



Aperçu de la phytodynamique holocène du milieu montagnard sur la chaîne volcanique des Virunga (Nord du Rwanda)

Overview of the Holocene environmental dynamics on the Virunga volcanic area, (Northern Rwanda)

Emile ROCHE ⁽¹⁾, Chantal KABONYI NZABANDORA ⁽²⁾ & Charles NTAGANDA ⁽³⁾

Abstract : Palynological studies of peatbogs located in the Virunga volcanoes area, in northern Rwanda, revealed important environmental events that occurred during the last 12000 years.

At the end of Upper Pleistocene, an expansion of heterogeneous woodlands results from a cold and rather wet climate.

During the humid and warm Holocene Period (7000-5000 years BP), an important increase of the afro-mountainous rain forest is recorded, simultaneous with increased rainfall and temperature.

At 4000 yrs BP, spreading of grasslands in the lowlands and of the afro-alpine belt in high altitude testifies that an aridity peak occurred at that time. Perturbations in the forest till 2000 years BP suggest the persistence of a climatic instability.

In the course of the first millennium AD, the rainforest grew again, that event being shortly interrupted by a drought around 500 years AD. At the beginning of the second millennium AD, began the human impact on the environment of the lava lowland. That one increased progressively till today.

Keywords : Rwanda – Virunga – Holocene – Environmental dynamics

Résumé : Après la présentation générale des caractéristiques environnementales actuelles du Rwanda, un aperçu de l'évolution holocène du milieu afro-montagnard du pays est proposé sur base de l'analyse palynologique de deux dépôts argilo-tourbeux situés respectivement à 1800 m et à 3030 m d'altitude sur les pentes méridionales de la chaîne volcanique des Virunga.

De la fin du Tardiglaciaire à ca.7000 ans B.P. se développe une forêt hétérogène dans laquelle les influences ombrophiles et mésophiles s'interpénètrent avec parfois une pointe de xéricité.

De ca.7000 ans à ca.5000 ans B.P. la forêt dense humide afro-montagnarde connaît une expansion maximale tant vers les bas de pentes que vers les sommets des reliefs, simultanément avec une augmentation de la pluviosité et de la température.

Ca.4000 ans B.P., une xéricité prononcée favorise l'expansion de milieux ouverts à basse altitude et des groupements afro-alpins et subalpins à haute altitude. Entre ca.3500 et ca.2000 ans B.P., une instabilité climatique persistante se traduit par une évolution environnementale contrastée avec un milieu forestier hétérogène à dominance mésophile et des milieux afro-alpins et afro-subalpins étendus en altitude.

A partir de 2000 ans B.P., sous un climat proche de l'actuel on enregistre une avancée de la forêt dense brièvement interrompue par une petite phase sèche ca.500 ans AD. L'influence anthropique dans la région commence à se manifester sur la plaine de lave au pied des volcans au début du second millénaire A.D.

Mots-clés : Rwanda – Virunga – Holocène – Phytodynamique

⁽¹⁾ Chef de Service honoraire de l'Africamuseum, Tervuren (Belgique)
Membre de l'Académie royale belge des Sciences d'Outre-Mer

⁽²⁾ Professeur à l'Université Officielle de Bukavu (R.D.Congo)

⁽³⁾ Docteur en Sciences de l'Université de Liège (Belgique)
Ancien Professeur à l'Université du Rwanda

INTRODUCTION

Le territoire du Rwanda se situe en Afrique centrale entre les parallèles 1° 04'S et 2° 51'S et les méridiens 28° 53'E et 30° 53'E. Le pays est adossé à la partie est de la branche occidentale du grand rift africain, dans le secteur du Lac Kivu.

Le Rwanda est une portion du socle africain, constituée de roches du Précambrien, dont le relief est le résultat des mouvements tectoniques qui lui ont modelé un aspect tourmenté.

GENERALITES

Orographie

Le relief du pays s'articule en trois unités topographiques principales disposées en escalier d'ouest en est auxquelles s'ajoutent, au nord, la chaîne des volcans Virunga et, au sud, la haute vallée de la Rusizi, exutoire du Kivu vers le lac Tanganyika (Fig. 1a).

La crête Congo-Nil

L'unité topographique la plus occidentale est la crête Congo-Nil ; celle-ci, d'une largeur de 20 à 50 km s'étire sur une longueur de 160 km. Son point culminant, le mont Muhungwe, à son extrémité septentrionale, atteint 2990 m d'altitude tandis que son niveau le plus bas est situé à 1200 m dans le col de Rugabano, synclinal se trouvant à mi-parcours de la dorsale. Celle-ci domine le Lac Kivu, dont le plan d'eau est à 1450 m, d'une dénivellation d'environ 1000 m en moyenne. Elle se raccorde au lac par un escarpement abrupt profondément entaillé par l'érosion et constitue par ailleurs la zone de partage des eaux entre les bassins du Congo et du Nil.

Le Plateau central

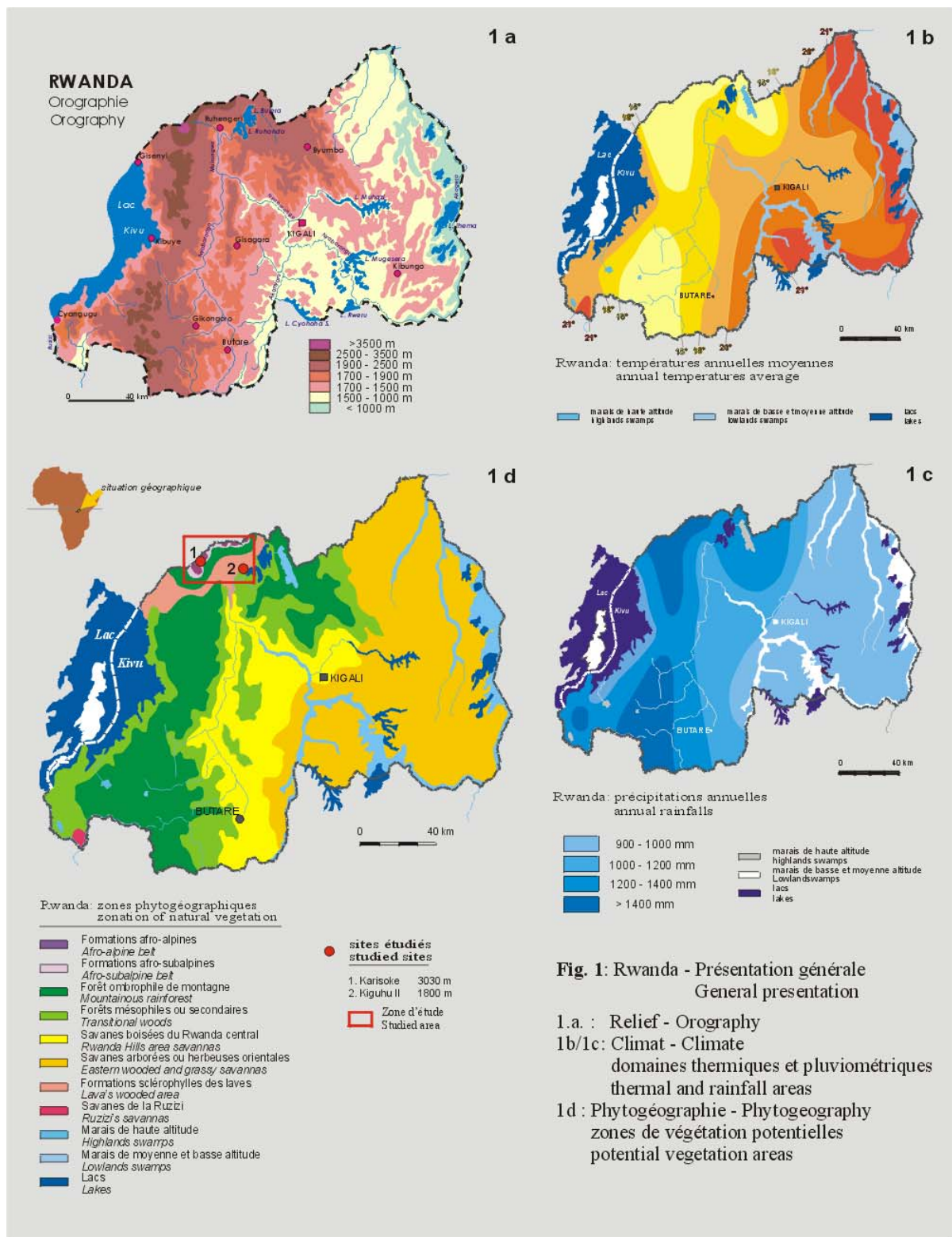
A l'est de la dorsale Congo-Nil, s'étale un vaste « plateau » dont l'altitude est comprise entre 2000 m et 1500 m d'altitude. Il couvre à peu près la moitié du pays sur une largeur d'environ 80 km. Cette surface, entaillée par les rivières, comporte une multitude de collines allongées, aux versants convexes, souvent raides, à partie sommitale plus ou moins plate.

