrès ; en séchant elle a une désagrégation schisteuse et après un séjour prolongé à l'air libre, elle se décalcifie pour donner un schiste très poreux à surface rugueuse craquelée. Au choc elle ne dégage aucune odeur ; nous désignerons par conséquent sa matière organique comme sapropélithique et non pas comme bitumineuse, gardant cette désignation pour les roches dégagées au choc une odeur fétide. A la flamme d'une allumette

la kuckersite prend feu facilement et brûle avec une flamme éclairante en répandant une odeur de naphte. Cette kuckersite renferme une quantité de fossiles à un état de conservation variable ; certaines parties sont remplies principalement de tests de trilobites, brachiopodes et bryozoaires, tantôt en fragments, tantôt entiers. On observe tous les termes de passage, entre la kuckersite franche où l'élément organique prédomine et des brèches et des calcaires où la matière organique n'apparaît que comme pigment.

Enfin les couches de kuckersite renferment des intercalations de bancs calcaires de quelques centimètres d'épaisseur développés comme brèches ou comme calcaires sapropélithiques.

b) *Extension de la kuckersite.* — On connaît actuellement des dépôts de kuckersite dans les 3 régions suivantes :

Ingermanie: Les journaux russes ont mentionné leur présence au sud du lac Ladoga, où ils paraissent diminuer et se perdre dans les calcaires. Depuis là jusqu'à la Luga, les dépôts sont connus en divers endroits et ont été mis en exploitation. Leur puissance ne le cède en rien, paraît-il, à celle de l'Estonie centrale sur une longueur de plus de 80 km et une largeur de 5 km. La situation politique m'a empêché malheureusement de contrôler ces assertions.

L'Estonie centrale dans la région entre Jewe et Wesenberg renferme les gisements les mieux connus d'une extension de 60 km. C'est là que se trouve le gisement classique de Kuckers qui a donné son nom à l'étage.

Estonie orientale: Dans la région de Réval j'ai constaté en 1918 la présence de la kuckersite dans les travaux de fortification et établi le parallélisme avec celle de l'Estonie centrale. Au point de vue technique, ces dépôts représentent un appauvrissement considérable et sont inexploitables. La zone s'étend sur 65 kilomètres, de Jaggowal à Kokka, où F. Schmidt a encore constaté sa présence le long de la voie ferrée menant à Baltischport (10).

Nous n'avons pas de données précises sur sa prolongation occidentale, cependant il est probable que les couches se continuent encore plus loin ; en effet, sur l'île d'Odensholm on retrouve les mêmes brèches rejetées par la mer. En outre,

d'après une obligeante communication du Dr v. Winkler à Réval, on a trouvé sur le domaine de Léal (au sud de Hapsal, près du Friedrichsberg) des galets de kuckersite dans le glaciaire. Enfin, dans l'île d'Oeland on remarque, d'après Tullberg et Linnarson, des calcaires gris à grain fin à Chasmops, qui renferment des fossiles comme *Atrypa dorsata*, et *Leptena imbrex* (6) (14) caractéristiques du sous-étage de Kuckers.

Les dépôts de kuckersite sont interrompus par 2 régions où on n'a pas encore trouvé d'affleurement jusqu'à présent ; la première de Jewe à Narwa est constituée par des tourbières et on ne connaît pas d'affleurement entre les calcaires à Echinospérites de Narwa et les calcaires de Jewe qui apparaissent beaucoup plus au sud en aval d'Omout sur la Narowa. Ils ont certainement été enlevés par l'érosion.

Traçant un profil à travers la seconde région comprise entre Wesenberg et Réval, nous voyons que tout cet espace est couvert par du glaciaire et que si l'érosion n'a pas creusé trop profondément, on doit retrouver la kuckersite à une profondeur de 30 à 50 mètres. La longueur minimum d'extension de la kuckersite, du lac Ladoga à Baltischport, est donc probablement de 400 kilomètres.

La largeur de la zone est beaucoup plus difficile à déterminer; d'une part à cause de son plongement vers le sud-ouest qui la cache rapidement aux observations, d'autre part à cause des irrégularités locales facilitant les erreurs d'évaluation.

La présence de nombreux galets de kuckersite, roulés dans les dépôts quaternaires que l'on observe en maints endroits (Haljal, Türpsal, etc.), prouve que cette formation s'étendait autrefois avec ses sédiments inorganiques davantage au nord. D'après les observations aux endroits favorables, la largeur de la zone actuelle est certainement supérieure à 3 km.

L'épaisseur du dépôt organique a toujours été sous-estimée. Les mesures directes exécutées dans des puits ou sur les profils les plus complets ont donné une puissance minimum de 6 mètres, sur un même profil, divisée en 5 ou 6 horizons. Les calcaires contenant de la matière organique ne sont pas pris en considération dans ce chiffre.

Des profils reconstruits au moyen de coupes partielles nous

conduisent à estimer, dans certains cas, l'épaisseur de la kuckersite de 8 à 10 mètres.

En résumé, le dépôt de la kuckersite a dû se faire sur un espace d'eau moins 400 km de longueur et plusieurs km de largeur. Il a duré pendant la sédimentation de la plus grande partie de l'étage de Kuckers.

II. — LES OSCILLATIONS DU RIVAGE SILURIEN ET LES PRINCIPAUX PROFILS.

Lamansky (4) a décrit la succession des mouvements épirogeniques du Silurien jusqu'au début de l'étage de Kuckers. Nous voyons qu'en connexion avec les mouvements qui ont amené vers la fin de la période la surrection de la chaîne calédonienne, il y a eu une série de transgressions sur la plateforme russe marquées par les schistes à Dictyonema, les sables glauconieux et les calcaires à glauconie, puis une régression considérable à la fin de ce sous-étage. Avec le calcaire à Orthocères, la mer est revenue, d'abord rapidement puis plus lentement, enfin pendant la sédimentation des calcaires à Echinospherites, il y avait dans tout le bassin russo-scandinave des conditions uniformes. Ces mouvements principaux ont été accompagnés par de nombreuses oscillations secondaires.

Les travaux de Högbom, de Wiman et de Törnebohm ont montré en outre que dans la région baltique occidentale se trouvait une terre émergée aux éruptions nombreuses limitant l'extension des organismes ; en effet, vers l'ouest, les calcaires font place à des quartzites et à des tufs volcaniques calcaires ; le calcaire à Orthocères est remplacé par un conglomérat côtier.

L'étage de Kuckers nous marque ensuite un retour vers un régime moins profond, préparant la possibilité d'expansion des algues calcaires dont nous constatons l'épanouissement dans les étages suivants.

Je vais montrer par quelques profils typiques nouveaux, la façon dont s'est opérée la sédimentation pendant l'étage de Kuckers et de quelle façon la Kuckersite est liée aux sédiments inorganiques.

Puits principal de la C° Beckel, à Paate.

De haut en bas.

	0.30	humus
	1.70	sables alluviaux ; à la base moraine de fond
	1.40	calcaire en bancs lité, désagrégé vers le haut
I	0.10	kuckersite
II	1.30	calcaire brun lité, sapropélithique vers le bas
	2.	calcaire verdâtre en gros bancs
III	0.10	kuckersite
	0.28	calcaire verdâtre
IV	0.27	kuckersite plus pure
	0.35	calcaire clair verdâtre
V	0.05	kuckersite
	0.45	calcaire brun lité
	0.10	argile plastique
VI	0.60	alternance de calcaire et de kuckersite

Des venues d'eau m'ont empêché d'observer le détail des couches.

Profil au nord de Hummala.

De haut en bas.

	0.50	humus et richk, produit de désagrégation des calcaires
I	0.50	brèche coquillère et calcaire sapropélithique décomposé
	1.50	calcaire gris lité avec efflorescence blanche
II	0.30	calcaire sapropélithique
	0.03	marne
	0.80	calcaire gris cristallin
III	0.20	calcaire sapropélithique
	1.	calcaire dur compact gris bleu
IV	0.10	calcaire sapropélithique
	0.20	calcaire compact
V	0.40	calcaire marneux sapropélithique avec brèches
	0.20	calcaire lité gris
	0.60	calcaire marneux bleuâtre
VI	0.18	calcaire sapropélithique
	1.	calcaire gris compact

On observe donc 6 cycles de sédimentation organique comme dans le profil précédent ; le détail de la couche N° 1 donne :

- 0.30 richk à calcaire non sapropélithique
- 0.05 brèche coquillère

- 0.02 kuckersite
- 0.07 calcaire sapropélithique
- 0.03 calcaire macroscopiquement non sapropélithique
- 0.03 calcaire schisteux sapropélithique
- 0.20 calcaire faiblement sapropélithique passant au
- 1.50 calcaire gris-bleu efflorescent

On observe souvent la répétition : kuckersite, brèches coquillères, calcaires purs. Ainsi à Erras Salla nous avons un profil typique inédit dû à l'obligeance du Dr W. Kronecker, de la J. Berger Tiefbau A.-G.

