



HAL
open science

Une application des tourbillons convectifs. Formation des sols polygonaux

V. Romanovsky

► **To cite this version:**

V. Romanovsky. Une application des tourbillons convectifs. Formation des sols polygonaux. Journal de Physique et le Radium, 1940, 1 (8), pp.346-349. 10.1051/jphysrad:0194000108034600 . jpa-00233765

HAL Id: jpa-00233765

<https://hal.science/jpa-00233765>

Submitted on 4 Feb 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNE APPLICATION DES TOURBILLONS CONVECTIFS. FORMATION DES SOLS POLYGONAUX

Par V. ROMANOVSKY.

Sommaire. — Ce court compte rendu est un résumé de mes travaux qui ont porté sur la convection et l'hydrodynamique et ont eu pour but de donner une explication physique à la genèse des sols polygonaux arctiques. Ces études se sont effectuées en deux stades : d'abord au laboratoire et ensuite au cours d'une expédition au Spitzberg.

M. H. Benard, prématurément enlevé à la Science, avait consacré toute sa vie à l'étude systématique, d'abord théorique et ensuite pratique, des tourbillons convectifs. Il avait essayé de rechercher les causes des phénomènes de la Nature, à première vue très complexes, qui étaient régis par cette loi de la convection (1).

M. Avsec avait établi l'application aux nuages (2) et l'astronome Jansen avait découvert sur la photosphère solaire des divisions hexagonales qui avaient tout à fait l'apparence de cellules convectives. Après ces résultats très probants, M. H. Benard m'avait chargé d'étudier les sols polygonaux pour essayer de donner à leur formation une explication due à la loi de la convection.

Les sols polygonaux sont des aspects très curieux des terrains, ce sont des réseaux polygonaux de pierres qui se sont disposés en petits sillons de 10 à 20 cm de haut et formant des hexagones, des pentagones, des carrés ou des cercles de 1 à 2 m de diamètre sur des kilomètres carrés de superficie (3).

Tout d'abord nous avons décidé d'essayer de reproduire au laboratoire et à très petite échelle ces mêmes formations. Mais dans la Nature c'est un phénomène qui demande, pour se stabiliser et atteindre le « régime permanent », des semaines et même des mois, tandis qu'au laboratoire il fallait l'obtenir en quelques minutes. La similitude dynamique demandait d'augmenter considérablement la différence de température existant entre les deux niveaux (fond de la cuvette et surface libre). Nous avons donc adopté une température du fond de la cuvette de 90 à 105° suivant le matériau employé et une épaisseur de couche turbulente de 0,3 à 2 cm.

Nous avons employé une « boue » de sucre, de sel, d'amidon ou de sable. Cette couche de « boue de sucre » (c'est le matériau qui a été le plus employé) était surmontée d'une couche de liquide saturé, donc de très forte densité et de grande viscosité; pour les corps insolubles, tels que le sable, nous avons employé un liquide rendu visqueux par la

dissolution d'un corps (par exemple du sirop de sucre). Cette couche de liquide aidait le phénomène et permettait en outre au sucre de ne pas se cristalliser trop rapidement. Il était également nécessaire d'avoir entre la « boue » et le liquide qui la surmontait un écart de densité le plus faible possible (4).



Fig. 1. — Vue microscopique des grains de sucre utilisés (Grosseur : 2 à 3 μ).

Nous avons employé deux méthodes qui ont permis d'étudier les tourbillons convectifs dans les deux plans. Pour le plan vertical nous avons employé une cuvette mince verticale à parois vitrées, et l'on obtenait une véritable « coupe » du phénomène montrant les mouvements des particules solides incorporées et la distribution des lignes de courant.

Pour le plan horizontal, nous avons utilisé une cuvette plate métallique circulaire où nous pouvions obtenir l'observation de la surface libre de la couche et reconnaître un aspect absolument identique à celui que l'on trouve à grande échelle sur les sols polygonaux arctiques. Le chauffage était obtenu à l'aide d'une résistance électrique qui, dans un thermostat, chauffait le fond de la cuvette. Les différences de température ont été prises à l'aide de couples thermo-électriques dont la mise au point a exigé

(1) Henri BÉNARD, *Thèse de Doctorat*, Paris, 1901.

(2) H. BÉNARD et D. ANSEC, *J. de Physique*, VII, 9, n° 11, p. 486-500.