L'étage oriental

Cette troisième unité topographique présente un relief dont les altitudes varient de 1500 m à 1000 m d'altitude. C'est une zone pénéplanée dont le paysage est caractérisé par de larges dépressions occupées par des lacs et des marécages.

La Chaîne des Volcans

Dans le nord-ouest du Rwanda, à sa frontière avec le Congo et l'Ouganda, une chaîne de cinq volcans orientée SO-NE surplombe tout le reste du massif rwandais. D'âge Pléistocène, ces volcans, aujourd'hui éteints, ont édifié à leur pied des champs de laves plus ou moins étendus. On distingue d'est en ouest le Muhabura (4127 m), le Gahinga (3475 m), le Sabyinyo (3624 m), Le Bisoke (3711 m) et le Karisimbi (4507 m). La chaîne se prolonge vers l'ouest, en territoire congolais, par le Mikeno (4437 m), le Nyamuragira (3056 m) et le Nyiragongo (3470 m) ; ces deux derniers sont toujours actifs et très virulents. Dans son extrémité occidentale, au nord du Kivu, la chaîne des Virunga barre le rift albertin (la branche occidentale du grand rift) sur toute sa largeur.



La Haute Rusizi

Dans l'extrême sud-ouest du Rwanda, des coulées basaltiques en nappes fortement disséquées, témoignent d'un volcanisme plus ancien que celui des Virunga. La haute vallée de la Rusizi, exutoire du Kivu vers le Tanganyika est logée dans une gorge sinueuse creusée dans ces dépôts volcaniques.

Climat

Soumis pendant la majeure partie de l'année à l'influence de l'Alizé du sud-est qui souffle en provenance de l'Océan indien et passe en se desséchant sur l'Afrique orientale, le Rwanda connaît un climat continental mais dont la rigueur est atténuée par les reliefs et la proximité des lacs.

Après avoir perdu une bonne partie de son humidité sur les crêtes bordières orientales de la dépression du Lac Victoria, l'Alizé s'en recharge au-dessus de cette dernière et des nombreux lacs régionaux. Il n'est toutefois pas suffisamment saturé pour arroser abondamment la partie orientale du pays ; ce n'est qu'en se refroidissant sur les reliefs occidentaux que les masses d'air libèrent d'importantes précipitations.

Ainsi, aux trois grandes unités topographiques qui constituent le relief correspondent trois principales nuances climatiques : chaud et sec à l'est, le climat devient tempéré sur le Plateau central puis frais et humide sur la Dorsale et les Volcans.

Les températures

La répartition des températures (Fig. 1b) sur le territoire du Rwanda obéit à un gradient thermique de décroissance altitudinale estimé à 0.7°C par 100 m de dénivellation (LIBEN, 1962).

Dans les régions orientales, les températures revêtent un caractère sub-équatorial avec des moyennes annuelles se situant autour de $20^{\circ}\text{--}21^{\circ}\text{C}$. Si l'oscillation thermique annuelle ne dépasse pas 1.6°C , l'oscillation thermique diurne est importante avec des matinées de $9\text{--}10^{\circ}\text{C}$ et des valeurs de $28\text{--}30^{\circ}\text{C}$ au milieu de la journée.

Sur le Plateau central, avec l'élévation du relief, les températures moyennes annuelles sont moins élevées, de l'ordre de $19^{\circ}\text{--}20^{\circ}\text{C}$, de même que l'amplitude annuelle qui se situe à 1.2°C . L'amplitude diurne est semblable à celle des régions orientales.

Les hautes terres de la Dorsale et les massifs volcaniques présentent un caractère thermique plus rude avec des moyennes annuelles de 17°C pour des amplitudes annuelles et diurnes faibles, respectivement de 0.8°C et 10°C .

Sur la façade orientale du Kivu, les moyennes annuelles enregistrées sont de 21°C au niveau du lac et de 20°C à 1600 m d'altitude.

Les précipitations

Le moteur principal des pluies qui arrosent le Rwanda est l'Alizé du sud-est. Il provoque, avec l'altitude, des pluies plus ou moins abondantes jusqu'au niveau des précipitations maximales situé approximativement à 2400 m (LIBEN, 1962). Au-delà de cette zone, il règne plutôt une atmosphère humide entretenue par des bruines et des brouillards.

La hauteur des précipitations est inversement proportionnelle à l'importance des températures (NTAGANDA, 1991). Les basses terres orientales sont peu arrosées, elles reçoivent moins de 1000 mm/an. Lorsqu'on se déplace vers l'ouest la pluviosité augmente, passant à 1200 mm/an sur le Plateau central et à 1400 mm/an, voire plus, sur la Dorsale. Sur les Volcans, elle avoisine parfois 2000 mm/an. En descendant l'escarpement occidental de la Dorsale, les masses d'air deviennent plus sèches et la quantité d'eau libérée diminue sensiblement, environ 1100 mm/an (Fig. 1c)

Au Rwanda, la période de juin à août est considérée globalement comme correspondant à la saison sèche. Elle est de trois mois pour le Plateau central et le bord du lac. Elle est de quatre mois, avec une prolongation en septembre, pour les basses terres orientales. Pour les régions de haute

altitude, la Dorsale Congo-Nil et les Volcans, l'effet orographique se manifeste par une réduction de la saison sèche à un peu plus d'un mois en juillet (ILUNGA *et al.*, 2004).

Hydrologie et dépôts quaternaires

Les événements volcaniques du nord-ouest du Rwanda, le soulèvement de la crête Congo-Nil et le basculement du bloc rwandais vers l'est ont provoqué l'inversion vers le sud du drainage de l'ancien réseau hydrographique dont l'écoulement se faisait initialement vers le nord.

L'actuel drainage des eaux du pays qui ne remonte pas au-delà du Pléistocène supérieur se répartit en deux bassins, celui du Kivu, tributaire du bassin du Congo via le Tanganyika et celui de la Nyabarongo-Akagera qui rejoint le Nil via le Lac Victoria.

A la suite du barrage imposé par les volcans à l'écoulement des anciens bassins vers le nord, le réseau hydrographique s'est réorganisé vers le sud et vers l'est. A une époque assez récente, estimée à 8000 ans B.P. (ILUNGA & ALEXANDRE, 1982), le Lac Kivu a été rattaché au Lac Tanganyika par un nouvel exutoire : la Rusizi. Les eaux de la Nyabarongo se sont, elles, déversées dans l'Akagera. Elles y ont provoqué un important alluvionnement et entraîné la formation, dans les territoires de l'est, l'Akagera et le Bugesera, d'énormes marécages et de lacs plus ou moins étendus auréolés de marais à *Papyrus* et de galeries forestières. Par ailleurs, avec l'évolution du réseau hydrographique, d'importants dépôts argilo-tourbeux ont été édifiés presque partout dans le pays.

DEUSE (1966) a reconnu dans ces milieux de dépôts, trois catégories principales : les tourbières de haute altitude, les tourbières de moyenne altitude et les marais à sols organiques.

Dans la première catégorie, les deux plus importantes sont celles de la Kamiranzovu, en forêt de Nyungwe au sud-ouest du Rwanda, qui s'étend sur 13 km² et le marais de Rugezi au nord, d'une étendue de plus de 40 km², dont les eaux se déversent par une série de chutes dans le Lac Bulera.

A côté de ces deux imposantes tourbières, les zones de haute altitude comprennent de nombreux sites de moindre superficie mais qui renferment de l'excellente tourbe sur des épaisseurs qui n'excèdent guère 6 m, citons notamment : les tourbières de Kiguhu et de Cyabaralika à l'ouest du Lac Ruhondo et celle de Gishoma, au sud de Cyangugu. Dans la chaîne des volcans, des dépôts argilo-tourbeux remplissent d'anciens cratères adventifs. Dans le marais de Karisoke situé sur un col séparant le Bisoke du Karisimbi l'épaisseur de la tourbe atteint 5 m.

A moyenne altitude, le plus vaste complexe marécageux est celui de l'Akanyaru, large de 3-4 km et long de 70 km en amont de sa confluence avec la Nyabarongo. L'épaisseur de la tourbe atteint 30 m sous une nappe de 3 à 4 m d'eau. Sur le Plateau central, où les rivières à faible pente évacuent difficilement leur charge sédimentaire, dans les fonds plats marécageux s'accumulent des dépôts grossiers en alternance avec des éléments plus fins sabo-argilo-tourbeux.

