

LES "STONE-LINES" ET LES TERRASSES ALLUVIALES DES HAUTES TERRES MALGACHES

par

F. BOURGEAT * et M. PETIT **

PLAN

1 - LES TYPES DE "STONE-LINES"

1.1 - La localisation

1.1.1 - Cas des "stone-lines" de versant

1.1.2 - Cas des "stone-lines" de niveaux locaux d'aplanissement

1.2 - Le matériau grossier

1.2.1 - Le matériau quartzeux

1.2.2 - Les pseudo-concrétions

2 - LES TERRASSES

3 - HYPOTHESES RELATIVES A LA FORMATION DE LA "STONE-LINE"

3.1 - Mise en place du matériau grossier

3.2 - Mise en place du matériel de recouvrement

3.2.1 - Les "stone-lines" de versant

3.2.2 - Les "stone-lines" sur niveaux locaux d'aplanissement

4 - RELATIONS ENTRE TERRASSES ET "STONE-LINES" DE VERSANT

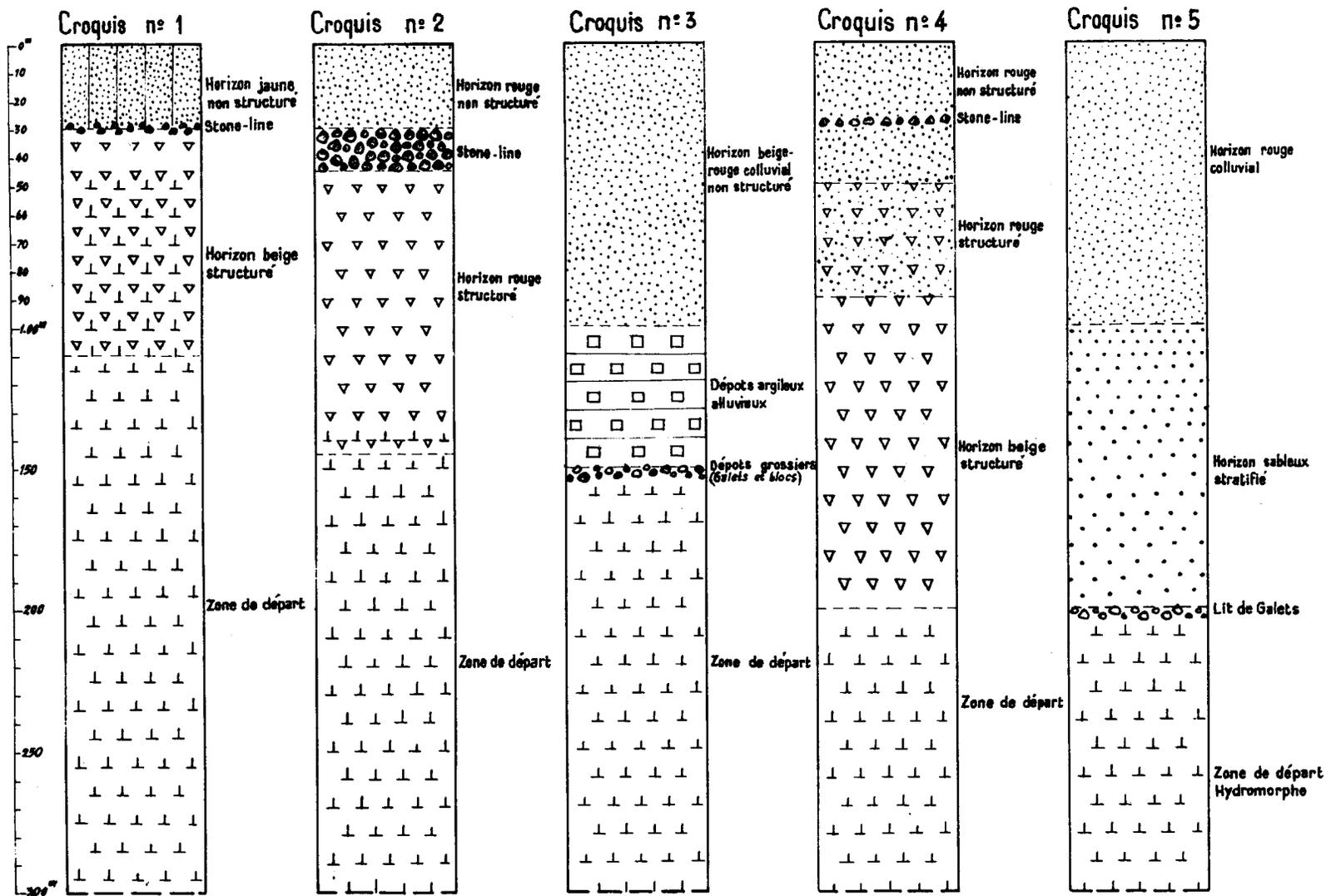
5 - CONCLUSION

6 - BIBLIOGRAPHIE

* Maître de recherches, Centre O.R.S.T.O.M. de Madagascar.

** Maître assistant de géographie, Université de Madagascar.

- PLANCHE n° 1 -



RÉSUMÉ

La présente étude a pour but d'apporter quelques précisions sur les types de "Stone-lines" rencontrés communément sur les hautes terres malgaches, et d'envisager des corrélations avec les terrasses alluviales.

Nous avons distingué les "Stone-lines" sur niveaux locaux d'aplanissement et les "Stone-lines" de versant. Pour ces dernières formations au moins, la mise en place au cours de deux phases climatiques distinctes semble difficilement réfutable (climats tropicaux où la durée et l'intensité de la saison sèche ont subi des variations).

Deux systèmes de terrasses ou d'éléments de terrasses s'observent, dans la région de Tananarive, au-dessus du remblaiement alluvial actuel. Le conglomérat de base de la terrasse supérieure a, localement, participé à l'alimentation d'un épandage qu'une phase colluviale a fossilisé, ce qui donne l'aspect typique d'une "stone-line". Ailleurs, le matériau de la "Stone-line" a été remobilisé pendant une phase de creusement et a participé à la formation du conglomérat de base de la deuxième terrasse ; le raccord "Stone-line"/terrasse n'interfère pas obligatoirement une évolution simultanée.