- 0.30 sable fin
- I 0.50 kuckersite légèrement décomposée
- 0.08 calcaire compact
- II 0.24 kuckersite alternant avec fragments calcaire
- 0.25 calcaire compact
- III 0.33 kuckersite avec intercalation de plaques calcaires en lits
- 0.12 calcaire compact
- IV 0.25 alternance de kuckersite et de calcaires
- 0.13 calcaire bleuâtre compact
- V 0.25 kuckersite avec fragments calcaires
- 0.51 calcaire lité gris

Le rapport des brèches coquillères et de la kuckersite est caractérisé dans les 2 profils suivants :

Puits principal de Wardes-Altküll.

- 0.65 calcaire lité
- 0.20 marne
- I 0.06 kuckersite
- 0.12 brèche cristalline coquillière
- II 0.08 kuckersite
- 0.10 brèche coquillière
- III 0.60 kuckersite compacte

Puits principal de Wannamois-Tolks.

- 0.30 argile glaciaire
- I 0.12 kuckersite décomposée
- 0.04 brèche coquillière
- II 0.03 kuckersite

	0.06	brèche coquillère
III	0.30	kuckersite compacte
	0.20	calcaire sapropélithique
IV	0.20	kuckersite
	0.25	alternance de kuckersite et de calcaire
	0.60	calcaire bleu compact

Un autre cycle qui s'observe souvent et répété jusqu'à 4 fois est :

Calcaire
Brèche coquillère
Kuckersite franche
Alternance de calcaire et de kuckersite
Calcaire

Pour la grande exploitation de Powando le profil général est donné par la coupe suivante :

	0.42	sable argileux avec kuckersite et galets charriés.
I	0.45	kuckersite avec fragments calcaires
	0.12	banc calcaire
II	0.50	kuckersite un peu argileuse
	0.10	banc calcaire
III	0.35	kuckersite marneuse
	0.15	calcaire généralement compact
	0.60	argile avec fragments de calcaires, contenant encore de la matière organique macroskopiquement invisible.

Les bancs calcaires ainsi que les fragments qui sont répartis dans les kuckersites n'ont pas l'aspect de galets. Ce sont des fragments aplatis et arrondis souvent disposés en lits séparés les uns des autres par la Kuckersite ou empâtés dans cette dernière ; tantôt ce sont des calcaires sapropélithiques, tantôt des calcaires bleuâtres qui se trouvent dans la masse argilo-marneuse organique. On peut donc observer tous les stades entre les couches de kuckersite compacte et ceux où elle est mêlée de fragments calcaires argileux ou gréseux pour ne subsister finalement que comme minces feuillets entre les calcaires. Au Laaksberg près de Reval, nous voyons encore le profil :

- 0.60 calcaire gris de Kuckers en bloc de 5 à 15 cm empâté dans un calcaire brun clair
- 0.80 alternance de kuckersite plus pure vers le bas avec des calcaires bleu-gris
- 0.30 calcaire gris-verdâtre compact

Tous ces profils changent du reste localement très rapidement lorsque la sédimentation n'est pas homogène : sur quelques dizaines de mètres, l'aspect peut changer complètement. La même forme de sédimentation s'observe au mur ou au toit du complexe, absolument indépendamment de la sédimentation organique ; nous n'avons cependant observé les brèches coquillères qu'en contact intime avec la kuckersite. La formation des lits de calcaires, empâtés dans la kuckersite, est certainement une forme curieuse de la décomposition des sédiments. Les dépôts eux-mêmes prouvent par leur diversité et leur variation constante qu'ils ont été soumis à des conditions de sédimentation très instables. En effet l'alternance de produits remaniés et de dépôts effectués en eaux tranquilles fournissent la preuve d'oscillations nombreuses de la terre. Par ce caractère les sédiments de l'étage de Kuckers sont fonction d'une partie des mouvements d'oscillation qui se sont produits durant toute la période silurienne.

En résumé, nous dirons que localement les dépôts ont un caractère irrégulier, mais que si l'on tient compte de leur grande aire de répartition, on constate une grande uniformité du nombre et de la caractéristique des cycles de sédimentation.

III. — ETUDE MICROSCOPIQUE ET CHIMIQUE DES DÉPÔTS PHYTOGÈNES

a) *Etude microscopique.* — L'étude microscopique, d'une série de coupes minces de sédiments caractéristiques de l'étage de Kuckers, nous permet de distinguer les types suivants :

1. *Kuckersite franche* : la matière organique prédomine et forme jusqu'à 60 % de la masse avec environ 12 % d'argile, 5 % de silice et de quartz et 23 % de carbonate de chaux.

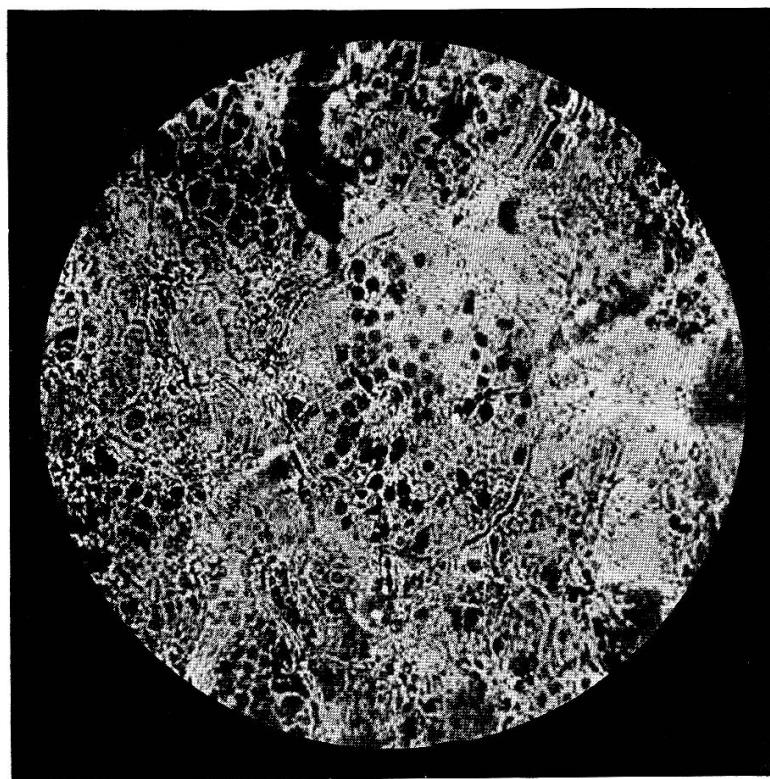


Fig. 1
Kuckersite franche de Wannamois,
montrant la distribution en colonies des cellules, soit
vides, soit remplies de sulfure de fer.
Gr. 300 X.

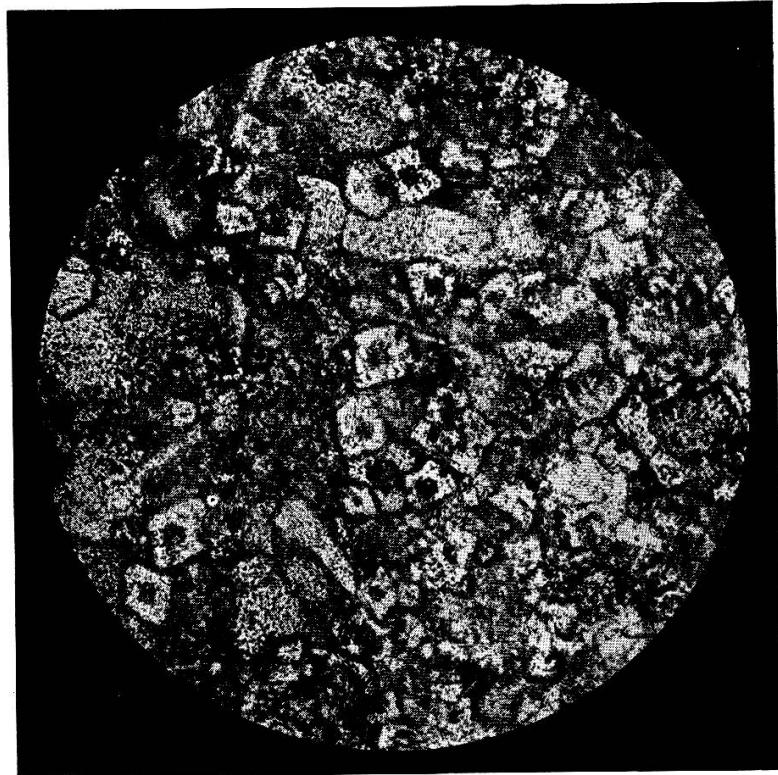


Fig. 2
Calcaire à Echinosphérites d'Asserien,
avec rhomboédres de calcite à nucléus et zônes

2. *Calcaires sableux sapropélithiques*: les algues se trouvent dans une conservation remarquable et sont réparties d'une façon très régulière dans la masse calcaire sableuse.