A basse altitude, plusieurs vallées marécageuses, anciennes vallées noyées, sont remplies d'un matériau argilo-tourbeux. On rencontre ce type de milieu aux abords du Kivu et dans les dépressions orientales.

Végétation

Afin d'interpréter de façon rationnelle l'évolution paléoenvironnementale holocène déduite des analyses palynologiques, il importe d'appréhender au mieux les bases de la phytosociologie régionale ; c'est pourquoi, celles-ci sont détaillées ci-après.

Actuellement, moins de 10% de la superficie du Rwanda est encore couvert par de la végétation naturelle. La flore des reliefs orientaux du rift albertin nous est donc principalement connue par les travaux qui font déjà date de DEVRED (1958), LEBRUN (1935, 1942, 1956, 1960a.b.c.), LEBRUN & GILBERT (1954), LIBEN (1962), TROUPIN (1966) mais qui rendent compte de façon plus fiable de l'aspect des paysages anciens du pays.

Dans la branche occidentale du rift africain, la végétation afro-montagnarde s'étale de 1600 m à plus de 4600 m d'altitude jusqu'au pied des glaciers de haute montagne. Sa composition floristique très complexe varie avec l'altitude et les conditions climatiques : exposition, température, précipitations et humidité atmosphérique, cette dernière étant toujours très importante. Les conditions édaphiques par contre ne constituent pas un facteur déterminant dans le développement des forêts de montagne.

La zonation forestière altitudinale est fonction de la situation géographique. Ainsi, des différences peuvent apparaître selon les régions ; c'est le cas pour les dorsales occidentale et orientale du Kivu ainsi que pour les pentes de la chaîne des volcans Virunga.

Au Rwanda, la limite inférieure de la forêt dense humide de montagne se situe vers 1700 m sur la dorsale Congo Nil et à 2000 m sur les volcans.

La dorsale Congo-Nil

Sur la dorsale Congo-Nil, la forêt ombrophile de montagne caractérise les territoires où les précipitations sont toujours supérieures à 1400 mm/an et où les températures (minima et maxima entre 11°C et 19°C) sont abaissées par les reliefs. Cette forêt est dominée par des grands arbres dont la taille peut atteindre les 30 m. Parmi les principales essences, on peut signaler : *Afrocrania volkensis*, *Alangium chinense*, *Albizia gummifera*, *Carapa grandiflora*, *Ekebergia ruppeliana*, *Entandrophragma excelsum*, *Fagara mildbraedii*, *Ficalhoa laurifolia*, *Ilex mitis*, *Olea hochstetteri* (= *O. capensis*), *Olea welwitschii*, *Parinari excelsa*, *Podocarpus milanjanus*, *Podocarpus usambarensis*, *Prunus africana*, *Strombosia scheffleri*, *Symphonia globulifera*, *Syzygium parvifolium*, *Trichilia volkensis*.

Dans l'enchevêtrement des petits arbres et arbustes encombrant les sous-bois, on rencontre : *Alchornea hirtella*, *Allophylus oreophilus*, *Dracaena ofromontana*, *Ensete ventricosum*, *Galiniera coffeoides*, *Jasminum pauciflorum*, *Mimulopsis arborescens*, *Myrica salicifolia*, *Rauvolfia mannii* et des fougères arborescentes.

La forêt ombrophile n'existe plus aujourd'hui qu'à l'état de reliques sur la dorsale, sauf au sud de celle-ci, où un massif étendu de quelque 900 km², la forêt de Nyungwe, est considéré comme milieu naturel à protéger. La crête Congo-Nil sépare cette forêt en deux blocs ; un bloc occidental couvert par une forêt dense et un bloc oriental par une forêt plus ouverte.

Les déprédations diverses d'origine anthropique ont permis le développement, au détriment de la forêt ombrophile, d'espèces héliophiles à croissance rapide caractéristiques de forêts secondaires ; on peut mentionner, notamment : *Bridelia brideliifolia*, *Cassipourea ruwenzoriensis*, *Croton macrostachyus*, *Dombeya goetzenii*, *Hagenia abyssinica*, *Macaranga neomildbraediana*, *Neoboutonia macrocalyx*, *Polyscias fulva*.

D'une façon générale, on perçoit encore une certaine zonation dans les reliquats de forêt dense subsistants où certaines espèces sont dominantes selon l'altitude :

- Un horizon inférieur, de 1700 m à 2000 m où prédominent *Alangium chinense*, *Carapa grandiflora*, *Entandrophragma excelsum*, *Fagara mildbraedii*, *Ficalhoa laurifolia*, *Trichilia volkensis*
- Un horizon moyen, de 2000 m à 2200 m où on rencontre plus fréquemment *Ekebergia ruppeliana*, *Ensete ventricosa*, *Olea hochstetteri* (= *O. capensis*), *Parinari excelsa*
- Un horizon supérieur, de 2200 m à 2500 m où le cortège floristique comprend surtout *Podocarpus milanjanus*, *Podocarpus usambarensis*, *Afrocrania volkensis*, *Galiniera coffeoides*, *Ilex mitis*, *Myrica salicifolia*, *Prunus africana* (= *Pygeum africanum*), *Strombosia scheffleri*, *Symphonia globulifera*

Au sommet de l'horizon supérieur, il n'était pas rare autrefois de rencontrer des massifs de bambous (*Sinarundinaria alpina*) évoluant vers une association à *Sinarundinaria-Podocarpus* ; la secondarisation de cet ensemble menant à l'installation d'un maquis à *Cornus volkensis* – *Agauria salicifolia*. Actuellement des îlots assez restreints de bambous subsistent çà et là sur les sols pauvres de la dorsale excepté au sud de la forêt de Nyungwe, à la frontière avec le Burundi, où une bambousaie d'une certaine étendue existe encore.

Au-dessus de l'étage de la forêt ombrophile de montagne, la diminution des précipitations et la baisse des températures nocturnes limitent l'extension de cette dernière. Elle est remplacée par des fourrés à dominance d'Ericaceae ; on recense, comme espèces principales : *Agauria salicifolia*, *Dracaena afromontana*, *Erica kingaensis*, *Faurea saligna*, *Hypericum revolutum*, *Philippia johnstonii*, *Protea welwitschii*, *Rapanea melanophloeos*.

Une particularité de la dorsale se remarque dans la forêt de Nyungwe avec, localement, un étagement de la végétation inverse de celui connu sur les autres montagnes de l'Afrique intertropicale : des peuplements à *Hagenia abyssinica* se trouvent insérés dans un étage inférieur

discontinu à *Philippia johnstonii* surmonté d'un étage supérieur à *Macaranga neomildbraediana* et *Syzygium parvifolium*. Cette disposition correspondrait à un microclimat local régnant dans les vallées encaissées où des inversions thermiques provoquent des conditions plus rudes dans les fonds et sur les versants, à l'inverse des sommets restant plus tempérés.

Les Virunga

La région des Virunga du moins en ce qui concerne les pentes inférieures des reliefs est une zone d'occupation humaine déjà très ancienne, remontant à plusieurs siècles (VAN NOTEN, 1983 ; GIBLIN & FULLER, 2011). Actuellement, défrichements et mises en cultures atteignent 2500 m d'altitude (Pl 2), si bien que pour avoir des notions plausibles de la végétation ancienne de la région, il faut se référer à des travaux phytosociologiques de la première moitié du 20^{ème} siècle (SNOWDEN, 1933 ; LEBRUN, 1935, 1942, 1960,a.b.c. ; DEVRED, 1958 ; LIBEN, 1962) quand, à l'époque, des reliques de végétation originelle étaient encore observables.

Sur les Virunga, l'horizon inférieur du milieu forestier montagnard est le domaine de forêts denses sèches occupant la Plaine de lave, territoire entourant les volcans entre 1500 m et 2000 m d'altitude. Les sols poreux dérivés des laves y entretiennent une certaine aridité édaphique créant une situation de déséquilibre hydrique potentiel favorable au développement de forêts sclérophylles composées de *Allophylus oreophilus*, *Cadaba farinosa*, *Capparis erythrocarpa*, *Carissa edulis*, *Commiphora africana*, *Cornus volkensii*, *Croton dichogamus*, *Cussonia holstii*, *Euphorbia dawei*, *Grewia bicolor*, *Jasminum eminii*, *Lannea fulva*, *Olea chrysophylla*, *Rhamnus prinoides*, *Securinega virosa*. Selon LIBEN (1962), le climax de la basse plaine (1500-1800 m) serait représenté par *Carissa edulis*, *Cussonia holstii*, *Grewia similis*, *Olea chrysophylla* et le climax de la haute plaine (1800-2000 m) par *Afrocrania volkensii* et *Bersama ugandensis* associés à des taxons plus orophiles tels *Agauria* et *Myrica*.