Les "stone-lines" et les formations alluviales malgaches n'ont fait l'objet d'aucune étude générale, mais seulement de remarques dispersées (en particulier de J. RIQUIER). Elles ont cependant un intérêt paléoclimatique que différents auteurs ont d'ailleurs souligné : "la stone-line, générale en Afrique et dans la plupart des pays tropicaux humides, a provoqué bien des commentaires contradictoires qui nécessiteraient une discussion attentive, car elle peut avoir une signification paléomorphologique" (J. DRESCH 1962). P. BIROT (1963) voit dans l'existence de ces lignes de pierres la possibilité de deux interprétations, l'une cyclique et l'autre liée à une évolution lente, à un rajeunissement de formes dérivées d'une surface locale d'aplanissement. G. LAPORTE (1962) donne peu d'importance aux variations climatiques et s'attache au contraire à résoudre le problème des processus de mise en place.

La présente étude n'a pas pour objet de résoudre de façon définitive, par une théorie monolithique, ce délicat problème qui est par ailleurs riche d'une bibliographie d'une cinquantaine de titres dont 39 sont répertoriés dans l'ouvrage de G. LAPORTE. Notre ambition, plus modeste, est d'apporter quelques précisions sur les types de "stone-lines" rencontrés communément sur les hautes terres malgaches et d'envisager des corrélations avec les terrasses alluviales. Le cadre morphologique de Madagascar possède une telle personnalité que certaines de nos conclusions sembleront difficilement généralisables à l'ensemble du monde tropical.

1 - LES TYPES DE "STONE-LINES"

Les "stone-lines" peuvent être classées selon leur situation topographique et leurs éléments constitutifs.

1.1 - La localisation

On distingue deux sortes de "stone-lines" : les "stones-lines" de versant et les "stones-lines" sur niveaux locaux d'aplanissement.

1.1.1 - CAS DES "STONE-LINES" DE VERSANT

- exemple du bassin versant de la Tafaina (feuille de Tananarive P 47), planche n°1, croquis n° 1).

Dans l'incision d'un lavaka de versant perpendiculaire à un affluent de la Tafaina, on remarque le profil suivant :

- 0 - 30 cm Horizon jaune-ocre ; argilo-limoneux ; structure continue avec fentes de retrait formant un système hexagonal ; à la partie inférieure lit de quartz anguleux, peu épais (quelques cm), plus ou moins continu, s'interrompant à un certain niveau du fait de la reprise d'érosion récente.
- 30 - 100 cm Horizon beige ; argilo-limoneux ; structure polyédrique fine avec des revêtements argileux sur les agrégats, cette structure est moins nette à la base où l'on reconnaît des minéraux altérés (micas, feldspaths kaolinisés).
- à partir de 100 cm Zone de départ limoneuse riche en minéraux altérés ; structure particulière.

- exemple de la saignée de la route au nord-est d'Ambatofamanjaka, région d'Ankadinandrina (feuille de Tananarive P 47), planche 1, croquis 2.

Sur versant de relief résiduel, dans des gneiss riches en filon de granite d'Ambatomiranty (granite mélanocrate) et de quartz, on observe :

- 0 - 10 cm Horizon rouge (épaisseur très variable) ; argilo-limoneux ; structure peu marquée. A 10 cm, on note la présence d'un lit de pierres composé de blocs de quartz de formes parallélépipédiques aux angles plus ou moins émoussés, à surface rugueuse ; ce matériau, localement, remplit de véritables poches qui peuvent atteindre 2 à 3 m de diamètre (voir Photo 1).
- 10 - 20 cm Horizon beige-rouge ; argilo-limoneux ; structure polyédrique bien marquée, de cohésion moyenne avec passage progressif à la zone de départ.



Photo 1 - Remblaiement grossier colmatant un paléorelief.

- exemple de la route de Tananarive à Ambatolampy au PK 51 (carte Ambatolampy P 48)
Planche 1, croquis 3.

En bas de versant, sur la terrasse moyenne, à 4 m au-dessus du thalweg actuel, on distingue :

- 0 - 100 cm Horizon beige-rouge ; argilo-limoneux avec des grains de quartz irrégulièrement répartis dans la masse ; structure peu marquée.
- 100 - 150 cm Horizon argileux gris blanchâtre ; d'origine alluviale ; structure peu marquée mais à tendance cubique. A la base, on passe à un dépôt grossier constitué par une association de quartz anguleux et roulés. Latéralement le matériel fin blanchâtre disparaît, alors que les éléments grossiers moulent le versant et remontent jusqu'à 20 ou 30 m au dessus du niveau du ruisseau actuel et reposent directement sur la zone de départ gneissique.
- à partir de 150 cm Horizon beige ; limoneux à limono-sableux ; présence de minéraux conservés ; traces d'hydromorphie ancienne.

Un profil très semblable a été observé sur la route de Tananarive à Miarinarivo au PK 62,5 (carte Miarinarivo n° 47) photo n° 2.

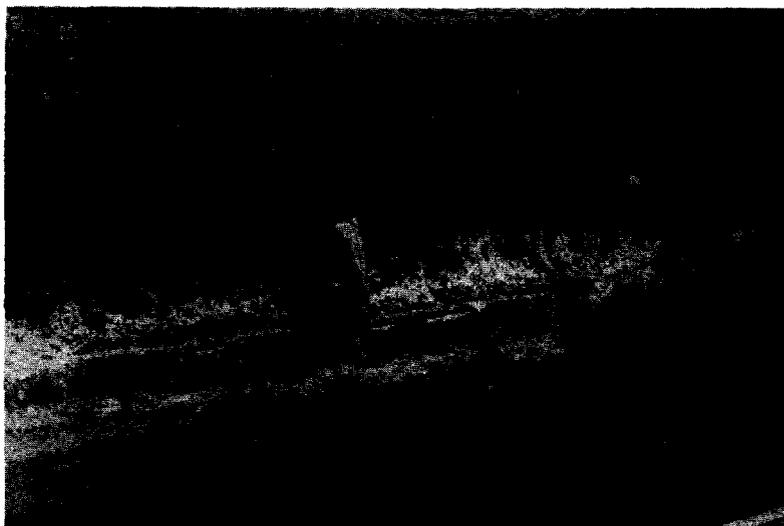


Photo 2 -

Colluvionnement (sol rouge) fossilisant une ancienne terrasse.