(3) ROMANOVSKY, *Note aux C. R. Acad. Sc.*, 208, p. 621.

(4) ROMANOVSKY, *Rev. Géogr. Phys.*, 12, fasc. 2.

un gros travail par suite de la précision à obtenir et des conditions défavorables de fonctionnement.

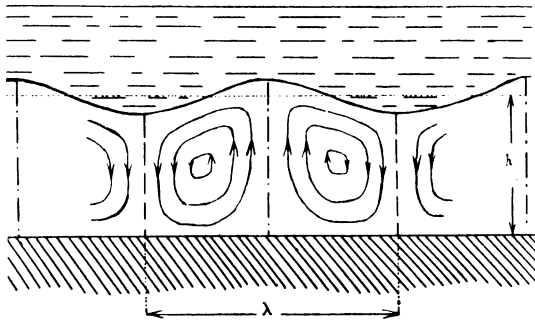


Fig. 2. — Schéma de la répartition des lignes de courant dans une couche de « boue » de sucre. (Fond à 103°.)

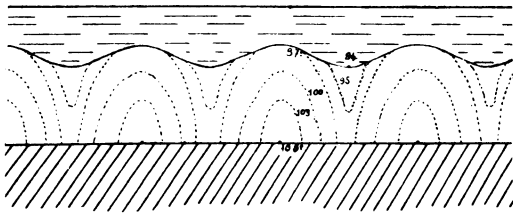


Fig. 3. — Réseau d'isothermes dans une couche de « boue » de sucre.

Les mesures de longueurs ont été faites à l'aide de dispositifs très précis permettant d'apprécier en

l'espace de quelques fractions de seconde, le quart de millimètre.

Deux années de travail nous ont permis de faire des centaines d'expériences et d'établir trois lois :

1° Loi de la constance du rapport entre l'épaisseur de la couche tourbillonnaire et la largeur d'une cellule. Ce rapport, aux erreurs d'expérience près, est égal à 1,75.

L'épaisseur de la couche liquide surmontant la couche de « boue » n'a aucune influence sur la constance de ce rapport. De nombreuses expériences faites en faisant varier l'épaisseur de cette couche nous en a donné la conviction.

2° Loi de la disposition des lignes de courant. Les lignes de courant se disposent d'une façon tout à fait régulière; elles montent au milieu de la cellule, sont centrifuges à la surface, descendent le long des cloisons des cellules, sont centripètes au fond de la cuvette et rejoignent le milieu de la cellule où le cycle recommence. Le réseau de ces lignes de courant est absolument identique à celui qui, dans les liquides visqueux, a été observé par M. Benard avec ses classiques tourbillons convectifs.

3° Loi des températures. Les températures à l'intérieur de la couche tourbillonnaire se disposent d'une façon régulière, le réseau isothermique dessine des courbes qui ont leurs maxima aux milieux des cellules et leur minima aux cloisons des cellules. C'est aussi exactement la même disposition que dans les classiques tourbillons convectifs.

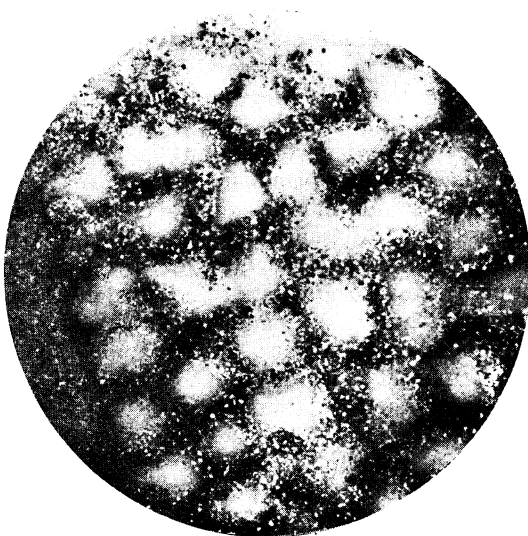


Fig. 4. — Aspect de la partie inférieure d'une couche de « boue » de sucre avec incorporation de sable et portée à 103°. Les grains de sable se disposent en réseau polygonal au fond de la cuvette.