Au-delà de 2000 m d'altitude, le milieu devient nettement montagnard. Jusqu'à 2500 m, on retrouve la forêt dense humide afromontagnarde typique à *Agauria salicifolia*, *Alangium chinense*, *Alchornea glabrata*, *Clusia abyssinica*, *Ekebergia ruppeliana*, *Entandrophragma excelsum*, *Fagara kivuensis*, *Ficalhoa laurifolia*, *Galiniera coffeoides*, *Ilex mitis*, *Maesa lanceolata*, *Maesa rufescens*, *Myrica salicifolia*, *Neoboutonia macrocalyx*, *Ocotea usambarensis*, *Olea hochstetteri*, *Parinari holstii*, *Podocarpus milanjanus*, *Podocarpus usambarensis*, *Pygeum africanum*, *Rapanea pulchra*, *Schefflera mildbraedii*, *Trichilia volkensii*.

Cette forêt n'est pas uniforme, elle change d'aspect avec l'altitude. Ainsi, dans l'horizon inférieur, on a une dominance d'*Alangium chinense*, *Entandrophragma excelsum*, *Fagara kivuensis*, *Neoboutonia macrocalyx*, *Parinari holstii* ; dans l'horizon supérieur d'*Ilex mitis*, *Maesa lanceolata*, *Podocarpus milanjanus*, *Podocarpus usambarensis*, *Pygeum africanum*, *Rapanea pulchra* et *Trichilia volkensii*.

A partir de 2500 m et jusqu'à 2600 m, au-dessus du niveau des précipitations maximales où se manifeste un certain caractère de sécheresse, on rencontre des peuplements purs très denses de bambous pouvant atteindre jusqu'à 20 mètres de haut. Dans la formation à *Sinarundinaria alpina* on trouve parfois quelques arbres de l'horizon forestier supérieur ou quelques arbustes du massif d'Ericacées sus-jacent. Le bambou présente une grande plasticité écologique ; on peut le rencontrer à des altitudes plus basses ou plus élevées que son niveau habituel. Par ailleurs, il ne constitue pas un étage en tant que tel, il occupe des espaces plus ou moins étendus au gré des conditions environnementales, notamment édaphiques, régionales (LEBRUN, 1935). Dès l'horizon à bambous, on entre dans le domaine des formations sèches montagnardes où la baisse des précipitations crée une certaine xéricité édaphique. Toutefois, sous des températures plus basses, une humidité atmosphérique est entretenue par des bruines et des brouillards.

A 2700 m, on voit apparaître les premiers *Hagenia*. A cette altitude, on entre dans l'étage afro-subalpin ; ce dernier s'étend jusqu'à 3700 m d'altitude. A la limite inférieure de la zone, *Hagenia abyssinica* se retrouve en mélange avec des bambous et de rares *Podocarpus* puis, jusqu'à 2900 m – 3000 m, selon l'orientation des versants, le genre constitue des formations assez pures où peuvent s'insinuer des Sèneçons arborescents. Entre 3000 m et 3200 m, *Hagenia abyssinica* forme

Planche 1 - *Plate 1*

Paysages - *Landscapes*

- 1.2. Cratère du Bisoke : végétation afro-alpine
Bisoke crater : afro-alpine vegetation
3. Sommet du Bisoke : végétation afro-alpine (Lobélies et Sénéçons)
Top of the Bisoke : afro-alpine vegetation (Lobelias and Senecios)
4. Cratère du Karisimbi : milieu afro-alpin
Karisimbi crater : afro-alpine environment
5. Karisimbi : ceinture d'*Ericaceae*
Karisimbi : Ericaceae belt
6. Karisoke : Forêt-parc à *Hagenia-Hypericum*
Karisoke : Hagenia-Hypericum Park-forest
7. Karisimbi : Forêt ombrophile, étage supérieur (*Podocarpus, Hagenia, Dendrosenecio*)
Karisimbi : Rainforest, Upper belt (Podocarpus, Hagenia, Dendrosenecio)
8. Karisimbi : zone à bambous - *Bamboo's area*
9. Dorsale Congo-Nil : Forêt afro-montagnarde
Congo-Nile ridge : Afro-mountain forest
10. Dorsale Congo-Nil : Forêt ombrophile de montagne
Congo-Nile ridge : Mountain rainforest
11. Dorsale Congo-Nil : Forêt mésophile
Congo-Nile ridge : Mesophilous forest
12. Virunga : Forêt sclérophylle de la Plaine de lave (1800-2000 m)
Virunga : Sclerophyllous forest on the Lava Plain (1800-2000 m)
13. Akagera : Savane boisée orientale
Akagera : Eastern wooded savanna
14. Akagera : Savane herbeuse orientale
Akagera : Eastern grassy savanna
15. Plateau central : savane arborée
Central Plateau : Wooded grassland
16. Akanyaru : grande vallée marécageuse de moyenne altitude (zone humide à *Papyrus*)
Akanyaru : Marshy area of medium altitude (Papyrus wetland)
17. Bugesera : Forêt galerie - *Gallery forest*

Planche 1- Plate 1
PAYSAGES - LANDSCAPES



Rwanda : Végétation naturelle - Natural vegetation

Photos : E.Roche

avec *Hypericum lanceolatum* une « forêt-parc » ouverte de 10-15 m de haut. Cette formation est typique de la chaîne des Virunga.

Font suite à la forêt-parc jusqu'à 3700 m des fourrés à bruyères arborescentes de 8-10 m de haut à *Erica arborea*, *Erica kigaensis*, *Philippia johnstonii* sous lesquels se développe une strate muscinale à *Sphagnum* alors que dans ce milieu à brouillards permanents les épiphytes du genre *Usnea* sont abondants.

Au-dessus de 3700 m, on entre dans l'étage afro-alpin ; cet espace s'étend jusqu'au sommet des reliefs qui culmine à 4507 m au Karisimbi. La couverture végétale à ces altitudes est constituée de landes à Lobélies géantes (*Lobelia lanuriensis*, *Lobelia wollastonii*) et à Sénéçons arborescents (*Dendrosenecio adnivalis*, *Dendrosenecio johnstonii*) ainsi que de pelouses à Alchémilles (*Alchemilla johnstonii*, *Alchemilla kivuensis*) et Immortelles (*Helichrysum erici-rosenii*, *Helichrysum mildbraedii*, *Helichrysum nandense*, *Helichrysum stuhlmanii*).

Pour délimiter les étages de végétation sur les flancs des volcans où il n'est pas rare de voir les composantes des différents horizons s'interpénétrer à leurs limites respectives, LIBEN (1962) a proposé de se référer à l'indice de Lang (Rapport Précipitations/Températures) qui varie selon l'altitude. Si la température connaît une diminution linéaire de 1500 m à 4500 m (Moyenne annuelle : 20°C à 1500m ; 4°C à 4000 m), les précipitations passent par des valeurs maximales au niveau de la forêt dense humide afro-montagnarde avec des taux proches de 2000 mm/an à 2400 m (1800 mm/an à 2000 m et 2600 m pour des températures variant de 16°C à 12°C) et des valeurs minimales de l'ordre de 1200 mm à 1600 m et à 4000 m d'altitude. Ainsi, les formations sclérophylles des laves ont un P/T compris entre 50 et 85 avec, pour la basse plaine de lave, plus xérophile, des valeurs allant de 50 à 65 et pour la haute plaine, plus mésophile, des valeurs comprises entre 65 et 85. Pour la forêt ombrophile de montagne, l'indice de Lang varie de 85 à 150 et pour l'étage subalpin de 150 à 250. Les valeurs supérieures à 250 caractérisent l'étage alpin.

Le Plateau central

Sur le Plateau central, entre 1500 m et 1700 m d'altitude, les reliques de formations boisées qui existaient naguère dans la région ont pratiquement disparu. Dans les années cinquante, on pouvait encore y rencontrer des lambeaux de savanes boisées à divers Acacias où croissaient également d'autres espèces ligneuses comme *Albizia adianthifolia*, *Bridelia micrantha*, *Carissa edulis*, *Combretum* div.sp., *Dombeya kirkii*, *Entada abyssinica*, *Erythrina abyssinica*, *Euphorbia* div.sp., *Ficus* div.sp., *Harungana madagascariensis*, *Hymenocardia acida*, *Markhamia lutea*, *Maytenus senegalensis*, *Parinari curatellifolia*, *Protea madiensis*, *Rhus vulgaris*, *Solanum* sp., *Ziziphus mucronata* (LEBRUN, 1954).

Les territoires orientaux

Les forêts sèches

A l'est du Rwanda, en divers endroits de l'Akagera et du Bugesera, il subsiste encore des reliquats de forêts sèches.