Les trois horizons sont de même très nettement tranchés, mais, en remontant le versant, le faciès roulé des éléments grossiers disparaît.

- exemple du fossé de l'ancien village au pied du Mananosy, à l'est-sud-est de Soavinimerina (carte Fiahonana 046). Très légèrement en contrebas d'un sommet de croupe, sur un versant se raccordant à une haute terrasse perchée à 10-12 m au-dessus du thalweg actuel, on observe un profil qui, par opposition aux cas précédents, ne montre pas un horizon à granulométrie fine reposant sur un lit de pierres. Au-dessus d'une zone de départ pauvre en minéraux, succède, sur une épaisseur d'environ 2 m, un ensemble hétérogène de quartz

anguleux dans une matrice plus ou moins fine n'ayant subi aucun triage ; localement on peut observer un certain litage des éléments grossiers (Photo n°3).

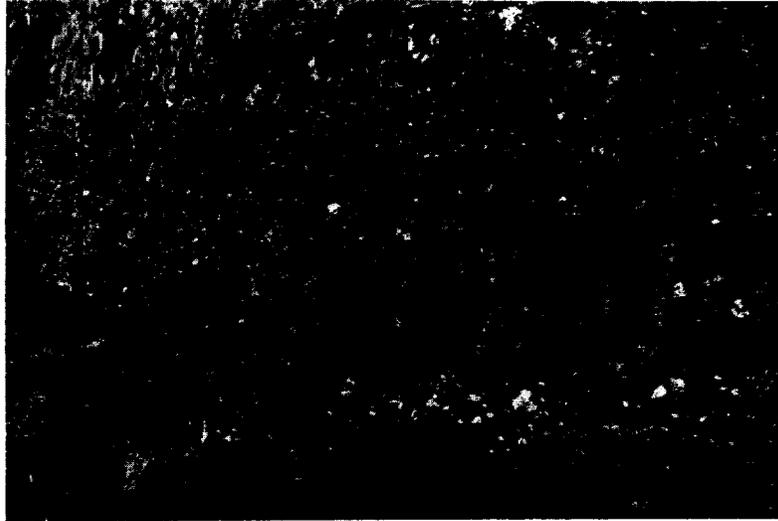


Photo 3 -
Accumulation de bas de versant avec absence de triage.

Les quatre exemples de profils décrits révèlent parfois l'existence d'un deuxième alignement de quartz ; dans ce cas, la "stone line" supérieure est toujours superficielle, discontinue et peu épaisse.

1.1.2 - CAS DES "STONE-LINES" DE NIVEAUX LOCAUX D'APLANISSEMENT

Exemple observé au nord d'Ankarefo à la limite des bassins versants de l'Ikopa et de la Sisoany (feuille Tananarive P 47) Planche 1, croquis 4.

Observations faites dans une fosse pédologique sur un interfluve rigoureusement plat.

- 0 - 90 cm Horizon beige-rouge ; argileux ; structure continue. Cet horizon est interrompu à 50 cm par une mince ligne de pierres constituée de quartz fins, anguleux et s'effritant facilement.
- à partir de 90 cm Passage progressif à l'horizon inférieur, beige-rouge ; argilo-limoneux ; structure polyédrique fine très marquée. Quelques rares minéraux très altérés à partir de 2 m de profondeur.

Ce profil s'observe également au sommet des croupes d'altitude concordante (1 450 m environ) au nord de Miarinarivo.

1.2 - Le matériau grossier

Le matériau qui alimente les "stone-lines" est de nature et de forme variées. On observe communément des lits composés exclusivement de quartz, ou bien encore de quartz mêlés à des concrétions ferrugineuses et enfin, notamment sur la bordure orientale des hautes terres (vers Mantasoa par exemple), des lits contenant uniquement des pseudo-concrétions.

1.2.1 - LE MATÉRIAU QUARTZEUX

Lorsqu'il y a superposition de "stone-lines" (cas peu fréquent) les éléments du lit supérieur sont anguleux, à surface blanche, lisse, par opposition au matériau du lit inférieur qui épouse une forme grossièrement parallélépipédique aux angles très émoussés et à surface saccharoïde, parfois recouverte d'une pellicule ferrugineuse. Ce matériau a une tendance très marquée à l'effritement.

Dans le cas d'une seule ligne de pierres, le matériau est très hétérogène. Les formes émoussées surprennent par leur ressemblance avec des éléments fluviatiles façonnés en amont de cours d'eau, n'ayant donc subi qu'un faible transport. La confusion est aisée et la distinction est à l'occasion très délicate (Photo 4). Le triage n'est pas réalisé d'une façon continue le long du versant. On remarque, au contraire, les filons de quartz, incurvés dans leur partie supérieure, qui alimentent constamment la "stone-line". De même, par opposition aux observations de certains auteurs, nous n'avons jamais observé de filon en place qui coupent la "stone-line" et traversent l'horizon de surface. Il existe malgré tout un certain triage local à partir des filons, les éléments les plus grossiers étant les moins déplacés. Dans certains cas, des galets ayant un indice d'aplatissement, un arrondi et une surface très lisse, caractéristiques des formations fluviatiles, sont incorporés aux éléments simplement émoussés, les galets les plus petits (quelques cm) étant également les plus évolués. Certains galets particulièrement plats, dans les zones limitrophes des régions volcaniques, sont des concrétions d'opale remaniées par les eaux courantes.



Photo 4 -
Matériel grossier et évolué de stone-line.

1.2.2 - LES PSEUDO-CONCRÉTIONS

Elles sont constituées par les éléments résiduels de roches ayant subi une altération intense (faciès pain d'épice). Ces masses poreuses ont une structure cloisonnée (lamelles d'hydrargillite). Elles sont fréquemment ferruginisées en surface, ce cortex les préservant d'ailleurs d'une altération ultérieure. Ce pseudo-concrétionnement est surtout réalisé sur d'anciennes surfaces d'aplanissement en voie de rajeunissement. Le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ de ces formations est toujours inférieur à celui des sols qui les contiennent, et jamais supérieur à 0,6.