3. *Microbrèches calcaires, coquillères et parfois spathiques*: les dépôts irréguliers de matière organique généralement altérée sont mêlés avec les tests d'invertébrés de toutes sortes.

4. *Calcaires gréseux, spathiques ou marneux* de Kuckers. On observe cependant encore des traces de matière organique.

Ces 4 types forment les termes extrêmes entre lesquels on trouve toutes les formes de passage, mais en règle générale c'est l'un d'entre eux qui est développé. Etudiés au microscope ils présentent les caractères suivants :

Type 1. L'aspect microscopique de la matière organique dans la *kuckersite franche* est assez constant; si la coupe n'est pas trop épaisse on voit les colonies d'algues dans leurs différents stades de conservation réparties dans une gelée qui se présente sous forme de plages homogènes translucides, de couleur jaune pâle à rouge orangé. Une destruction totale des éléments figurés ne s'observe que dans les filonnets charbonneux intercalés en certains endroits dans les kuckersites. Suivant la section on voit nettement la stratification et l'aplatissement d'environ $\frac{1}{3}$, des colonies dans leur gelée qui prend ainsi une apparence fluidale. Les thalles sont de forme arrondie plus ou moins allongés, généralement isolés dans leur gelée, parfois reliés en files par des parties moins bien conservées. A l'intérieur de la masse sapropélithique on voit de nombreuses sections de tests d'invertébrés répartis en règle générale sur leur plan de stabilité. (Pl. I, fig. 1).

Type 2. *Les calcaires sapropélithiques* sont des calcaires sableux bréchiformes à grain très fin, de coloration plus claire que la kuckersite, et dont l'examen microscopique montre une répartition très régulière de colonies d'algues avec fort peu de gelée, en petits grains et amas isolés dans le calcaire. La conservation des algues est meilleure que dans la kuckersite, leur distribution dans la masse inorganique montre qu'elle a duré tout le temps de la lente sédimentation calcaire. Ces sédiments sont moins riches en fossiles et ceux-ci se trouvent comme em-

pâtés dans la masse et en meilleur état de conservation. (Pl. II, fig. 1.)

Type 3. Les *micro-brèches* sont liées intimement aux couches de kuckersite, soit dans celles-ci, soit comme terme de passage à une autre sédimentation. Le microscope montre l'absence de diagénèse ; on observe de la calcite secondaire en nids irréguliers le long de cassures. (Pl. II, fig. 2)

Ces brèches sont de deux types; dans le premier, certaines parties sont presque dépourvues de matière organique, d'autres présentent une distribution en petits amas, disposés à l'intérieur ou sous la concavité d'un fossile et paraissent s'être déposés en même temps que la brèche. D'autres parties enfin montrent une disposition de la matière organique en filaments et en placages ondulés qui se moulent aux surfaces des coquilles comme si des lambeaux de tapis gélosiques avaient été arrachés et s'étaient déposés dans la brèche par « bouffées ». En examinant ces algues à un grossissement plus fort, on constate qu'elles sont très fortement attaquées et dans certaines parties même il y a désagrégation de leur structure. Le second type de brèches est dérivé des calcaires sapropélithiques par enrichissement en coquillages (alors roulés); la distribution de matière organique y est plus régulière que dans le premier type. On observe même une cimentation des débris organiques roulés par de la kuckersite. Dans certains cristaux et fossiles, le centre est au contraire formé par un amas de substance organique végétale. Dans ces brèches, le sulfure de fer (marcassite) forme des inclusions fréquentes soit en grains, soit en plages dans la calcite ou même entraîné à l'intérieur des fossiles. Ces brèches contiennent un hâchis de tests des invertébrés les plus divers. Dans certaines coupes de filonnets de kuckersite impure, on peut voir le passage d'une formation gréseuse à une sédimentation calcaire organique à grains fins et enfin à la kuckersite typique. En un mot les brèches nous montrent la kuckersite en sédimentation allochthone.

Type 4. Les *calcaires* ressemblent au type de Kuckers déjà décrit et n'en diffèrent que par une faible teneur en matières organiques comme le montre le profil de Schamarin donné plus loin. A un grossissement moyen on peut voir encore la présence

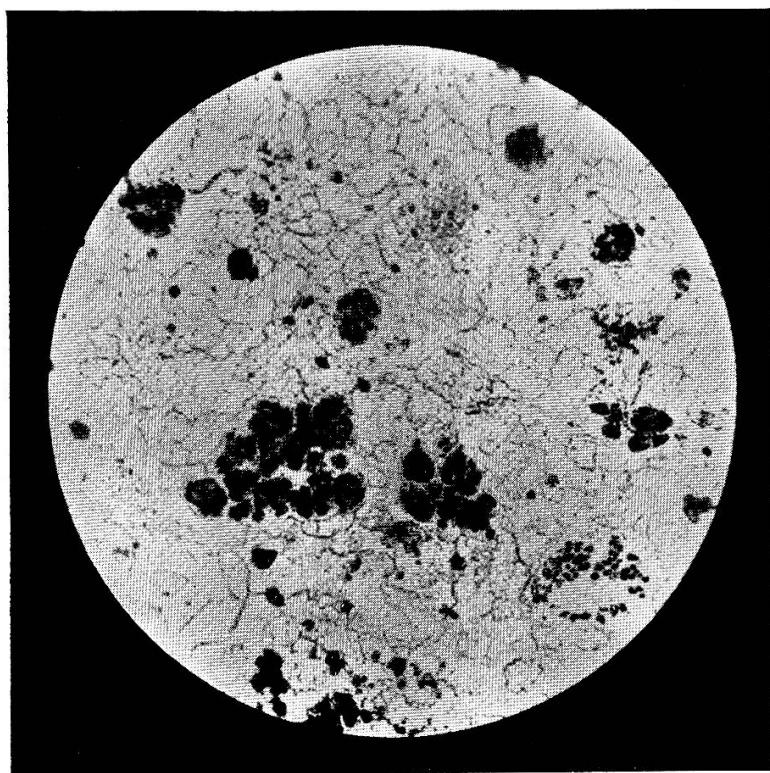


Fig. 1

Calcaire sapropélitique de Wannamois,
contenant des colonies de *Gleocapsomorpha prisca*
en croissance dichotomique.
Gr. 300 X.

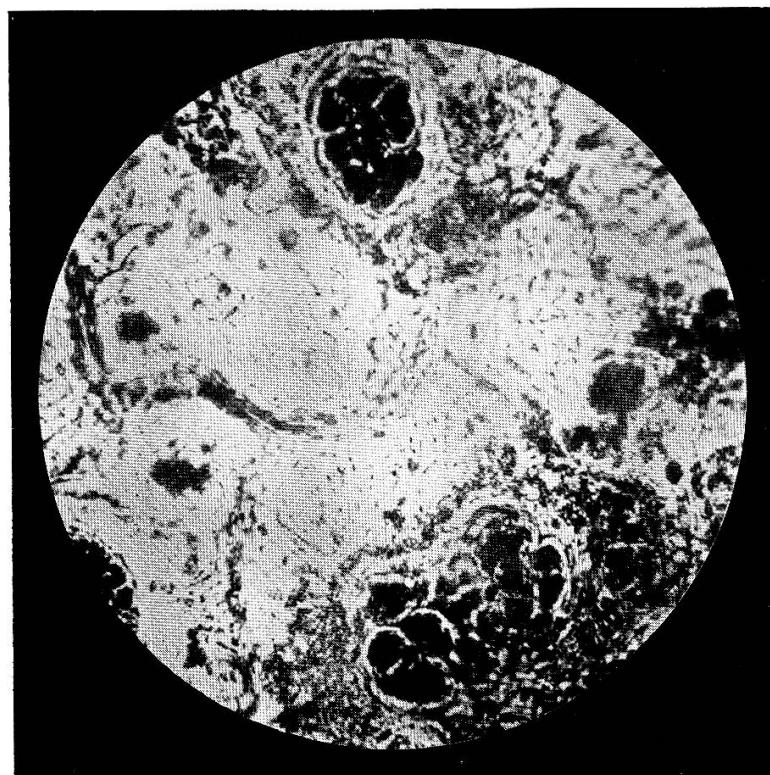


Fig. 2

Microbrèche de Türpsal,
avec des formes thalloïdes de *Gleocapsomorpha prisca*

de substance organique décomposée répartie en traînées et en petits amas entre les constituants inorganiques.

En terminant qu'on me permette d'attirer l'attention sur la présence très probable de matière organique dans des calcaires à Echinosphérites des carrières d'Asserien au nord-est de Wesenberg. Cette matière organique observée dans une coupe mince, forme très régulièrement le centre de rhomboèdres de calcite. (Pl. I, fig. 2). Généralement en noyau, la matière organique y est aussi parfois distribuée autour des zones d'accroissement des rhomboèdres. Un examen à un grossissement de 500 nous montre des plages jaunâtres décomposées ressemblant exactement aux portions de kuckersite décomposée dans les calcaires mentionnés ci-dessus.