C'est dans le Parc national de l'Akagera qu'on peut voir encore les plus typiques de ces formations grâce à la protection dont jouit cette région depuis 1934. LEBRUN (1956) y décrit, sur les chaînes montueuses bordant la rivière Akagera, des forêts basses, de 10 à 15 m de haut qu'il qualifie de « maquis » et qui comportent, comme essences principales *Croton dichogamus* et *Euphorbia dawei* associées à d'autres éléments ligneux tels *Canthium lactescens*, *Carissa edulis*, *Commiphora africana*, *Euclea schimperi*, *Lannea fulva*, *Olea europea* var. *africana*...

Dans la même région, TROUPIN (1966) distingue trois types de forêts sèches :

- Des forêts xérophiles à *Albizia petersiana*, *Apodytes dimidiata*, *Croton dichogamus*, *Euphorbia dawei*, *Haplocoelum gallaense*, *Olea europea* var. *africana*...
- Des forêts méso-xérophiles à *Canthium schimperianum*, *Drypetes gerardii*, *Haplocoelum gallaense*, *Tricalysia congesta*...

- Des forêts mésophiles à *Acalypha bipartita*, *Allophylus africanus*, *Croton macrostachyus*, *Rhus vulgaris*, *Paullinia pinnata*, *Securinega virosa*...

Au Bugesera, les lithosols graveleux des flancs de collines étaient naguère couverts de forêts sèches à *Apodites dimidiata* var. *acutifolia* et *Carissa edulis* (LIBEN, 1962). Ces forêts comportant en outre *Asparagus subfalcatus*, *Capparis fascicularis* var. *elaeagnoides*, *Euclea schimperii*, *Grewia similis*, *Maytenus senegalensis*, *Olea europaea* var. *africana*, *Scutia myrtina*, *Teclea nobilis* n'existent plus qu'en de très rares endroits ; cette formation a cédé la place aux cultures et aux pâturages.

Cependant, dans la nature originelle, les forêts sèches devaient occuper de grandes étendues ; en effet, des arbres et boqueteaux isolés rencontrés sur le Plateau central témoignent vraisemblablement de l'existence, dans le passé, d'une vaste forêt méso-xérophile jouant un rôle charnière entre la forêt mésophile montagnarde et les formations xérophiles orientales.

Malgré l'éradication sévère des milieux naturels, on peut encore voir aussi localement, autour des lacs de l'Akagera et du Bugesera, des restes de galeries forestières à *Cyperus papyrus*, *Acalypha* div. sp., *Phoenix reclinata*, *Syzygium cordatum*...

Les savanes boisées

Dans les territoires orientaux, sur les pentes et le sommet des collines, la couverture végétale reste assez riche en éléments ligneux. L'élément le plus caractéristique de cet ensemble arboré est constitué de diverses espèces d'Acacias auxquelles s'associent notamment : *Albizia adianthifolia*, *Allophylus africanus*, *Annona senegalensis*, *Canthium schimperianum*, *Combretum collinum*, *Cussonia arborea*, *Euphorbia candelabrum*, *Fagara chalybea*, *Ficus* div. sp. *Markhamia obtusifolia*, *Maytenus senegalensis*, *Olea europaea* var. *africana*, *Rhus natalensis*, *Pappea capensis*, *Parinari curatellifolia*, *Ziziphus mucronata*. Ces formations boisées se rencontrent aussi sur les colmatages des têtes de vallées, sur les piémonts ou en bordure des lacs.

Dans le Bugesera, des bosquets xérophiles formés autour d'un grand arbre, *Acacia* div.sp., *Euphorbia candelabrum* ou *Grewia trichocarpa*, étaient naguère abondants dans le paysage. Aujourd'hui en régression sous la pression anthropique, ils constitueraient, selon LIBEN (1962), un stade de dégradation d'une forêt claire primitive, à affinités zambéziennes, dont la disparition serait le fait de divers facteurs : changement climatique, feux courants, pacage, défrichement.

Les savanes herbeuses

Des formations herbeuses à *Bothriocloa insculpta* et *Themeda triandra* se développent dans l'Akagera sur les sols alluvionnaires des vallées sèches, inondés durant chaque saison des pluies. Par contre, sur les sols squelettiques des crêtes et des pentes des collines, c'est la savane à *Hyparrhenia* sp., *Loudetia simplex* et *Themeda triandra* que l'on rencontre régulièrement.

Au Bugesera, les savanes à *Bothriochloa insculpta* et *Themeda triandra* occupent les fonds de vallées sèches non encore cultivées. Sur les plateaux, les sols ocre-jaune sont couverts de savanes à *Loudetia simplex* et *Heteropogon contortus* tandis que les colluvions sont colonisés par des pelouses à *Brachiaria eminii* ou à *Ctenium concinuum*.

Ces formations piquetées d'arbustes dispersés sont apparemment stables, un équilibre s'étant établi, semble-t-il, entre elles et les feux courants qui les traversent en saison sèche (pyroclimax).

SITES ETUDIES

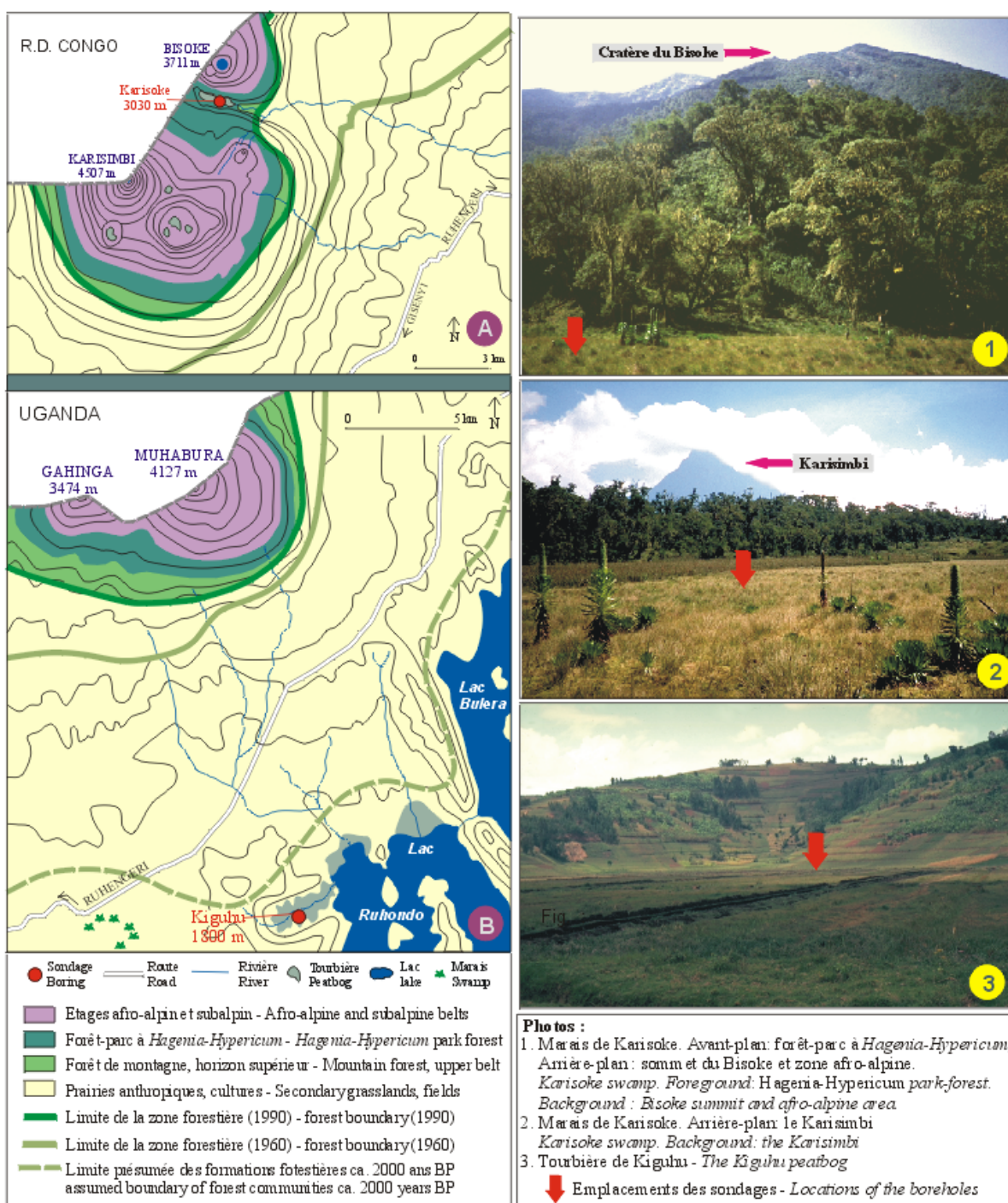
Les deux sites étudiés se situent au nord-ouest du Rwanda entre le complexe lacustre constitué par les lacs Bulera et Ruhondo et le sommet de la chaîne des volcans qui culmine au Karisimbi à 4507 m d'altitude (Fig.1.d – Pl.2).