2 - LES TERRASSES

Dans un rayon de 100 km autour de Tananarive on distingue trois systèmes de terrasses. Leur emboîtement n'est pratiquement jamais visible, sauf cas exceptionnel, comme dans le bassin versant de la Tafaina ou au sud d'Ilafy. Le niveau moyen ou supérieur a généralement été décapé par une érosion ultérieure. Nous n'insisterons pas sur le niveau actuel : les sols alluviaux peu évolués ou hydromorphes étant d'ordinaire occupés par les rizières. Le niveau intermédiaire n'est qu'à quelques mètres au-dessus du remblaiement actuel et composé de matériau relativement sableux. Il porte des sols à hydromorphie ancienne, à gley, plus ou moins lessivés, et plus rarement des sols jaunes ferrallitiques. Ceux-ci sont le plus souvent occupés par des cultures sèches. La haute terrasse est à un niveau relatif nettement plus élevé. Elle débute par un véritable conglomérat de base, aux éléments très bien roulés, surmontés par une épaisseur variable (de 20 à 100 cm et plus) d'éléments sableux quartzueux mêlés à quelques feldspaths plus ou moins kaolinisés. Au sein du remblaiement sableux, on note quelques alignements de plaquettes argileuses très bien litées. De couleur souvent gris violacé, elles sont parfois difficilement identifiables aux zones de départ hydromorphes sur socle cristallin.

La plaine du Betsimitatratra constitue le niveau de base local pour l'ensemble du système hydrographique dans un rayon de 50 km autour de Tananarive. A l'amont des cours d'eau, la terrasse supérieure est généralement déblayée, et n'est repérable que grâce à quelques épandages de galets bien roulés, que l'on rencontre jusqu'au tiers supérieur des versants, soit à une hauteur relative de 30 à 35 m environ ; ces placages, au demeurant, ne sont pas liés systématiquement à des replats sur les versants. Les galets affleurent sur de fortes pentes (30°) s'ennoyant à l'aval sous le colluvionnement.

Dans les proches environs de Tananarive, la hauteur relative de cette construction fluviale n'est plus qu'à 4 ou 5 m. Ainsi, dans la région d'Ivato (à 200 m avant l'entrée de l'aérodrome), cette terrasse à flanc de colline est tronquée et recouverte par le colluvionnement. Dans la région de Mahitsy (à 30 km au nord-ouest de Tananarive), à l'est de Soavirinimerina, elle est bien conservée et constitue la plus belle formation alluviale de la région (Photo 5) qui porte des sols jaunes ferrallitiques et des pseudo-podzols. En contrebas de 3 à 4 m, le second système est à peine esquissé. Le décrochement entre les trois systèmes de terrasses, qui diminue d'amont en aval, s'explique par la subsidence de la plaine de Tananarive. Dans la plaine elle-même, le remblaiement récent atteint 25 m d'épaisseur en amont du seuil de Farahantsana, qui joue le rôle de barrage local pour l'ensemble du bassin versant amont de l'Ikopa et de la Sisoany.

Au contraire, à l'ouest d'Arivonimamo, le bassin versant amont de l'Onibe, indépendant du niveau de base de Tananarive, conserve des galets sur des replats plus ou moins bien développés perchés à une hauteur relative de 30 à 35 m. Ce niveau de terrasse est nettement continu et conserve une hauteur relative constante. Localement, au PK 54,5, en bordure nord de la route dans un fossé de village, la haute terrasse est tronquée et disparaît sous colluvionnement.



Photo 5 -
Haute terrasse se reliant à des versants bien équilibrés.

Le profil observé est le suivant :

- 0 - 100 cm Horizon rouge argileux ; peu structuré ; avec de nombreux petits éclats de quartz irrégulièrement répartis dans la masse.
- 100 - 200 cm Horizon sableux, jaunâtre, quartzeux avec quelques feldspaths kaolinisés, stratification assez nette et quelques minces horizons argileux nettement lités sub-horizontaux.
- 200 - 220 cm Galets parfaitement roulés pouvant atteindre 5 à 10 cm de diamètre.
- en dessous de 220 cm Zone de départ hydromorphe, grise, blanchâtre, avec quelques minéraux en voie d'altération, mais la structure originelle de la roche-mère est bien conservée.

Dans le bassin versant de la Tafaina, au pied du casque de Behenjy, sous un épais colluvium, nous avons décrit le même matériau (PETIT et BOURGEAT, 1965). La haute terrasse porte un sol tourbeux dont nous avons fait un prélèvement. L'échantillon a été analysé en vue d'une datation au Carbone 14 (laboratoire du C.N.R.S. à Gif-sur-Yvette, sous la direction de Mme G.DELIBRIAS), l'âge indiqué étant de 11 580 (\pm 400 ans), on peut en inférer que la haute terrasse est certainement antérieure à 12 000 ans et que le jeu de subsidence de la plaine de Tananarive, qui affecte cette terrasse, est au moins postérieur à la mise en place de cette formation. Il y aurait d'ailleurs possibilité d'une phase subsidente antérieure, mais celle-ci n'est pas confirmée par les récents sondages (hypothèse évoquée par P.BIROT, op.cité p.29).

3 - HYPOTHÈSES RELATIVES A LA FORMATION DE LA "STONE-LINE"

Plusieurs théories ont déjà été élaborées pour expliquer la mise en place de ces lignes de pierres. L'étude la plus complète reprenant l'ensemble des travaux sur ce sujet est dûe à G.LAPORTE (1962). On distingue selon les auteurs des positions nettement opposées, l'une faisant appel à un recouvrement allochtone des versants, l'autre envisageant au contraire une évolution en place.