En chauffant cette coupe à 400°, on observe que les plages jaunâtres deviennent plus foncées, surtout aux zones d'accroissement où il se produit un placage presque noir, dû vraisemblablement à la transformation de cette matière organique en goudron.

Un autre fait semble confirmer cette observation : les coupes minces des calcaires à Leperditia de la base du sous-étage à Echinosphérites d'Asserien, nous montrent de magnifiques oolithes limonitisées dont le centre est occupé par un amas de substances semblables à la kuckersite décomposée; ceci apparaît surtout en lumière polarisée, où l'oolithe devient opaque, tandis que le nucléus prend la même teinte de polarisation que la kuckersite typique examinée dans les mêmes conditions.

La présence de rhomboèdres de calcite à *contours cristallographiques très réguliers*, possédant un nucléus de substance organique, semble indiquer une précipitation chimique. Il y aurait donc eu cristallisation de carbonate de chaux autour de matière organique en suspension dans l'eau. La formation de ces rhomboèdres paraît devoir être rapprochée de celle des oolithes.

Ces observations parlent en faveur de l'existence des Proto-phycées depuis la base de l'étage à Echinosphérites; pour des raisons qui nous échappent encore, leur fossilisation en masse ne s'est produite que plus tard à l'âge de Kuckers.

Voyons maintenant le pourcentage de matière organique dans les divers horizons du profil classique de Kuckers en nous basant sur le travail de Schamarin (9).

% mat. org.		HORIZON	Puissance
1,03	I	calcaire compact gris-bleu et marne	0.60
44,96	II	kuckersite décomposée	0.30
3,55	III	calcaire compact bleu-gris	0.41
33,55	IV	kuckersite décomposée	0.20
46,65	V	kuckersite compacte	0.32
34,14	VI	calcaire sapropélithique riche	0.81
8,39	VII	calcaire compacte bleuâtre	0.26
44,65	VIII	kuckersite terreuse peu compacte	0.12
17,55	IX	kuckersite plus claire fossilière (brèche)	0.08
44,19	X	kuckersite foncée	0.16
55,85	XI	kuckersite	

Le pourcentage de matière organique dans les calcaires compacts, montre que la sédimentation de la kuckersite a duré pendant tout le sous-étage et confirme les observations au microscope de la présence de matière organique dans les calcaires bleus de Kuckers.

Les analyses de Schamarin et de Kupffer (3) ont montré une analogie complète entre l'argile qui imprègne les calcaires et les kuckersites, et l'argile bleue cambrienne. Il en est de même pour l'argile de la plupart des sédiments compris entre ces deux termes.

IV. — CONDITIONS PHYSIQUES DE LA MER BASÉE SUR LA FAUNE ET LA FLORE.

a) *La faune.* — La kuckersite, ainsi que ses brèches, est extrêmement riche en fossiles de classes et genres variés, à tous les états de conservation. Les Brachiopodes, les Trilobites sont prédominants, les Bryozoaires sont nombreux tandis que les Coelenterés Echinodermes, Lamellibranches, Gastéropodes et Céphalopodes ne jouent qu'un rôle secondaire. F. Schmidt a fait une étude très complète des Trilobites et Brachiopodes ; Bassler des Bryozoaires.

Les Bryozoaires (*Polypora furcata* Eichw. et *Thamniscus bifidus* Eichw.) sont représentés par des genres vivant à une profondeur située en dessous de la limite d'agitation due aux

vagues, ils vivaient fixés sur le dépôt et sont fossilisés en plaques d'une finesse admirable.

Les Brachiopodes articulés, exclusivement marins, vivaient probablement de préférence dans la zone sublittorale et sont les organismes les plus répandus dans la kuckersite.

Si l'on applique les lois ethologiques de Dollo (1) aux trilobites, nous voyons que la plupart d'entre eux sont adaptés à la vie benthique pour la limite inférieure de la région euphotique. Ce sont en effet des organismes à grande facilité d'enroulement, de forme assez régulière, avec pygidium petit, sans aiguillon. Les yeux sont normaux ou très développés, souvent surélevés sur des cônes ou marginaux mais jamais hypertrophiés. Certaines de ces formes sont localisées strictement dans les kuckersites. D'autres se trouvent aussi dans les calcaires, associées aux genres franchement nectiques tels que *Asaphus ludibundus* et *Illaenus limbatus*. Les genres *Cheirurus spinulus* et *C. Cephaloceras* avec leurs yeux normaux et un grand développement superficiel peuvent être des formes planctiques.

b) *La flore*. — Notre étude botanique de la kuckersite faite sous la direction du prof. R. Chodat, permet de résumer les caractères de la flore comme suit: elle est composée presque entièrement par les *Protophytées* (*Gleocapsomorpha prisca Zalessky*) (5), algues à structure massive irrégulièrement rayonnantes ne possédant pas d'organes fixateurs, mais capables de s'attacher par leur mucus basilaire au substratum vaseux sur lequel elles vivaient. Elles possèdent des caractères communs aux Rhodo- et Cyanophycées et donnent l'impression d'organismes générés dans leur développement, vivant dans des eaux peu agitées. C'est le premier terme d'un facies d'algues qui s'épanouit jusqu'à la fin de l'Ordovicien.

A côté des Protophytées on ne trouve que des débris indéterminables de plantes inférieures.

En résumé, les caractères de la faune et de la flore nous montrent que la kuckersite s'est sédimentée à une profondeur suffisamment grande pour que l'agitation des eaux ne soit plus très sensible, mais où cependant la lumière pénétrait encore suffisamment. Le fond sans être dur offrait assez de résistance pour permettre une vie benthique.

Dans le district de Réval, la faune est sensiblement la même, mais appauvrie.

V. — POSITION DE LA KUCKERSITE DANS LA CLASSIFICATION
DE POTONIÉ.

Si l'on considère les différents caractères de la kuckersite, il est difficile de placer ce sédiment dans l'une des classes de Potonié. D'un côté son grand âge, de l'autre sa conservation remarquable et l'absence de coloration noire humique sont des caractères assez divergents des caractéristiques des combustibles connus. Zalessky (16) l'a désigné comme un *saprocolle* d'âge silurien, gardant ainsi la désignation de saprocolle pour tout sapropèle durci qui s'est déposé sans gelée humique. D'après la définition de Potonié et Gothan (8) les caractères suivants parlent en faveur de cette manière de voir : Le réactif de Schulze dépose au dessus de la substance un liquide jaune qui devient jaune d'or intense tirant légèrement sur le brun par addition d'ammoniaque. Son action sur le bichromate de potasse et l'acide sulfurique est réductrice, la liqueur prend une coloration verdâtre. Le coke résiduel (env. : 15 %) n'est pas boursouflé et se transforme par combustion en une cendre poreuse très fine. Enfin nous avons constaté l'absence des hydrates de carbone caractéristiques des plantes terreuses, par contre la présence de corps gras.

Chimiquement la kuckersite est donc à placer dans la classe des sapropèles. Géologiquement elle a aussi droit à cette désignation, étant une accumulation d'algues, mais d'origine pélagochtonne et non pas, comme la plupart des sapropèles, déposé dans une eau chargée de produits humiques. — Si l'on veut garder pour la kuckersite, la désignation de *sapanthrakon* donnée par Potonié aux sapropèles primaires, il suffit d'établir que cette désignation n'implique pas une coloration noire du combustible, coloration qui peut du reste être secondaire et accidentelle comme l'ont établi les observations de Zalessky dans certaines houilles russes (15).

En résumé, la désignation de saprocolle donnée par Zalessky me paraît préférable, étant donné que l'absence de gelée humique est un caractère facilement discernable qui ne saurait prêter à confusion.

Si nous comparons la kuckersite aux charbons gélosiques (bogheads), la différence essentielle est l'absence de la trame fondamentale humique dans la kuckersite, elle est remplacée dans ce sédiment par un tissu gélosique dans lequel se trouvent encore les colonies les moins décomposées. La proportion des substances inorganiques est plus grande que dans les Bogheads et sa nature montre que le dépôt a dû se faire pendant un temps fort long. Il n'y a de plus aucune trace de spores ou de végétaux terrestres : ces derniers apparaissent d'ailleurs seulement au Devonien inférieur (11). Enfin on n'y trouve pas de coprolithes, de nodules, ni de plaquettes bitumineuses montrant une infiltration allochtone de bitumes. Chimiquement la kuckersite diffère profondément des Bogheads par sa richesse en oxygène qui manque presque totalement à ces derniers (C_2H_3 d'après Renault). La gélose de la kuckersite paraît avoir des propriétés électives pour le sulfure de fer comme on le constate dans les Bogheads d'Autun pour la *Glöïconis Borneti* vis-à-vis de la silice. Enfin la kuckersite est un dépôt marin à nombreux organismes calcaires tandis que les Bogheads de Renault et Bertrand se sont déposés dans des eaux douces acides où les organismes à test calcaire sont absents.