Le marais de Kiguhu (coordonnées : 1°29' S – 29°43' E / altitude : 1800 m) occupe une petite vallée perchée de quelque 2 km de long pour 500 m de large maximum dominant le Lac Ruhondo dans lequel il déverse ses eaux par un exutoire étroit. Le site est surplombé, à quelques kilomètres seulement par un des grands édifices du massif des Virunga, le volcan Muhabura (4127 m).

Localisé au pied de la Plaine de lave, le marais a succédé à une petite étendue lacustre (Photos aériennes de 1953) frangée autrefois d'une galerie forestière dominée par *Mitragyna*. Aujourd'hui, toute végétation naturelle a disparu aux alentours qui ne sont plus occupés que par des cultures.

Planche 2- Plate 2

Sites



Le marais de Karisoke (coordonnées : 1°27' S- 29°27' E / altitude : 3030 m) occupe une petite dépression de 2 ha située au sein du col séparant le Karisimbi du Bisoke. Son drainage actuel s'effectue par un petit cours d'eau qui dévale, en saison des pluies, jusqu'au pied du Bisoke. La végétation du marais, piquetée de lobélies, est constituée essentiellement de graminées et de cypéracées. La végétation forestière avoisinante est dominée par *Hagenia abyssinica* avec, en sous-bois, des arbustes d'*Hypericum revolutum*. A cette altitude on se trouve à la limite supérieure de la forêt afro-montagnarde.

MATERIEL ET METHODES

Sondages

Le marais de Kiguhu recèle des dépôts organiques à faible teneur en cendres résultant de l'accumulation d'une importante biomasse végétale. Le profil sédimentaire est principalement constitué d'un matériau tourbeux brun-noir à noir s'enrichissant en argile avec la profondeur. Divers prélèvements de prospection ont été effectués préalablement à la réalisation du sondage définitif, à un endroit du marais où l'épaisseur du dépôt s'est révélée être la plus épaisse (plus de cinq mètres)

Le sondage de Karisoke a été effectué dans la zone centrale du marécage. La succession des dépôts dont l'épaisseur totale est de 4,5 m varie d'une tourbe argileuse noire à une argile sableuse grisâtre. La base de la séquence, au contact avec la roche volcanique sous-jacente, est constituée d'un sable fin grisâtre.

Les sondages ont été effectués à l'aide d'une sonde de type HILLER IIa à deux demi-cylindres creux emboîtés, l'un fixe, l'autre mobile, délimitant une chambre intérieure destinée à recevoir les carottes sédimentaires.

L'évolution sédimentologique des séquences est décrite aux figures 2 et 3. L'échantillonnage pour l'analyse palynologique a été effectué tous les 10 cm dans chacune des séquences prélevées. Des datations ¹⁴C conventionnelles établissent la chronologie.

Les datations ¹⁴C ont été réalisées par les laboratoires de Louvain-la-Neuve (Belgique) et de Hanovre (Allemagne)

Kiguhu

- 0.60 m : 1145 +/- 130 BP (Hv.12115)
- 1.30 m : 2250 +/- 90 BP (Hv.12116)
- 1.75 m : 3915 +/- 375 BP (Hv.12118)
- 1.95 m : 4670 +/- 240 BP (Hv.12117)
- 3.20 m : 8800 +/- 120 BP (Lv.1826)
- 5.10 m : 11270 +/- 120 BP (Lv.1827)

Karisoke

- 2.05 m : 2840 +/- 80 BP (Lv.1799)
- 2.95 m : 5460 +/- 75 BP (Hv.11135)

Traitements

L'extraction du matériel fossile a été réalisée par le procédé de l'acétolyse, technique mise au point par ERDTMAN (1960) pour le traitement d'un matériel organique. Pour les échantillons contenant des particules minérales, l'acétolyse est précédée d'un traitement à l'HF.

Déterminations et comptages des pollens

La détermination des taxons a été effectuée sous microscope photonique ZEISS JENAVAL à l'aide d'une collection de lames de références et d'une collection iconographique du Laboratoire de

Paléopalynologie de l'Université de Liège (Belgique) Pour chaque lame, un minimum de 500 grains a été compté.

Présentation des résultats

Dans ce travail, la présentation des analyses palynologiques est faite sous forme de graphiques condensés où les assemblages polliniques peuvent être assimilés à des groupements écologiques (Tableau 1).

On aura ainsi, selon un schéma classique, les assemblages suivants :

- La végétation afro-alpine et afro-subalpine
- La forêt ombrophile de montagne
- La forêt mésophile ou secondaire
- Les milieux ouverts et de savanes
- Les varia ou ubiquistes
- La flore locale marécageuse

Toutefois, le schéma classique repris dans le Tableau 1 ci-dessous doit être adapté à l'environnement particulier de la chaîne des volcans. Si, à partir de 2000 m d'altitude, on retrouve la forêt dense afro-montagnarde habituelle (LEBRUN, 1960), sous cette limite la forêt mésophile fait place à des formations particulières de la Plaine de lave, la forêt sclérophylle de la Haute plaine et les milieux boisés xérophiles de la Basse plaine. Bon nombre de taxons mésophiles repris dans le Tableau 1 ont la plasticité écologique nécessaire pour figurer dans le cortège floristique sclérophylle comme *Allophylus*, *Bridelia*, *Celtis*, *Clusia*, *Croton*, *Dombeya*, *Maytenus*, *Myrica*, *Solanum*, *Trema*. Même certains taxons de la forêt dense de montagne peuvent se retrouver sur la Haute plaine tels : *Entandrophragma*, *Galiniera*, *Schefflera*. Quant aux taxons de milieux ouverts de savane, on les rencontre dans les milieux boisés xérophiles de la Basse plaine, à savoir : *Acanthus*, *Capparis*, *Cassia*, *Combretum*, *Dodonea*, *Erythrina*, *Euphorbia*, *Protea*, *Rhus* pour les ligneux ; *Ipomea*, *Justicia*, *Kalanchoe*, *Leonotis*, *Triumfetta*, *Vigna* pour les herbacés.

Parmi les assemblages polliniques repris dans le Tableau 1, certains taxa figurant en encadré se distinguent par un comportement environnemental particulier.

- Les Ericaceae sont représentatives du milieu afro-subalpin ; la variation de leur taux de représentativité par rapport à celle des éléments afro-alpins témoigne des mouvements de végétation altimontains. Si certaines espèces comme *Erica arborea* et *Philippia johstonii* sont plutôt limitées à la haute altitude, d'autres comme *Agauria salicifolia* jouissent d'une plasticité écologique permettant de se retrouver jusque dans l'horizon inférieur de la forêt ombrophile.
- *Podocarpus* est l'élément dominant de l'horizon supérieur de la forêt dense afro-montagnarde où la pluviosité est en retrait par rapport au maximum des horizons inférieurs. La zone à *Podocarpus* se caractérise par des températures plus basses et une humidité atmosphérique entretenue par des bruines et des brouillards persistants.
- Dans la région des volcans, *Hagenia abyssinica* est une composante d'une forêt-parc à *Hagenia-Hypericum* se situant à la limite supérieure de la forêt ombrophile de montagne. Cette espèce peut cependant se retrouver plus bas sur les reliefs lors d'un refroidissement climatique ou lors d'inversions de températures provoquées par des vents froids s'engouffrant dans des vallons encaissés à flanc de montagne.
- Les Poaceae ont ici une particularité : elles ne représentent pas nécessairement un milieu savanicole. LIBEN (1962) signale que les pourcentages en espèces herbacées sont toujours plus importants dans les forêts de montagne, même ombrophiles, que dans les forêts denses planitiaires. En montagne, la progression des herbacées et notamment des Poaceae peut traduire une ouverture du milieu forestier et donc refléter des éclaircies dans les milieux boisés plutôt qu'une avancée de la savane. Cette dernière pourrait cependant se manifester lors d'une régression de milieux xérophiles, plus ouverts par nature.
- A basse altitude, les Asteraceae représentent des milieux ouverts de savanes ou des milieux boisés xérophiles ou sclérophylles où elles peuvent se développer sous un couvert assez aéré. En haute altitude elles peuvent représenter les milieux afro-alpins situés au-dessus de la limite supérieure des arbres où la rudesse du climat (basses températures nocturnes, précipitations plus faibles) entretient

une sécheresse édaphique. Ce sont les milieux de haute montagne à Sénéçons et Lobélies géants (*Dendrosenecio johstonii*, *Senecio mariettae* – *Lobelia wollastonii*, *Lobelia lanuriensis*) et à Immortelles (diverses espèces d'*Helichrysum*). Les Sénéçons arborescents peuvent aussi se trouver mêlés à *Podocarpus* et *Hagenia* au sein de l'horizon supérieur de la forêt ombrophile.