Parmi les promoteurs de la première théorie, J. de HEINZELIN (1952, 1955) considère l'accumulation grossière comme étant le témoin d'un ancien reg, mis en place pendant une phase climatique de désertification, qui aurait été ensuite fossilisé sous un épais manteau de matériaux fins d'origine non spécifiée. La mise en place de cet horizon superficiel a également suscité de nombreux commentaires. Pour G. WAEGMANS (1953) cet horizon serait d'origine colluviale. Dès 1954, certains pédologues (en particulier G. AUBERT, EDELMANN) ont pensé à une action de la faune (notamment des termites) qui remonteraient les particules fines sous le niveau grossier pour constituer le recouvrement meuble. Les coupes observées au cours de l'excursion de Gimbi (5ème Congrès international de la science du sol de Léopoldville) montraient, en effet, que ce recouvrement est continu, qu'il moule parfaitement la topographie, sans variation notable d'épaisseur. Cette hypothèse a été reprise par A. CAILLEUX et J. TRICART (1957).

G. LAPORTE (1962) abandonne totalement l'idée de recouvrement et considère l'horizon meuble comme étant en place, les variations pédologiques des profils correspondent aux changements des roches mères sous-jacentes. Les éléments grossiers s'enfoncent peu à peu dans le sol sous l'effet du brassage de l'horizon superficiel par la faune (sans remontée ni transport de matière) ou bien du fait de l'humidification du milieu qui parviendrait à un état de semi fluidité, les alternances de dessiccation et de réhumectation activant le mouvement "per-descensum" des éléments lourds par gravité, avec accumulation à un certain niveau. Nous allons donc étudier successivement la mise en place du matériau grossier et son recouvrement.

3.1 - Mise en place du matériau grossier

Nos propres observations nous permettent de conclure à l'improbabilité d'une phase climatique d'une extrême aridité sur l'ensemble des hautes terres malgaches à une époque plus ou moins récente. On remarque actuellement dans les zones essentiellement gneissiques, riches en filons de quartz ou de quartzites, un pavage général des versants. Cet épandage est actuel, car la mobilité des éléments est prouvée par les accumulations grossières à l'arrière des touffes de graminées qui décomposent le profil du versant en multiples petites marches d'escalier. Ce phénomène est particulièrement caractéristique dans le bassin versant de la Tafaina et dans l'ensemble du moyen ouest malgache.

En dépit de l'analogie de faciès entre le matériau grossier épandu et un dépôt de reg (voir Photo 4) on ne peut admettre l'hypothèse de la phase aride pour plusieurs raisons :

Les épandages grossiers se rencontrent sur des pentes extrêmement accusées (30°), remontant même sur les flancs des reliefs résiduels. D'autre part, s'il y avait eu fossilisation d'un relief différencié on devrait observer de fortes accumulations grossières en bas de versant, ce qui n'est jamais réalisé. Par contre, ces épandages peuvent se mettre en place au cours d'une phase climatique à saison sèche très marquée (en durée et en intensité), qui favorise l'érosion et active un processus visible de nos jours dans les zones à relief contrasté. On constate en effet, sous forte pente, un décapage de l'horizon superficiel, la mise à nu de l'ancienne "stone-line" et sa réalimentation à partir des filons de quartz qui portent la trace d'un ancien fauchage. D'autre part, dans l'éventualité d'une phase aride récente, on conçoit mal qu'un tel système morpho-climatique, caractérisé par une agressivité extrême, ait respecté les sols et les zones de départ limoneuses profondes qui tapissent la plupart des reliefs ; il est admis que ces sols ne sont pas récents, la profondeur de certains est telle qu'ils ont demandé plusieurs dizaines de millénaires pour se former.

Lorsque la "stone-line" contient ou est constituée de résidus de roches altérées recouverts d'un cortex ferrugineux, il y a lieu de remarquer que ces mêmes résidus en place, situés dans la zone sous-jacente à la "stone-line", ne sont jamais ferruginisés. Ce cortex paraît s'être élaboré à l'air libre avant le recouvrement de la "stone-line". Le faciès de ces pseudo-concrétions ne rappelle aucunement un dépôt de surface par lessivage, mais plutôt une exsudation du fer issu du matériel, lui-même très riche en fer. Cette exsudation peut se manifester sous un climat à saison sèche très marquée, sans faire intervenir pour cela une phase d'extrême aridité.

Au contraire, pour G.LAPORTE (1962), la mise en place de la "stone-line" est subactuelle et ne nécessite aucun transport latéral. Pour envisager avec l'auteur un moulage en profondeur d'une forme topographique par des éléments grossiers qui se sont mis en place "*per descensum*", il faut bien admettre, à l'origine, un moulage superficiel de cette même forme. Toutefois, la théorie de LAPORTE ne présente plus de difficulté si les éléments grossiers proviennent d'une formation superficielle du type cuirasse, qui a été par la suite démantelée. Mais, dans le cas d'une alimentation par des filons de quartz sub-verticaux, il paraît inconcevable que les deux phases (épandage et migration "*per descensum*") du processus de mise en place aient pu se produire sous un même climat. S'il existait réellement une migration des éléments grossiers par gravité dans un milieu plus ou moins fluide (difficilement envisageable par ailleurs), ou encore par brassage du milieu par la faune, on devrait constater une accumulation préférentielle en bas de versant sous l'effet des mouvements latéraux, qui existent obligatoirement dans un milieu présentant de telles qualités physiques ; l'enfoncement ne s'opérant pas perpendiculairement au versant, mais par rapport à la normale du lieu. Or l'auteur représente des "stone-lines" qui, parfois, s'appauvrissent graduellement sur les flancs des versants. D'autre part, dans le cadre de cette théorie originale, on conçoit mal l'arrêt de la migration des éléments grossiers à un ou deux niveaux très nettement différenciés sans intervention de variations climatiques qui expliqueraient des modifications dans la plasticité du milieu. De plus, dans l'optique d'un processus subactuel, on devrait noter des éléments en cours de migration dans l'horizon superficiel et cette migration devrait être différentielle selon la taille des éléments. L'application de la loi de STOKES veut que les éléments les plus lourds tombent ou migrent en premier. La "stone-line" devrait enfin montrer une certaine régularité et un triage vertical qui ne s'observe jamais à Madagascar, et surtout dans les rares cas de superposition de "stone-lines".

On remarque, au contraire, sur certains versants, des accumulations locales sous forme de poches renfermant des produits grossiers (Photo 1). Ces produits semblent fossiliser une topographie préexistante (dans le cas précis un sillon dû au rill), que l'on ne peut expliquer par le simple processus de descente régulière des éléments sur la pente. Il est plus logique d'y voir la preuve d'une accumulation par transport d'un produit de surface durant une phase d'épandage.