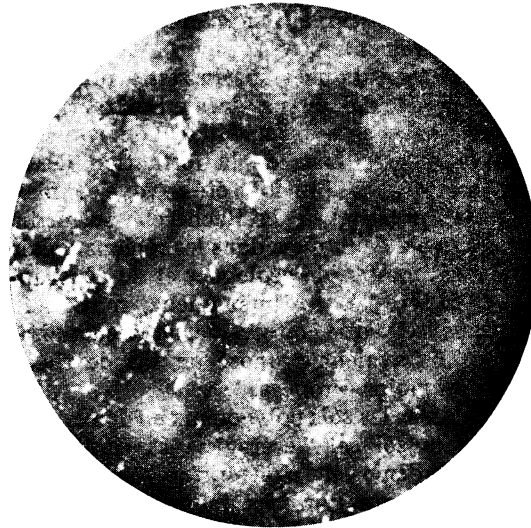


Fig. 5. — Aspect de la partie supérieure d'une couche de « boue » de sucre avec incorporation de poudre d'aluminium et portée à 103°. La poudre d'aluminium se dispose en bandes blanches sur les cloisons des cellules.

Il ressort de ces trois lois que les tourbillons que nous avons étudiés étaient des tourbillons de convection, malgré la matière très particulière dans laquelle ils se produisaient. Le phénomène en lui-même est très complexe, nous n'avons affaire ni à un liquide, ni à un solide, ni à un gaz, mais à un corps parfaitement hétérogène, une suspension, où les particules solides assez grosses (grains de sucre en poudre : 2 à 3 μ environ) et de formes quelconques sont en très grande quantité.

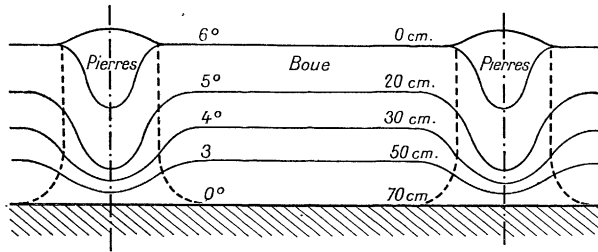


Fig. 6. — Coupe du terrain polygonal montrant le réseau d'isothermes (schéma).

Il est impossible de donner une interprétation ou une explication mathématique, il est également impossible d'appliquer des formules connues comme celles par exemple préconisées par Lord Ragleigh⁽⁵⁾ pour les tourbillons convectifs. Mais tout se passe comme si l'on avait affaire à un liquide très visqueux dont la viscosité serait égale à la viscosité « fictive » de cette boue; et avec cette hypothèse on peut essayer de donner quelques explications mathématiques en étudiant les constantes physiques de la matière. C'est un travail supplémentaire qui est en cours actuellement.

Après ces résultats très intéressants obtenus au laboratoire je décidai de partir au Spitzberg, pour vérifier sur place si ces tourbillons de convection pouvaient être à la base de la formation des sols polygonaux arctiques. J'ai donc été envoyé en mission par le Centre national de la Recherche scientifique pour un séjour de deux mois dans les régions polaires. Un très grand nombre de géologues et de géographes avaient déjà étudié ce phénomène, mais aucun n'avait admis la théorie convective, ne la connaissant pas à fond. Ils avaient proposé un tas de théories toutes plus ou moins erronées.

On peut classer les sols polygonaux en deux groupes suivant que le sol est hétérogène et contient des pierres qui se disposent à la surface en un réseau polygonal (1^{er} groupe) ou bien homogène et exempt de cailloux (2^e groupe).

J'ai établi la classification suivante :

1^{er} groupe. — a, anneaux de pierres; b, réseaux de pierres; c, bandes de pierres; d, îlots de décombres.

2^e groupe. — a, polygones de fissures; b, buttes gazonnées.

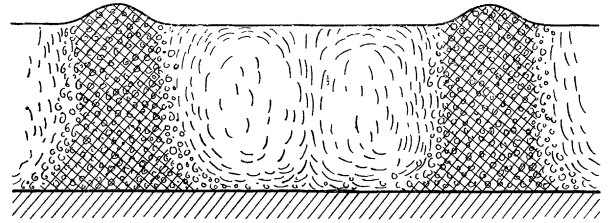


Fig. 7. — Coupe du terrain polygonal montrant la disposition des pierres qui dessinent les lignes de courant (schéma).