VI. — ETUDE CHIMIQUE DE LA KUCKERSITE ET COMPARAISON

AVEC LA HOUILLE.

Cette courte étude chimique, exécutée comme complément de nos recherches géologiques et botaniques, est destinée à donner quelques renseignements sur la parenté de ce singulier combustible avec la houille. J'ai appliqué pour cela les méthodes employées avec succès par M. le professeur Pictet et ses collaborateurs (7) dans leurs recherches fondamentales sur la composition et l'origine de la houille. Le présent travail n'est qu'une première ébauche dans l'étude des composants primordiaux

de la kuckersite dans l'espoir que les résultats seront de quelque utilité pour des recherches ultérieures plus approfondies.

J'ai employé pour l'étude chimique, la kuckersite provenant de puits creusés en 1918 par la Berger Tiefbau A. G. sur le domaine d'Erras-Salla à environ 3 mètres de profondeur et qui avait l'avantage de livrer un matériel absolument frais se présentant après quelques mois de séchage en chambre, en belles dalles brun-rougeâtre contenant encore environ 1 % d'humidité et 56 % de matière organique.

Réactions qualitatives de la kuckersite.

La kuckersite est caractérisée par sa grande inertie vis à vis des solvants et des réactifs habituels de la chimie ; en la traitant par l'acide fluorhydrique à chaud elle reste sans changement structural visible ; les acides sulfurique et chlorhydrique conc. à chaud lui donnent une couleur noirâtre sans destruction des éléments figurés.

Agitée à froid avec une pincée de kuckersite, l'eau de brome se trouve rapidement décolorée, ce qui prouve l'existence de composés non saturés dont nous verrons encore plus loin l'importance.

Analyse élémentaire de la kuckersite : Nous l'avons opérée sur la substance organique enrichie, de $d = 1,22$. La recherche des halogènes a établi des traces de ces corps sans les spécifier ; l'origine organique du soufre n'a pu être déterminée définitive-

ment à cause de l'absorption du sulfure de fer dans les replis cellulaires des algues, les dosages donnent donc le soufre inorganique et organique (la présence de thiophène dans les produits de distillation de goudron indique qu'une partie du soufre est certainement d'origine organique):(12)

La composition centésimale nous a donné, pour deux prises :

	Cendres défalquées		
a) Cendres	3,90 %	—	
C	73,68	76,67 %	
H	9,29	9,67	
O + N + S	13,13	13,66	
b) Cendres	4,20 %	—	—
C	73,87	77,11 %	73,40 %
H	9,12	9,52	9,02
O + N + S	12,83	13,37	16,58

Fokin (2) a trouvé pour la kuckersite du même endroit les valeurs mentionnées dans la troisième colonne. Notre kucker-site paraît être moins oxygénée que celle de Fokin, à moins qu'elle n'ait subi une altération par le traitement de purification.

Préparation du goudron du vide.

Nous avons d'abord fait un essai préliminaire dans un petit ballon en verre de Iéna avec tubulure latérale et thermomètre plongeant dans les vapeurs. Réfrigération au mélange glace et sel. Pression variable de 7 à 20 mm assurée par des trompes à eau.

On observe :

- 40-60° dégagement gazeux qui souffle la poussière
- 80° liquide incolore passant en très faible quantité
- 160° début du passage d'un liquide ambré qui fonce peu à peu pour distiller comme goudron épais rouge sang formant la presque totalité du destillat
- 262° fin de l'opération, arrêt de dégagement de vapeurs blanches

Nous avons obtenu à partir de 30 grammes de kuckersite :

			Houille (d'après Pictet)
Goudron	8,5 gr.	soit 28,30 %	5 %
Eau	1,5 "	5	10-15
Coke	4,6 "	15,30	50-55
Cendres	12,9 "	43	10-15
Gaz et perte	2,5 "	8,40	15-18

Le goudron du vide est un liquide brun rouge s'enflammant difficilement, extrêmement peu fluide et doué d'une forte fluorescence verte et d'une odeur très caractéristique isoprénique ; l'eau a une réaction acide, ce que l'on observe du reste aussi pour l'eau du goudron ordinaire, contrairement à celle de la houille. Le coke a une apparence spongieuse très légère ressemblant à du noir animal, il renferme des parties scoriacées à éclat métallique ; les cendres facilement écrasables ont le même aspect que la kuckersite pulvérisée. L'opération a duré en tout une heure.

Nous avons fait encore un essai comparatif de distillation sous 4 mm de pression ; il ne se forme presque point de vapeurs blanches, la température monte jusqu'à 255° où elle reste stationnaire tandis que le goudron se dégage en bloc. La limite de passage à cette pression est donc beaucoup plus serrée que sous 15 mm.

Opération définitive.

Pour obtenir la quantité de goudron nécessaire, j'ai utilisé une cornue cylindrique en cuivre de 10×20 cm et remplacé les trompes à eau qui ne donnaient pas une dépression assez rapide par une trompe à huile qui maintenait une pression de 2-25 mm dans l'appareil. La distillation s'est effectuée sur 350 grammes de kuckersite pulvérisée ; après deux heures, le passage du goudron rouge était terminé. Résultat ; 120 grammes de goudron et d'eau ; le goudron surnage et semble composé de deux couches, la principale d'une huile rouge de brome très épaisse et l'autre en très faible quantité, plus fluide. Ces deux couches se mélangent du reste après quelque temps. La fluorescence verte devient plus intense après quelques jours. Malgré

une réfrigération multiple, le goudron se trouve entraîné en dehors des réfrigérants et se condense aux coudes des conduits jusqu'à l'entrée de la trompe.

Les gaz quittant l'appareil, décolorent rapidement l'eau de brome; recueillis sous l'eau, ils brûlent avec une flamme éclairante et ont une odeur indéfinissable d'isoprène et d'hydrogène sulfuré. Les hydrocarbures gazeux arrêtés dans le brome ont été récupérés sous le vide et se présentent comme un liquide mobile de coloration rougeâtre à reflets verts. Prenant le point d'ébullition, la température monte irrégulièrement à 152° puis après ébullition, à 163° et enfin le liquide fonce peu à peu et se carbonise pendant que la température reste à 172°.

Purification du goudron du vide.

Le goudron du vide partiellement soluble dans l'alcool l'est complètement dans l'éther, aussi avons-nous utilisé ce dernier pour le purifier. 118 grammes de goudron et d'eau sont dissous dans 100 grammes d'éther. La solution est décantée et séchée sur du sulfate de soude anhydre et l'éther est chassé par distillation.

Goudron sous pression ordinaire.

Pour mieux comparer notre goudron du vide avec le goudron ordinaire, nous avons distillé 30 grammes de kuckersite sous 740 mm de pression. Le résultat obtenu nous a confirmé les résultats de Fokin : à partir de 110° commence à se dégager un gaz à odeur caractéristique et, vers 120°, début de la distillation, un liquide clair qui jaunit et prend vers 220° une couleur ambrée à reflets verdâtres ; le goudron brunit ensuite et devient rouge jusqu'à ce qu'on arrête la distillation vers 340°. Le coke résiduel est d'apparence noir asphalté, brillant, et tout différent du coke du vide. Le goudron obtenu (8 grammes) est fort différent du goudron du vide : très fluide, coloré en brun rouge avec une belle fluorescence verte, son odeur est différente aussi et rappelle davantage celle du pétrole et des hydrocarbures légers. C'est donc l'inverse du goudron de houille.

Distillation du goudron du vide.

J'ai effectué plusieurs distillations fractionnées à partir de 40 gr de goudron et sous une pression de 8 à 10 mm, en opérant dans les ballons de Claisen. On obtient :

1. à 22 degrés, commence à passer un liquide incolore jaunâtre vert.

25 degrés, l'ébullition très irrégulière au début se régularise
30 degrés, la mousse abondante diminue.

90 degrés, optimum de passage du liquide jaunâtre très limpide.

121 degrés, stationnement prolongé du thermomètre et passage d'un liquide jaune clair ; la distillation est accompagnée de faibles vapeurs blanches de décomposition si on laisse se produire une surchauffe.

133 degrés, le liquide se trouble momentanément, prend une coloration ambrée et brunie, les vapeurs blanches deviennent plus abondantes.

144 degrés, passage d'un liquide verdâtre qui se sépare en deux couches dont l'une n'est pas limpide ; après un certain temps elles entrent en solution.

160 degrés, diminution de vapeurs blanches.

176 degrés, le liquide foncé encore ; palier.

185 degrés, distillation d'un liquide brunâtre.

190 degrés, le liquide commence à devenir rougeâtre ; palier.

215 degrés, montée du thermomètre et rechute brusque, vers

250 degrés, passage d'une huile très épaisse homogène de couleur rouge rubis avec fluorescence verte.

260 degrés, la distillation diminue beaucoup ; il passe encore un peu d'huile épaisse et il y a polymérisation des résidus qui s'épaissent en un produit asphaltique.