3.2 - Mise en place du matériel de recouvrement

A Madagascar, il semble nécessaire de faire la distinction entre les "stone-lines" de versant et de niveaux locaux d'aplanissement.

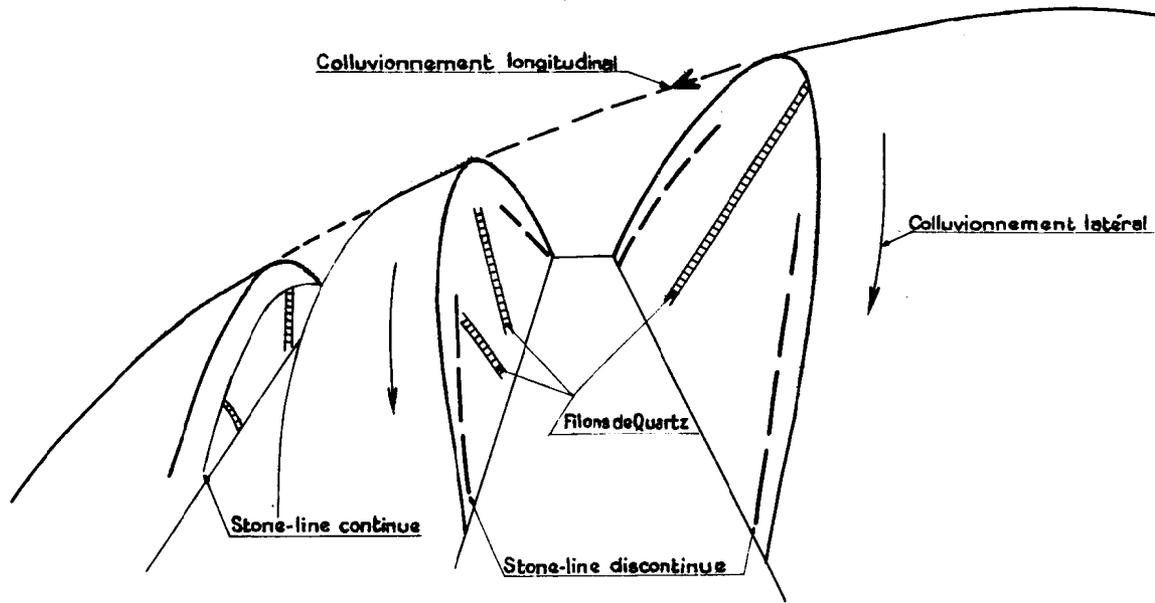
3.2.1 - LES "STONE-LINES" DE VERSANT

On observe sur les versants un horizon superficiel nettement tranché par rapport à l'horizon sous-jacent à la "stone-line". Il est d'épaisseur variable de 1 à 3 m, riche en petits quartz anguleux de la classe des sables, rarement structuré et montrant un faible triage des éléments sableux. Cet horizon lorsqu'il existe n'est jamais traversé par les filons de quartz (par opposition à certaines descriptions de G.LAPORTE) qui s'arrêtent au niveau de la "stone-line" et présentent un fauchage superficiel dans le sens de la pente. Nous avons déjà dit que certains auteurs voient dans ce manteau de recouvrement un apport provenant de l'horizon inférieur à la "stone-line" remonté par la faune du sol (notamment les termites). Actuellement sur les hautes terres malgaches les termites sont extrêmement rares ce qui ne constitue pas un argument négatif, mais on constate parallèlement que l'horizon d'apport superficiel est généralement plus sableux que l'horizon sous-jacent, fréquemment constitué par une zone de départ limoneuse. La remontée du matériel sableux par la faune du sol nous semble peu probable.

Les "stone-lines" malgaches sont en général discontinues dans les coupes transversales des versants ; d'autre part, il est extrêmement rare de les suivre jusqu'au sommet des croupes. On n'observe un moulage continu des versants que dans les parties aval des interfluves (Planche II).

Le recouvrement superficiel peut avoir pour origine un colluvionnement local, longitudinal ou transversal, depuis le sommet des croupes. Le colluvionnement se produit pendant une phase à saison sèche moins marquée (peut-être même sous végétation forestière) sous forme de "creep". C'est

— PLANCHE n° 2 —



— Disposition générale des stone-lines sur les versants —

peut-être pendant cette même phase que l'incurvation sommitale des filons de quartz s'opère par mouvements latéraux dûs à des glissements en masse. Cette phase colluviale est indéniable à Madagascar ; on l'observe dans le bassin versant de la Tafaina sous l'aspect d'un sol rouge argilo-sableux sans triage, qui fossilise, au pied du casque de Behenjy, un sol tourbeux développé sur une haute terrasse alluviale. Une nouvelle preuve indiscutable nous est donnée par une coupe observée, sur un versant, le long de la piste d'Ambatolampy, à 3 km est de Faratsiho. Cette coupe montre la superposition suivante :

0 - 50 cm Horizon brun, ferrallitique ; argileux ; peu structuré ; issu de roche basique (basalte) à 50 cm "stone-line" de quartz.
en dessous de 50 cm Zone de départ blanche, sableuse, qui conserve la structure originelle des migmatites.

La partie supérieure est allochtone ; elle provient du colluvionnement du matériau d'altération d'une coulée basaltique qui, à proximité, fossilise le socle.

Lorsqu'il y a superposition de "stone-lines", le matériau de la ligne de pierres supérieure est en général plus anguleux, à surface lisse, moins friable, en somme plus sain, évoquant une mise en place plus récente. Peut-on, dans ce cas, attribuer à cette "stone-line" de surface une origine anthropique ? Il nous paraît difficile d'expliquer le recouvrement même mince (20 à 50 cm) sous les conditions climatiques actuelles. Si le matériau est mis en état de mobilisation par le fait humain (surpâturage, feux de prairies, passages de troupeaux, ...) le transport est assuré par les agents d'érosion qui sont particulièrement agressifs et ne permettent pas l'immobilisation des fractions fines sur des versants en forte pente. Par contre, le décapage de l'horizon meuble superficiel peut être accéléré par l'action de l'homme et ainsi mettre à nu les lignes de pierres sous-jacentes avec, comme corollaire, leur remaniement et leur enrichissement en matériau frais.