- Les Cyperaceae constituent la composante herbacée principale des zones marécageuses. A l'altitude des deux sites, il s'agit de divers *Cyperus*, exception faite de *Cyperus papyrus* qui ne dépasse pas 1700 m en altitude.

Tableau 1 : Assemblages polliniques (= Groupements écologiques)		KIGUHU (1800 m)	KARISOKE (3030 m)
Groupements afro-alpins et subalpins			
Ericaceae		•	•
Alchemilla		•	•
Afrocrania		•	•
Anagallis		•	•
Hypericum		•	•
Lobelia		•	•
Forêt primaire ombrophile			
Podocarpus		•	•
Olea (type capensis)		•	•
Alchornea		•	•
Carapa		•	•
Canthium		•	•
Entandrophragma		•	•
Elkebergia		•	•
Ficalhoa		•	•
Galiniera		•	•
Ilex		•	•
Maesa		•	•
Pygeum		•	•
Sapium		•	•
Schefflera		•	•
Symphonia		•	•
Syzygium		•	•
Impatiens		•	•
Urticaceae		•	•
Forêt mésophile ou secondaire			
Hagenia		•	•
Allophylus		•	•
Apodytes		•	•
Bridelia		•	•
Celtis		•	•
Clausena		•	•
Clusia		•	•
Croton		•	•
Dombeya		•	•
Macaranga		•	•
Maytenus		•	•
Myrica		•	•
Neoboutonia		•	•
Polyscias		•	•
Solanum		•	•
Trema		•	•
Xylocarpus		•	•
Milieux ouverts et de savanes			
Eléments ligneux			
Acanthus		•	•
Cadaba		•	•
Capparis		•	•
Cassia		•	•
Combretum		•	•
Dodonea		•	•
Erythrina		•	•
Euclea		•	•
Euphorbia		•	•
Protea		•	•
Rhus		•	•
Eléments herbacés			
Poaceae		•	•
Ipomea		•	•
Justicia		•	•
Kalanchoë		•	•
Leonotis		•	•
Ocimum		•	•
Triumfetta		•	•
Vigna		•	•
Varia - Ubiquistes			
Asteraceae		•	•
Amaranthaceae-Chenopodiaceae		•	•
Caryophyllaceae		•	•
Clematis		•	•
Jasminum		•	•
Polygala		•	•
Ranunculus		•	•
Rumex		•	•
Umbelliferae		•	•
Milieux marécageux			
Cyperaceae		•	•
Haloragaceae		•	•
Mitragyna		•	•

Dans le Tableau 1 sont repris les taxa inventoriés dans les deux sondages. L'assemblage de Kiguhu est plus diversifié que celui de Karisoke du fait que le site à 1800 m se trouve au contact de milieux variés alors que celui situé à 3030 m est confiné à un environnement de haute montagne dont la flore présente moins de variété.

RESULTATS

L'archivage palynologique des séquences sédimentaires de Kiguhu (alt.: 1800 m) et de Karisoke (alt.: 3030 m) permet de retracer l'évolution environnementale holocène du flanc rwandais de la chaîne volcanique des Virunga. La chronologie des événements est établie sur base de 6 datations ¹⁴C conventionnelles pour la première et de deux datations pour la seconde. Par ailleurs, la sédimentation plus homogène de Kiguhu, dont 2.5 m d'argile tourbeuse en continu de – 1.50 m et –4.00 m de profondeur, autorise des extrapolations d'une certaine fiabilité, ce qui s'avère plus délicat pour celle de Karisoke, plus hétérogène.

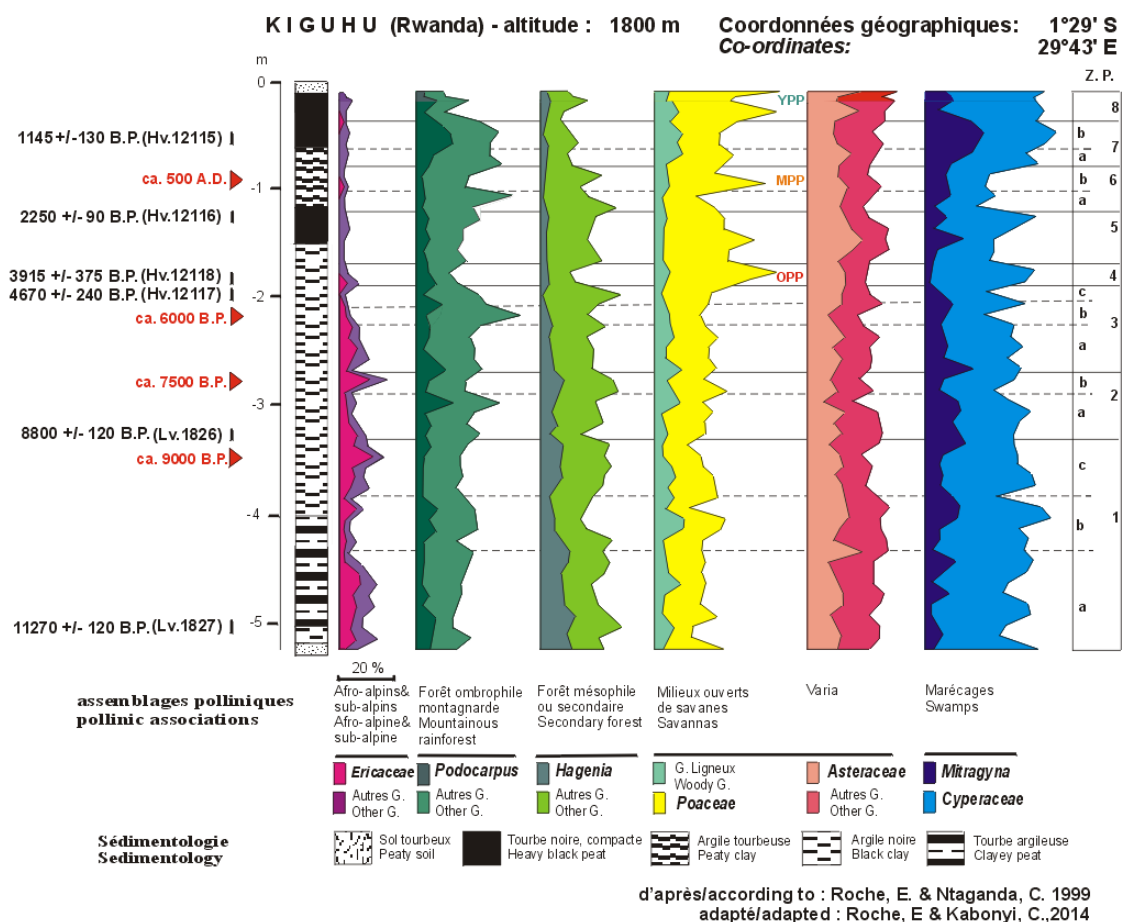


Fig. 2 : Diagramme pollinique condensé de la séquence Kiguhu

Analyse du diagramme :

8. Retrait d'une forêt ombro-mésophile hétérogène - Progression des milieux ouverts de savane. Secondarisation d'**origine anthropique** (YPP = Younger Poaceae Period)
7. Expansion d' une forêt primaire ombrophile afro-montagnarde
 - 7b. Forêt montagnarde à dominance de *Podocarpus* - Phase climatique fraîche
 - 7a. Forêt montagnarde diversifiée - Phase climatique tempérée-humide
6. Période d'alternance environnementale
 - 6b. Régression forestière; 2ème expansion de milieux ouverts "climatiques"
Pulsation climatique sèche de ca. 500 AD (MPP = Medium Poaceae Period)
 - 6a. Extension forestière, successivement mésophile, puis ombrophile.
5. Forêt hétérogène. Evolution environnementale contrastée. Alternance d'aspects ouverts et fermés. Période d'instabilité climatique.
4. Recul prononcé du milieu forestier - 1ère expansion de milieux ouverts "climatiques"
(OPP = Older Poaceae Period) - **Phase d'aridité**
3. Expansion maximale d'une forêt afro-montagnarde humide à grande diversité floristique.
 - 3c. Forêt stable en étendue mais à caractère mésophile accentué
 - 3b. Forêt dense, à forte tendance ombrophile, en expansion maximale. **Optimum chaud-humide**
 - 3a. Forêt dense, ombro-mésophile, en progression
2. Variabilité du milieu afro-montagnard
 - 2b. Regain des tendances afro-subalpine et mésophile. Pulsation froide-sèche.
 - 2a. Avancée d'une forêt ombro-mésophile à *Podocarpus* et *Hagenia*. Climat froid-humide
1. Présence d'une forêt hétérogène marquée par des influences afro-subalpines. Climat frais d'altitude.
 - 1c. Retour à un stade mésophile à intrusions afro-subalpines
 - 1b. Avancée d'un ensemble ombrophile à *Podocarpus*
 - 1a. Milieu forestier varié à prédominance mésophile à *Hagenia* et à importante influence afro-subalpine