La distillation nous a donné environ 17 gr en 4 fractions ainsi que 18 gr d'asphalte. Soumises à une température de — 15, les fractions 1 et 2 ne se congèlent pas tandis que 3 et 4 se prennent en une masse rouge rubis. Ces 4 fractions recueillies de 50 en 50 degrés nous ont donné :

1. 3 gr de liquide très mobile à odeur agréable, pénétrante de coloration jaune très pâle non fluorescent.

2. 4 gr liquide fluide couleur ambrée, odeur moins prononcée avec faible fluorescence verte.

3. 3,5 gr liquide visqueux de couleur acajou à faible odeur d'hydrocarbure.

4. 6 gr d'un liquide presque pâteux de couleur rouge rubis avec forte fluorescence verte et odeur très faible.

Les quatre portions décolorent instantanément l'eau de brome à froid avec formation d'une huile résineuse ; le brome pur réagit violemment. Il se forme des vapeurs blanches et un corps gazeux à odeur piquante. Avec le permanganate de potasse en présence d'acide sulfurique il y a décoloration énergique ; les 4 fractions sont solubles dans l'alcool et l'éther.

Composition du goudron du vide.

Nous avons cherché à séparer le goudron du vide en ses différentes catégories chimiques d'après la méthode employée par Pictet et ses collaborateurs pour le goudron de houille : 40 gr de goudron du vide purifié nous ont donné les résultats suivants :

Les *bases* ont l'odeur caractéristique du pyrrol et de la pyrrolidine ; elles se présentent comme un liquide brun mobile : résultat : gr 0,09 = 0,23 %.

La séparation des parties acides et phénoliques donne les *phénols* bruts sous forme d'un goudron visqueux à odeur caractéristique :

Résultat : gr 8,57 = 21,42 % de phénols.

Comme *acides* et phénols solubles dans les alcalis : on obtient un goudron noirâtre immobile à odeur rance : 1,35 gr = 3,35 %.

Les *alcools*, séparés par le sodium donnent des traces d'un liquide légèrement huileux brun rougeâtre :

Résultat : gr 0,10 = 0,25 % d'alcools.

Séparation des hydrocarbures : La solution éthérée résiduelle renfermant les hydrocarbures est séchée et distillée. Nous avons récupéré pour cette opération 24 gr d'hydrocarbures dont nous avons traité la moitié par la méthode d'Edeleanu avec 70 cm³ d'SO₂ liquide, quantité devant suffire à opérer la séparation. La

méthode ne nous a malheureusement donné aucun résultat, l'hydrocarbure paraissant se dissoudre complètement dans SO² liquide, et le liquide devient si foncé qu'il est impossible d'observer une séparation. Nous avons répété plusieurs fois cette tentative sans succès. Pour nous assurer encore que ces hydrocarbures se comportent vraiment comme non saturés, nous avons opéré sur une portion par un mélange de 2 vol. H₂SO⁴ $d = 1,84 + 1$ vol H₂SO⁴ avec 7 % SO³, mais la solution s'est montrée parfaitement homogène sans aucune séparation. Si la méthode d'Edeleanu, d'un emploi général pour la séparation des hydrocarbures du pétrole, est applicable au goudron de la kuckersite, il faut admettre que son goudron du vide est formé essentiellement d'hydrocarbures non saturés dont la grande proportion était déjà évidente par nos recherches précédentes. L'absence d'hydrocarbures saturés est un point essentiel différenciant ce goudron de celui de la houille qui en contient toujours une forte proportion.

Comme résumé de la composition du goudron donnons le tableau ci-dessous :

Kuckersite		Houille (d'après Pictet)
1,34 gr	3,35 %	Acides
8,57	21,42	Phénols } indéterminés
0,10	0,23	Bases 0,2 %
0,09	0,25	Alcools 2
29,90	74,74	H. non saturés 68
—	—	H. saturés 30

Analyse du goudron du vide.

Comparons la combustion du goudron du vide avec les résultats de Fokin :

Goudron du vide	Goudron de kuckersite sous pression ordinaire (Fokin)
C 83,31 %	C 81,85 %
H 9,76	H 10,50
O + N + S 6,93	O + N + S 7,65

Laissé à l'air, le goudron du vide perd rapidement du poids ; après 18 heures, il en perd le 15 % et reste alors fixe.

Goudrons d'extraction: J'ai cherché à comparer à la houille de Montrambert le pouvoir dissolvant du benzène et de l'acide acétique sur la kuckersite, en épuisant ce corps pulvérisé au Suxhlet.

L'*acide acétique glacial* dissout au bout de 6 heures, le 4 % de la kuckersite. L'attaque porte surtout sur les parties gélifiées, et le résidu a une coloration plus foncée; il se prête particulièrement bien à l'étude microscopique. Le chloroforme, qui dissout à froid une très faible quantité de la kuckersite, n'extrait plus rien de ce résidu. Le goudron obtenu est très épais et a l'aspect d'asphalte.

Le *benzène* extrait une quantité très faible de la kuckersite. Après 48 heures d'ébullition au Suxhlet, on récupère 0,2 % de la masse sous forme d'une huile dorée à odeur agréable de laque, qui ne précipite pas par l'éther de pétrole.

Nous voyons donc par ces essais que la kuckersite cède des quantités variables de sa masse aux divers dissolvants. Pour l'extrait benzénique, la quantité cédée correspond sensiblement à celle cédée par la houille de Montrambert (0,25 %). La dissolution ne porte cependant que sur les portions organiques intercellulaires comme on peut s'en rendre compte en contrôlant l'expérience au microscope; l'acide acétique glacial par contre attaque déjà les éléments figurés.

Produits d'oxydation de la kuckersite.

L'application de la méthode de Schulze utilisée en botanique pour ramener les charbons au stade de tourbe nous a donné des résultats intéressants: si l'on ajoute à un mélange de KClO_3 et HNO_3 conc. de la kuckersite pulvérisée, elle subit en quelques heures et déjà à froid un éclaircissement et prend une teinte orange pour passer peu à peu au jaune citron. A chaud et en agitant, cette oxydation est obtenue en une heure. L'oxydation étant plus ou moins énergique d'après le temps et les proportions du réactif, au moment jugé propice on verse le mélange dans un grand excès d'eau; il se forme une émulsion; une fois déposée on filtre, lave et sèche avec précaution. Suivant le traitement préalable de la kuckersite soumise à l'oxydation, on

obtient des produits un peu différents. Nous avons obtenu 3 stades principaux :

1. *Produit jaune pulvérulant*: à partir de la kuckersite purifiée contenant 4,45 % de cendres mélangée avec 6 gr de KClO_3 et mise au bain-marie après addition d'acide nitrique concentré. Il se produit une vive effervescence et une mousse abondante avec dégagement de vapeurs de chlore et nitreuses. Après une heure la kuckersite a pris une couleur jaune orange. Après 12 heures et une nouvelle addition de KClO_3 elle devient de couleur jaune citron et flotte en agrégats floconneux dans le liquide. Après 48 heures elle s'est rassemblée en une croûte jaune qui flotte sur le liquide. Filtrée et lavée, la masse jaune se boursoufle en séchant vers 100 degrés et fond en une masse semblable à du soufre fondu en dégageant une forte odeur de rance. L'analyse nous a donné ce résultat :

Cendres défalquées			
Cendres	2,85 %	—	
C	50,31	51,78 %	$\text{C}/\text{H} = 8,6$
H	5,78	5,94	
N	1,71	1,80	
S	traces	—	$\text{C}/\text{O} = 1,3$
O	39,45	40,50	

Sous le microscope, on devine encore des assemblages cellulaires, mais la plus grande partie de la substance est transformée en plaques amorphes; à la flamme elle fond et brûle facilement.

2. *Produit blanc amorphe*: Nous avons ensuite oxydé la kuckersite résiduelle du traitement à l'acide acétique glacial contenant encore 16,6 % de cendres; en la traitant de la même façon que la précédente il est frappant de constater que l'éclaircissement se produit beaucoup plus rapidement: après une heure déjà, le produit est jaune très pâle, puis se divise en filaments dans le liquide et tend à se rassembler au fond où il prend après 48 heures un aspect pulvérulent et devient blanc. La filtration est rendue difficile parce que l'eau chaude ramollit la substance comme de la gutta-percha. Une fois séchée et pulvérisée le produit ressemble à de la farine. Sa combustion donne le résultat :

Cendres défalquées

Cendres 16,6 %	—	
C	29,50	35,37 % C/H = 14
H	2,06	2,47
N	0,61	0,73 C/O = 0,57
O + S	51,23	61,43

La cendre est rosée, poreuse, ferrugineuse ; au microscope on n'observe plus aucune structure figurée.