3.2.2 - LES "STONE-LINES" SUR NIVEAUX LOCAUX D'APLANISSEMENT

Si la platitude du relief n'interdit pas d'envisager une mise en place des "stone-lines" par érosion en nappe, l'éloignement des reliefs résiduels et l'encaissement du système hydrographique (au moins 50 m) permettent difficilement d'expliquer la formation de l'horizon superficiel par colluvionnement. On suit difficilement cette "stone-line" du fait de l'absence de tranchées naturelles (incisions des lavaka) ou artificielles (routes et voies ferrées) ; elle n'est visible qu'à partir des fosses pédologiques qui sont toujours en nombre limité. Si le colluvionnement avait pour origine les reliefs résiduels éloignés, il devrait être antérieur à la phase correspondant à l'encaissement du système hydrographique et, à fortiori, à celle de construction des hautes terrasses bien décalées par rapport aux sommets. D'autre part, s'il y a eu décapage et mise à nu des filons de quartz sur ces niveaux d'aplanissement, il est logique d'admettre que les sols et les zones de départ limoneuses n'ont pas subsisté pendant cette phase sur les reliefs résiduels. Dans ce cas, au cours d'une phase postérieure, il faudrait croire que la pédogenèse ait été particulièrement intense pour donner le matériel fin nécessaire au recouvrement. Si celui-ci s'est fait à partir de reliefs résiduels (hypothèse difficilement envisageable) l'âge de ces formations serait extrêmement ancien. D'autre part, le colluvionnement devrait se différencier de l'horizon inférieur du fait du matériau parental différent (or il y a similitude des faciès des deux horizons).

On peut donc admettre deux possibilités qui nous semblent localement valables : l'alimentation de l'horizon supérieur est due au transport de matière à partir des reliefs locaux actuellement surbaissés, ou bien encore, rien n'interdit d'envisager l'intervention de la faune pour rendre compte de sa mise en place, d'autant plus que le lit de pierres situé au sein d'un sol profond présente tous les caractères d'un matériau très ancien. Il n'y a pas d'antinomie entre les deux explications et rien ne permet de lever l'indétermination.

4 - RELATIONS ENTRE TERRASSES ET "STONE-LINES" DE VERSANT

Cette relation avait déjà été pressentie par M.J.DRESCH (1962) "on peut dans certains cas suivre la "stone-line"... jusqu'à la plus haute (une dizaine de mètres) de deux terrasses qu'on voit souvent composer les plaines basses, discontinues, qui s'ouvrent entre les témoins des surfaces anciennes" (op. cit. p. 244). Une coupe visible en bordure de la route nationale Tananarive-Miarinarivo au PK 62,5, nous semble particulièrement intéressante à considérer (Photo 6). Elle montre une relation entre terrasse ancienne et "stone-line" de bas de versant. La photographie révèle sur la partie droite la superposition suivante : sol rouge de recouvrement - "stone-line" grossière à quartz anguleux - zone de départ beige jaunâtre à filons de quartz passant à la "stone-line".



Photo 6 -
Passage d'une stone-line à une ancienne terrasse.

Sur la partie gauche, on observe une masse de recouvrement de même aspect que le précédent mais sur une épaisseur de 3 m, puis un matériau alluvial argileux gris à stratification plus ou moins nette reposant sur un lit de quartz où l'on trouve juxtaposés des galets parfaitement roulés et des éléments sub-anguleux ; au dessous, s'étend la zone de départ hydromorphe grise. Dans ce cas précis, il est impossible d'admettre une origine en place pour l'horizon supérieur rouge ; pas plus qu'une remontée des particules fines. D'autre part, la "stone-line" a pu alimenter la terrasse dans une faible proportion (le matériel de terrasse est généralement plus grossier que celui de la "stone-line") mais le raccord "stone-line"/terrasse n'infère pas obligatoirement une évolution simultanée, les éléments grossiers de la "stone-line" ayant pu être remobilisés pendant une phase de creusement et participer à la formation du conglomérat de base de la terrasse. Cet exemple de raccord est presque unique (nous n'en connaissons que deux) pour plusieurs raisons, soit que la terrasse ait été déblayée ou que le versant exempt de filon de quartz ne possède pas de "stone-line", ou enfin du fait que les thalwegs s'installent dans les zones les plus pauvres en filons, ceux-ci constituant une armature aux interfluves.

Le long de la route nationale de Tananarive à Antsirabé, à 7 km d'Ambatolampy ainsi que sur la route de Miarinarivo, on observe fréquemment sous un horizon rouge de surface une ligne de pierres à l'aspect à la fois roulé ou sub-anguleux ; cette ligne est plus ou moins festonnée avec des contre-pentes sensibles (Photo 7). Certains observateurs y ont vu une "stone-line" classique, d'autres, au contraire, un fond d'ancien thalweg (il est vrai qu'un ruisseau coule à proximité, une ob-



Photo 7 -

Stone-line festonnée reposant sur le socle (la structure des gneiss est particulièrement bien conservée).

servation attentive montre l'absence de filons ou de bancs résistants liés aux inflexions du lit de pierres, l'ensemble de la ligne repose sur un matériel gneissique uniforme. D'autre part, on doit noter l'absence d'hydromorphie ancienne comme de sables usés dans la matrice aux matériaux grossiers. La phase grossière n'est jamais constituée d'éléments supérieurs à 7 ou 10 cm et exempte de blocs rocheux émoussés pourtant si fréquents dans le fond des thalwegs actuels. En remontant le versant, on trouve, dans les zones de fortes pentes, un épandage ici superficiel de galets roulés associés à des blocs anguleux. A environ 30 m au-dessus des cours d'eau, on passe localement à des accumulations où la proportion de galets roulés devient prépondérante. Il y a donc tout lieu de penser que ces accumulations correspondent à un conglomérat de base d'une ancienne terrasse remaniée dont les éléments fins ont disparu, les éléments grossiers ayant été épandus subséquentement à l'encaissement de la rivière. Les filons de quartz, les anciennes "stone-lines" et le conglomérat de base de l'ancienne terrasse ont participé à l'alimentation de ces épandages. On conçoit dans ces conditions l'hétérogénéité du matériau. Une phase colluviale a fossilisé l'épandage en bas de versant, ce qui lui donne l'aspect typique de "stone-line". Nous sommes dans le cas contraire de celui décrit précédemment : ici c'est l'ancienne terrasse qui a alimenté la "stone-line".