Mon premier travail sur le terrain a consisté dans l'étude de la surface du sol, j'ai mesuré les longueurs des anneaux et des polygones, photographié les divers aspects rencontrés.

Ensuite, des terrassements m'ont permis de me rendre compte de la disposition des petits cailloux plats ou allongés à l'intérieur de la masse, pierres qui matérialisaient le sens des lignes de courant. Les températures ont été prises à l'aide de thermomètres enregistreurs à longue tige pouvant descendre jusqu'à 1 m dans le sol.

Les lois établies sur des expériences à petite échelle ont été entièrement vérifiées et s'appliquent intégralement à la formation des sols polygonaux. On retrouve le même rapport constant 1,75 et le réseau des lignes de courant ainsi que celui des isothermes sont respectivement identiques à ceux des tourbillons des « boues » de sucre.

Dans les sols polygonaux le phénomène se passe de la façon suivante : pendant tout l'été, à une profondeur de 1 m environ, existe une couche de terre éternellement gelée appelée « tjäle » qui est absolument imperméable et joue le rôle de fond de cuvette; au-dessus, pendant la fonte des neiges et de la glace, se place une couche de boue, plus ou moins liquide et plus ou moins hétérogène, qui, à cause des différences de températures existant entre le fond et la surface, et des variations de températures brusques, est le siège de tourbillons convectifs qui, grâce à leurs lignes de courants centrifuges de la surface, amènent tous les cailloux à la périphérie et les disposent en cloisons verticales qui apparaissent à la surface sous forme de réseau polygonal.

L'action poussante de la gelée préconisée par Høgböm⁽⁶⁾ aide et accélère le phénomène pendant le gel, en poussant les pierres vers la périphérie, mais cette action détruit la forme hexagonale de la cellule tourbillonnaire en la transformant en forme circulaire⁽⁷⁾.

(5) LORD RAYLEIGH, *Phil. Mag.*, 1916.

(6) HÖGBÖM, *Bull. géol. Inst. Upsala*, 1908-1909.

(7) ROMANOVSKY, *Note aux C. R. Acad. Sc.*, 210, p. 97-99.

(6) LORD RAYLEIGH, *Phil. Mag.*, 1916.

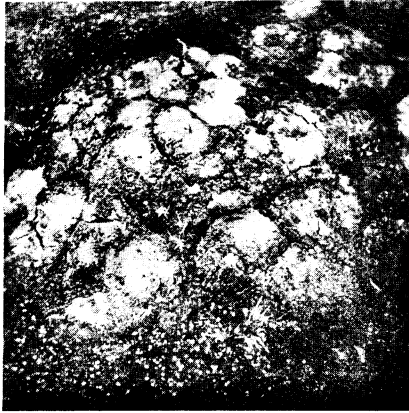


Fig. 8. — Photographie d'un polygone du groupe II en terrain homogène (Spitzberg).

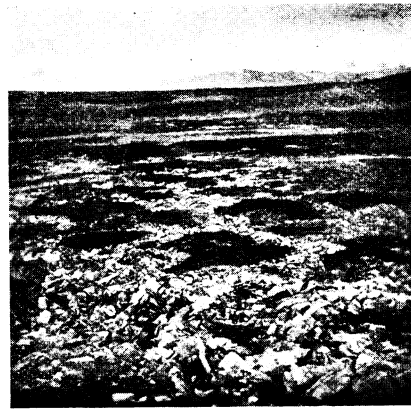


Fig. 9. — Photographie montrant l'aspect classique des réseaux de pierres (Spitzberg).

Sur des pentes inférieures à 10° nous trouvons des bandes de pierres disposées suivant des lignes de plus grande pente, cette disposition découle de la composition de l'effet convectif avec la pesanteur. Dans les expériences de laboratoire j'avais également trouvé des traînées analogues en inclinant la cuvette.

Comme j'avais admis qu'il était possible d'assimiler la boue qui forme le milieu tourbillonnaire

à un liquide homogène très visqueux, j'ai rapporté du Spitzberg une grande quantité d'échantillons de cette boue afin d'étudier les constantes physiques de ce matériau. Ce travail est en cours.

Ainsi nous avons pu établir la liaison entre une théorie physique très rigoureuse et une formation géologique qui jusqu'ici paraissait une énigme de la Nature.

Manuscrit reçu le 5 mai 1940.