3. *Produit cireux* : afin de voir si l'on pouvait pousser l'oxydation encore plus loin, nous avons repris la kuckersite résiduelle du traitement à l'acide acétique pour enlever la majeure partie des corps inorganiques par l'acide florhydrique, 2 gr 5 de la poudre ont été mélangés avec 5 gr de chlorate et l'acide nitrique concentré, puis mis au bain-marie et chauffé pendant une semaine en ajoutant de temps à autre des produits oxydants. Au bout de ce temps la kuckersite a perdu toute structure, fond et se rassemble en une masse amoéboïde. Après filtration et lavage, nous obtenons 1 gr 7 d'une masse cireuse jaune verdâtre, tendre, qui fond et s'enflamme facilement. L'analyse donne :

Cendres	3,52	—	
C	33,90	35,14 %	C/H = 8
H	4,47	4,62	
O	58,12	60,24	C/O = 0,58

Ce produit ne renferme plus ni N ni S ; la cendre est très légère et absolument blanche.

Ces différentes substances n'ont pas de point de fusion fixe, elles s'amollissent vers 100° et se boursoufle vers 160° en se transformant en goudron. L'alcool et l'éther sont des solvants faibles pour les produits 1 et 2 tandis que 3 y est entièrement soluble en donnant un liquide laiteux ; par contre, 3 est insoluble dans le tétrachlorure de carbone qui dissout la plus grande partie de 1 et 2 ; ces derniers sont fortement attaqués par la pyridine et les alcalis dilués en prenant une teinte jaune. Par récupération de ces produits d'extraction dans le vide on obtient des huiles brunâtres qui indiquent que ces composés sont loin d'être homogènes.

*Différence chimique entre la houille et la kuckersite.**Goudron du vide.*

Houille	Kuckersite
Fluide, odeur de pétrole	Très visqueux, odeur d'isoprène
5 % de goudron	25 à 30 % de goudron
Env. 1/5 hydrocarbures saturés	Absence d'hydr. carbures saturés
Peu de phénols	20 % de phénols

Goudron ordinaire.

Goudron plus épais que celui du vide	Goudron très fluide, odeur rappelant le pétrole
Eau à réaction alcaline	Eau réaction acide

Dans la kuckersite, comme dans la houille, la présence des phénols indique des composés cycliques qui prouvent bien la provenance végétale de ce combustible. Ainsi que pour la houille la substance végétale primitive de la kuckersite a été transformée, mais dans ce dernier cas elle s'est « gommifiée » comme Bertrand l'a observé pour les charbons d'algues. L'abondance du goudron dans la kuckersite s'explique par la prédominance de ses parties résineuses.

VII. — GENÈSE DE LA KUCKERSITE.

Récapitulons maintenant les conclusions diverses tirées précédemment pour définir les conditions du dépôt de la kuckersite.

A) *Distribution*: Dans le sens horizontal, la kuckersite s'est déposée en couches dont le nombre et la puissance, localement variables, sont relativement uniformes si l'on remarque qu'elles s'étendent sur une longueur de plus de 400 kilomètres et une largeur d'au moins plusieurs kilomètres. — Leur distribution verticale a duré pendant la sédimentation de l'étage de Kuckers sur plus de 8 mètres d'épaisseur. Durant cette période nous constatons la présence continue des Protophytées ; leur floraison a passé par des maxima de développement qui se sont produits au moins six fois dans l'étage. Les dépôts de kuckersite sont donc *autochtones* ; cette conclusion s'impose d'ailleurs par l'examen microscopique.

B) *Conditions de sédimentation*: 1. Les algues ont vécu dans un *milieu marin franc*, et non pas dans des eaux brunes et acides ; l'abondance des animaux à test calcaire dans un état de conservation souvent admirable nous le témoigne.

2. Les dépôts ont dû se faire dans une eau tranquille, nous avons, en effet, observé :

a) une grande régularité des dépôts de substance végétale dont l'épaisseur reste relativement constante.

b) de nombreux dépôts de sulfure de fer dans les sédiments, prouvant que les conditions étaient celles d'un milieu pauvre en oxygène.

c) Une sédimentation argileuse prédominante.

3. Les dépôts se sont effectués à une *profondeur peu considérable* :

a) au dessous de la limite inférieure d'agitation des eaux, comme le montre la présence de nombreux bryozoaires ne supportant pas de mouvements violents du milieu marin.

b) à une profondeur moindre que celle de la limite de pénétration de la lumière ; les trilobites qui ont vécu sur le fond ayant en général des yeux bien développés, ni hyper-ni atrophiés. Cette limite doit donc se trouver à la frontière des régions euphotiques et dysphotiques et où seuls quelques courants de fond ou des mouvements de marée transportaient les sédiments.

4. La *sédimentation inorganique* accompagnant le dépôt de la matière organique est de 3 sortes :

a) argileuse, et caractérisée par un développement maximum des algues qui y forme les couches gélifiées.

b) calcaire, où l'on constate une réduction constante de la floraison qui n'y est plus représentée que par des colonies isolées et à un état remarquable de conservation.

c) brèches coquillères, où la matière organique ne se trouve que remaniée et décomposée.

Une série d'oscillations du rivage est cause de cette sédimentation.

C) *Morphologie* : L'étude botanique de la flore de la kucker-site nous montre qu'elle est composée par un genre unique d'algues possédant les caractères ancestraux des Rodophycées et Cyanophycées, la Gleocapsomorpha prisca Zalessky. Son dépôt

est lié de la façon la plus intime aux sédiments inorganiques. Dans le cas normal, ces algues sont réparties en colonies dans une gelée fondamentale sécrétée par l'algue elle-même ou dans ses produits de décomposition. La reproduction des algues était assurée par prolifération et séparation des jeunes thalles capables d'émigrer et d'être entraînés.

D) La paléo-botanique silurienne nous montre que cette floraison d'algues pendant l'Ordovicien n'est pas un fait isolé, mais que c'est un cas particulier de flores diverses caractérisées par des familles d'algues qui ont envahi les mers ordoviennes du nord de l'Europe, au moins à trois reprises successives (5).

Si maintenant nous essayons de concilier les diverses constatations exposées dans ce chapitre pour nous faire une idée de l'*éthologie des Protophytées* et du mode de formation de leur dépôt, nous arrivons au résultat suivant : Les algues donnant naissance à ces dépôts auraient pu vivre :

- a) en fleurs d'eau, comme celles du boghead.
- b) comme plankton.
- c) fixées, en tapis couvrant le fond marin.

A) La formation par le phénomène des fleurs d'eau nous paraît exclue pour les raisons suivantes :

1. L'algue a existé pendant toute la durée de l'étage avec une intensité de développement variable.

2. Les maxima de dépôt sont liés à des variations de la sédimentation inorganique et non pas à des maxima de développement de la matière végétale qui devrait alors être répartie tout différemment dans les argiles et les calcaires.

3. Le dépôt de ces algues a été très lent et à peu près de même durée que le dépôt des matières inorganiques qui l'accompagnent.

B) La sédimentation organique due à une flore planctique est très improbable, car elle n'explique pas :

1. Une sédimentation des algues toute différente suivant la nature du milieu; très riche dans l'argile, très réduite dans les calcaires et presque nulle dans les brèches.

2. La différence d'aspect de la matière végétale dans les argiles et dans les calcaires. Dans ces derniers il y a prédominance de colonies mieux conservées, ce qui ne peut s'expliquer par une fossilisation plus parfaite, puisqu'il s'agit de produits plancti-

ques dans lesquels on devrait retrouver les différents stades dans la même proportion que dans la sédimentation argileuse.

C) Si l'on rejette l'idée que ces structures pourraient être dues à l'agitation des eaux, comme chez *Aegagropila* (*Cladophora valonia*), on arrive, en excluant aussi la vie flottante, à la conclusion que ces organismes ont dû pouvoir se fixer par leur mucus au substratum argileux, à la façon de plusieurs algues qui, dans les eaux saumâtres de la Camargue, adhèrent à l'argile et même la fixent (*Lyngbia estuarii*). Ces organismes couvraient peu à peu tout le fond et peut-être les nouveaux thalles pouvaient-ils même, — cela se voit souvent chez les algues, — vivre en épiphylles sur les thalles précédents plus ou moins nécrosés et que la salure devait protéger contre une desquamation rapide¹.

Les maxima de leur développement se sont produits en sédimentation argileuse; l'abondance et la richesse de la faune que l'on constate en examinant un fragment d'argile à kuckersite donne bien l'impression de l'équivalent d'un « Phytozoan Limestone » selon l'expression de Kiaer (5) où les animaux fossilisés ont vécu sur place dans la masse végétale.

Le développement de ces algues s'est effectué, comme nous l'avons vu, sous une couche d'eau assez profonde, laissant encore pénétrer la lumière nécessaire à la vie végétale et animale adaptée. La tranquillité des eaux permettait aux bryozoaires délicats de s'y développer intégralement et avec une richesse que nous admirons dans de grandes plaques de kuckersite de Powando où leurs restes atteignent plusieurs décimètres carrés.