A Soavinimerina, le raccord versant-terrasse est très progressif (Photo 7) et s'effectue par un colluvium de bas de pente. Cette masse colluviale précédemment décrite est postérieure à la mise en place de la haute terrasse qu'elle fossilise en partie. Les lits grossiers sont très mal individualisés, ils se recoupent en isolant des lentilles sablo-argileuses. Le maintien de la fraction fine semble s'expliquer par un blocage dû au replat lié à la terrasse. L'incapacité d'évacuer les particules fines explique que ne puisse se réaliser une accumulation des éléments grossiers sous forme de lit. A un niveau supérieur, sur le versant situé au sud du thalweg, apparaît la "stone-line" à faciès classique. Cet exemple prouve que le processus ancien d'épandage et de triage s'effectue bien par l'érosion en nappe le long des versants.

5 - CONCLUSION

En résumé, selon la localisation et la nature des matériaux des "stone-lines", plusieurs processus de mise en place peuvent être envisagés. Il est donc possible d'aboutir à une convergence de formes liée à des processus différents. Pour les "stone-lines" de versant (cas le plus fréquent à Madagascar) la mise en place au cours de deux périodes où la saison sèche a été plus ou moins accentuée semble irréfutable. De ce fait, les "stone-lines" ont un intérêt morpho-climatique tout particulier, qui n'est pas sans incidence sur l'évolution des sols. Les relations entre terrasses et "stone-lines" offrent deux possibilités, soit l'alimentation de la "stone-line" par une ancienne terrasse remaniée, soit la reprise de la "stone-line" par la terrasse. Dans un précédent article (op. cit.) nous avons signalé l'existence de lavaka liée à des phases climatiques à saison sèche marquée. La datation au C 14 d'un sol tourbeux sur haute terrasse alimentée par les lavaka a donné un âge de $11\ 580 \pm 400$ ans. Ces anciens lavaka tout comme les anciennes "stone-lines" et les terrasses ne peuvent avoir une origine anthropique ; l'homme n'intervient que pour accélérer des processus naturels d'évolution de versant.

Pendant les périodes à saison sèche très marquée (type climat actuel de l'ouest malgache), il y a formation de lavaka et érosion intense. Les processus d'érosion linéaire et aréolaire ne s'excluent pas et peuvent modeler simultanément les versants. Actuellement les lambeaux de versant compris entre les lavaka actifs portent tous les signes de l'érosion en nappe. Ce climat est, d'autre part, favorable à l'épandage de matériau grossier (quartz et pseudo-concrétions) sur les versants et correspond à un alluvionnement maximum, et d'origine très variée, dans les thalwegs. Au contraire, pendant les phases très humides (accentuation et allongement de la saison des pluies), il y a tout lieu d'envisager une extension de la végétation forestière ; l'alluvionnement diminue, le rapport charge/débit est favorable au creusement et les éléments fins colluvionnent sur les versants. Donc, depuis une période antérieure à 12 000 ans nous pouvons présumer de l'existence de deux périodes climatiques à saison sèche marquée. La sécheresse du climat actuel est certainement accentuée par l'intervention de l'homme. Comme nous l'avons déjà signalé, il n'est pas nécessaire d'entrevoir des variations climatiques catastrophiques, mais seulement des nuances dans la longueur et l'intensité de la saison sèche (HERVIEU, 1964). L'insularité du milieu qui est proposé à notre étude atténue d'une façon sensible les variations climatiques et, par opposition à l'Afrique, en rend l'étude d'autant plus délicate. R. BATTISTINI (1964) a distingué plusieurs phases climatiques dans le sud malgache mais dans l'état actuel des études portant sur les Hautes Terres il nous paraît difficile d'établir des corrélations certaines avec la subdivision paléoclimatique proposée par l'auteur.

6 - BIBLIOGRAPHIE

- BATTISTINI (R.) - 1964 - *Etude géomorphologique de l'extrême sud de Madagascar* - Thèse d'Etat - Ed. Cujas, Paris, 636 p.
- BIROT (P.) - 1963 - Contribution à l'étude morphologique des "plateaux" du centre de Madagascar. *Madagascar, Rev. Géographie*, 3, p.1-43.
- CAILLEUX (A.), TRICART (J.) - 1957 - Termites et stone-line. *C.R.somm. Soc. Biogéographie*, juin, 293, 294, 296.
- DRESCH (J.) - 1962 - Sur quelques aspects régionaux du relief à Madagascar. *Bull. Ass. Géogr., Fr.*, nov-déc., n° 309-310, p.236-251.
- HEINZELIN (J. de) - 1952 - *Sols, paléosols, et désertifications anciennes dans le secteur nord-oriental du bassin du Congo*. Publ. I.N.E.A.C., Bruxelles, 172 p.
- HEINZELIN (J. de) - 1955 - *Observations sur la genèse des nappes de gravats dans les sols tropicaux*. Publ. série scientifique n° 64, I.N.E.A.C., Bruxelles, 37 p.

- HERVIEU (J.) - 1964 - Sur les témoins du remblaiement ancien dans la vallée moyenne du Mangoky. *Madagascar, Rev. Géographie*, 4, p.37-68.
- LAPORTE (G.) - 1962 - Reconnaissance pédologique le long de la voie ferrée COMILOG (Rép. du Congo). Rapp. ronéo O.R.S.T.O.M. Brazzaville, p.149.
- PETIT (M.), BOURGEAT (F.) - 1965 - Les lavaka malgaches, un agent naturel d'évolution des versants. *Bull. Ass. Géogr., Fr.*, n° 332-333, p.29-33.
- WAEGEMANS (G.) - 1953 - Signification pédologique de la stone-line. *Bull. Agric. Congo belge*, XLIV, 3, p.521-532.