Le jeu des marées, les courants de fond capables de produire de petits remaniements, entraînaient les bourgeons migrateurs,

¹ *Les Protophyties nous représentent donc une flore pélagique benthique vivant et se développant sur un fond vaseux, où elles se sédimentaient en même temps que les apports inorganiques essentiellement argileux qui accompagnent leur maximum de floraison. Il se formait ainsi une vase gélantineuse où les produits d'altération des algues servaient de ciment aux débris inorganiques et aux restes calcaires d'organismes marins.* Les Protophyties donnent en effet l'impression de plantes générées dans leur développement; par bourgeonnement et peut-être sporulation elles se reproduisent jusqu'au moment où la sédimentation leur devenait trop défavorable; il devait alors se produire un déplacement des dépôts vaseux sapropélithiques vers d'autres fonds plus appropriés.

caractéristiques de la biologie des Protophytées, jusque dans la zone de sédimentation calcaire où nous retrouvons par conséquent les éléments plus jeunes et moins altérés. Ainsi se sont formées les lentilles et les intercalations de calcaires sapropé lithiques dans les kuckersites ou séparant celles-ci des calcaires. La sédimentation calcaire était défavorable à la floraison des algues, car là où elle apparaît il y a réduction de celles-ci. Lorsqu'une oscillation du sol amenait des sédiments à une profondeur favorable, il y avait formation de brèches avec apport d'éléments végétaux remaniés et décomposés.

Les éléments détritiques inclus, grains de quartz et de feldspaths, extrêmement fins, indiquent que les dépôts ont dû se former à une distance assez grande de la côte. La largeur de la zone de ces kuckersites n'est vraisemblablement limitée que par une variation déterminante des conditions de lumière et de température nécessaires à la vie de ces organismes.

La découverte et l'étude des Protophytées complètent donc les recherches de Stolley (13) sur les faciès d'algues de la Baltique. Cet auteur remarque que les Dasycladacées restent tout à fait sporadiques jusqu'à l'étage de Jewe pour se développer alors d'une façon prodigieuse jusqu'à la fin de l'Ordovicien et disparaître aussi brusquement dès les premiers calcaires gothlandiens. Il compare le mode de développement de cette flore à celui des diplopores et gyroporelles qui sont apparues et disparues dans des conditions semblables.

L'existence des Protophytées nous invite donc à être prudent sur les conclusions à tirer au sujet de l'absence d'organismes, car le hasard de la fossilisation nous a conservé dans ce cas une importante flore dont l'organisation curieuse nous montre une différenciation déjà bien accusée. Si les conditions de sédimentation nous ont conservé ici la matière organique, sa disparition habituelle des sédiments marins nous impose l'idée d'une relation fort étroite entre sa disparition et la formation des pétroles.

Bibliographie relative à la genèse de la kuckersite.

1. DOLLO : Paléontologie éthologique. *Bull. soc. belge géol.*, 1909, 23.
2. L. FOKIN : O stroenii i productach raspada bituminosnich gornich porod Estlandii. *Gornii Journal*, 1913, 2, p. 117.
3. R. KUPFFER : Ueber die chemische Constitution der baltisch silurischen Schichten. *Archiv f. Naturkunde*, Dorpat, 1870.
4. LAMANSKY : Die ältesten silur. Schichten Russlands, die Stufe B. *Mém. com. géol. Pétersb.*, 1905-06.
5. LINDENBEIN : Les Protophyées (Gleocapsomorpha prisca Zalessky), une flore marine du Silurien inf. de la Baltique. *Bull. Soc. Bot.*, Genève, 1921.
6. G. LINNARSON : Geologiska iakttagelsar under en resa på Oland. *Geol. Föreningens*, 1876-77.
7. A. PICTET : Recherches sur la houille. *An. chim.*, sér. 9, t. 10, 1918.
8. POTONIÉ et GOTCHAN : Paleobotanisches Praktikum, Berlin, 1913.
9. A. SCHAMARIN : Chemische Untersuchung d. Brandschiefers v. Kuckers. *Archiv f. Naturkunde*, Liv. u. Ehstlands, 1870, Dorpat.
10. F. SCHMIDT : Revision der ostbaltischen Trilobiten. *Mém. Acad. imp. d. sc. Petersbourg*, 1881-1906.
11. A. C. SEWARD : The oldest land vegetation, *Scientia*, 28, 1920.
12. Soome messe, Eesti Osakond, 1920.
13. STOLLEY : Ueber gesteinsbildende Algen. *Naturw. Wochenschrift*, Berlin, XI, 1896, p. 173.
14. S. TULLBERG : Förelöpanda redogölse för geologiska resor på Oland. *Geol. Foreningens*, 1882-1883, VI.
15. M. D. ZALESSKY : Sur quelques sapropélithes fossiles, *Bull. soc. géol. France*, 1917, T. 17, Fasc. 8, 9.
16. — Ueber einen, durch eine Zyanalge gebildeten marinen Sapropel silurischen Alters (Kuckersit) *Centralblatt f. Min.*, etc., 1920, N°s 5 et 6.

Bibliographie relative à la stratigraphie et à la géologie régionales.

- F. M. BEHR : Die Vorkommen von Erdöl, Erdölgasen und Brandschiefern in den baltischen Ostseeprovinzen... *Petroleum*, 1919, 15, 16.
- F. BEYSCHLAG und L. v. ZUR MÜHLEN : Die Bodenschätze Esthlands. *Zeitschr. f. prakt. Geol.* Oktober, 1918.
- A. BORN : Der untersilurische Brandschiefer von Kuckers, eins petrogenetische Skizze. *Geol. Rundschau*, 1914, V.
- BRÖGGER : Die silur. Etagen 2 und 3.
- C. v. DOEPP : Ueber die technische Verwendung d. baltischen Brennschiefer. *Zeitsch. für Dampfkessel und Maschinenbetrieb*, 1919, 36 et 37.
- B. DOSS : Ueber die Möglichkeit d. Erbohrung von Naphtalagerstätten bei Schmarden in Kurland. *Naturforscherverein Riga*, 1900.
- EICHWALD : Die Grauwackenschichten v. Liv- u. Esthland. *Bull. soc. natur. Moscou*, 1854, XXVII.
- Einige vergleichende Bemerkungen zur Geologie Skandinaviens und der westlichen Provinzen Russlands. *Bull. soc. imp. natur. Moscou*, 1846, 19.
- C. GAEBERT : Ueber die Oelschiefer in Esthland. — *Braunkohle*, 1921, № 48, 49.
- GEORGI : Von einer feuerfangenden Erde aus der Revalschen Stathalterschaft. (*Economische Abhandlungen der freien economischen Gesellschaft in Petersburg*, 1791).
- Geographisch-physische und naturh. Beschreibung des russischen Reiches. Königsberg, 1798.
- R. HEHN : Die Produkte der Trockendistillation des Brandschiefers von Kuckers. *Balt. Wochenschrift*, 1871, 2 et 3.
- G. v. HELMERSEN : Ueber den bituminoesen Tonschiefer.... *Russ. Bergjournal*, 1838, p. 258.
- Der in Esthland bei Fall u. Tolks entdeckte brennbare Schiefer. *Inland*, 1838, p. 769.
- Ueber den bituminoesen Tonschiefer u. ein neuentdecktes brennbares Gestein der Uebergangsformation Esthlands.... *Bull. Acad. imp. sc. Pétersb.*, 1839, 4.

- C. HOLM: Bericht über geologische Reisen in Esthland, 1883-84.
- HUPEL: Topographische Nachrichten von Lief- u. Esthland, Riga, 1777.
- E. v. KOKEN: Esthland u. die Insel Oesel. *Geologe*, Mai, 1918.
- K. R. KUPFFER: *Baltische Landeskunde*, Riga, 1910, Loeffler.
- PETZHOLD: Ein neues brennbares Mineral in Esthland. *Erdmanns Journal prakt. Chemie*, 1850, I.
- C. SCHMIDT: Das vermeintliche Guanolager zu Kuckers. *Balt. Wochenschrift*, VII, 1869, 34.
- Untersuchungen über die silurische Formation Esthlands u. Oesel. *Archiv f. Naturkunde Esthlands*, 1858.
- Excursion d. Esthland. *Führer z. int. geol. Congress. Petersburg*, 1897.
- SEDERHOLM: Archaische Sedimentformation. *Bull. com. géol. Finlande*, 6.
- WIMAN: Eine untersilurische Litoralfacies... *Bull. of. Geol. Upsala*, 1900, 4.
- H. v. WINKLER: Destillationsprodukte des Kuckersits. (Literaturstudie) *Petroleum*, XV. Jahrg., 6, 1919.
- Ueber Umfang u. Abbauwürdigkeit esthändischer Bodenschätze. *Mitt. geol Inst. Greifswald*, 1920.
- L. v. ZUR MUEHLEN: Die Oelschiefer des europäischen Russlands. *Osteuropa Institut*, Breslau, 1921.
- Die Gewinnung von Brandschiefer (pour l'Ingermanie) *Nachrichten für Handel, Industrie u. Landwirtschaft*. 31, V, 1919.