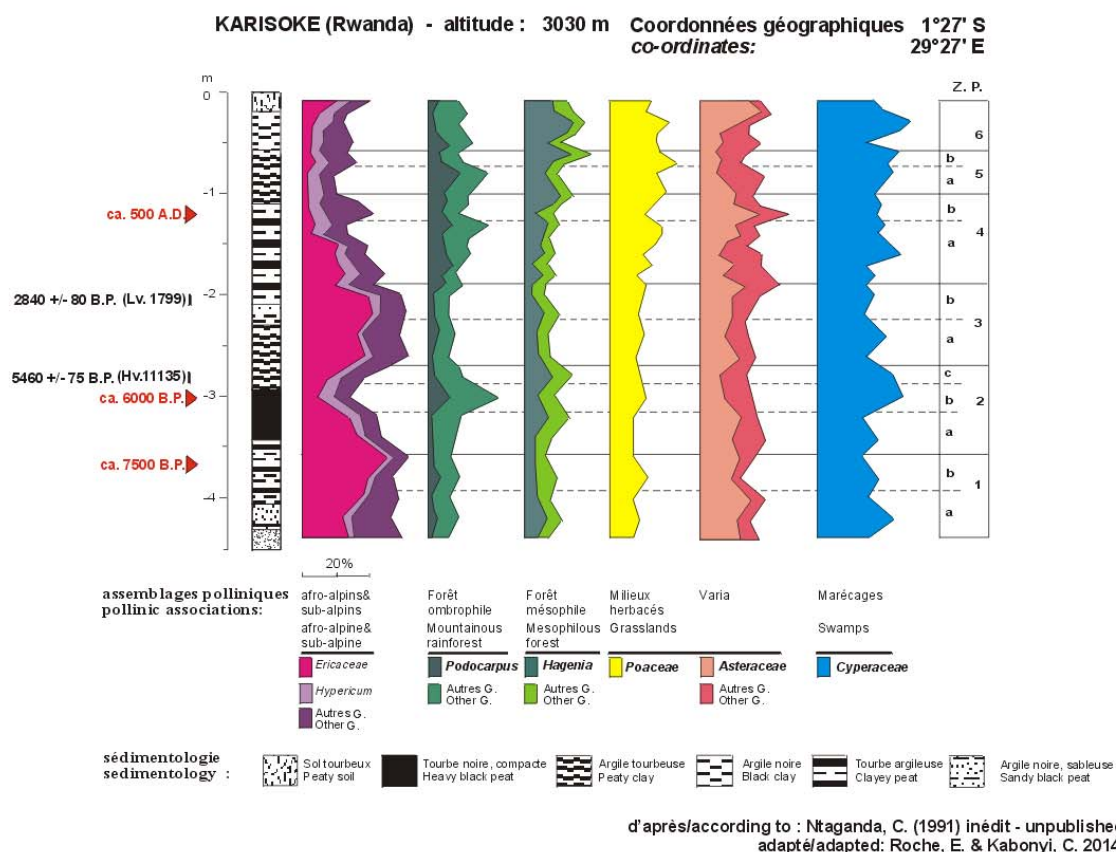


Fig. 3 : Diagramme pollinique condensé de la séquence Karisoke

Analyse du diagramme :

6. Occupation du site par la forêt-parc actuelle à *Hagenia-Hypericum* avec une forêt dense sous-jacente et surmontée par des formations afro-subalpines et afro-alpines.
- 5 Période d'expansion forestière afro-montagnarde constituée de l'horizon supérieur de la forêt ombrophile à dominance de *Podocarpus* et d'une Forêt-parc à *Hagenia-Hypericum*.
 - 5b.: Recul de la forêt ombrophile au profit de la forêt-parc; avancée simultanée des formations alpines et subalpines
 - 5a : Progression de *Podocarpus* au sein de la composante ombrophile de la forêt afro-montagnarde et de *Hagenia* dans la Forêt-parc. Conditions climatiques froides-humides.
4. Période de regain forestier et de retrait des éléments afro-alpins et subalpines.
 - 4b : Bref recul forestier et avancée de la végétation afro-alpine. Pulsation froide-sèche (ca. 500 AD)
 - 4a : Expansion continue d'une forêt hétérogène ombro-mésophile et retrait des éléments afro-alpins / sub-alpins. Phase climatique plus humide.
3. Importante réoccupation du terrain par une végétation afro-alpine/-subalpine. Régression maximale de la forêt montagnarde. Période de froid et de xéricité.
 - 3b. Prédominance des *Ericaceae*
 - 3a : Légère dominance des éléments afro-alpins. Progression des *Asteraceae*.
2. Recul des taxa afro-alpins/-subalpines et avancée de la forêt afro-montagnarde. Phase de réchauffement; augmentation de la pluviosité et de l'humidité édaphique.
 - 2c : Retour d'une Forêt-parc à *Hagenia*
 - 2b : Expansion de la forêt ombrophile avec présence significative de *Podocarpus*. Extension du marécage.
 - 2a : Progression forestière avec dominance de la Forêt-parc à *Hagenia*
1. Présence d'un milieu afro-alpin / subalpin proche de la limite supérieure de la forêt afro-montagnarde. Climat froid à humidité atmosphérique entretenue par des brouillards.
 - 1b.: Passage à un milieu afro-subalpin à *Ericaceae*.
 - 1a : Prédominance dans l'environnement d'éléments afro-alpins.

Diagrams' analysis

KIGUHU altitude: 1800 m Co-ordinates: 1°29'S / 29°43'E

8. Forest retreat. Open woody savannas in progress (**YPP: Younger Poaceae Period**). **Human impact**
7. Expansion of an afro-mountain rain forest.
 - 7b. *Podocarpus* dominant - Wet-cool period
 - 7a. Diversified dense forest - Wet-warm period
6. Environmental alternation.
 - 6b. New and short expansion of "Climatic open woodlands" **Dry pulse** ca. 500 yrs AD (**MPP: Medium Poaceae Period**)
 - 6a. Afro-mountain rain forest in extension
5. Settling in of a heterogeneous forest. Climatic instability.
4. Important forest retreat. Great extension of "Climatic grassy savannas" (**OPP: Older Poaceae Period**)
Arid climatic phase.
3. Big expansion of afro-mountain rain forest.
 - 3c. Dense forest with a pronounced mesophilous character
 - 3b. Maximum expansion of the rain forest
 - 3a. Rain forest in progression
2. Variability of the afro-mountain environment.
 - 2b. Regain of afro-subalpine and mesophilous components. Cold-Dry phase
 - 2a. Progress of a mixed forest with *Podocarpus* and *Hagenia*. Cold-Wet climate
1. Presence of a heterogeneous forest under afro-subalpine influence. Cool climate in upland areas.
 - 1c. Return to a mesophilous situation with afro-subalpine impact.
 - 1b. Progression of a dense forest with *Podocarpus*.
 - 1a. Varied forest environment with *Hagenia* and intrusive afro-subalpine elements.

Warm - Wet Optimum

KARISOKE altitude : 3030 m Co-ordinates: 1°27'S / 29°27'E

6. Occupation of the area by the present *Hagenia-Hypericum* Park-Forest surmounted by an afro-subalpine vegetation.
5. Expansion; of a mixed forest, combination of the upper belt of the dense forest with the Park-Forest.
 - 5b. Retreat of the mountain rain forest and simultaneous progression of the Park-Forest and of the subalpine belt
 - 5a. Importance of *Podocarpus* in the afro-mountain forest and of *Hagenia* in the Park-Forest.
Humid-Cold climatic conditions.
4. Period of forest renewal
 - 4b. Short forest retreat to the advantage of afro-alpine/subalpine elements. Cold-Dry pulsation (ca. 500 AD ?)
 - 4a. Continuous extension of afro-mountain forest and retreat of the alpine/subalpine vegetation. Wet climatic phase.
3. Important reoccupation of the area by an afro-alpine/subalpine vegetation. Dry and cold period.
 - 3b. Ericaceae predominance.
 - 3a. Little progress of afro-alpine elements.
2. Retreat of the afro-alpine/subalpine taxa and progression of the afro-mountain rain forest.
Warming phase. Increased rainfall. Edaphic humidity.
 - 2c. Return of an *Hagenia* Park-Forest
 - 2b. Expansion of the mountain forest with significant presence of *Podocarpus*. Swamp's extension.
 - 2a. Forest progression with *Hagenia* dominant.
1. Afro-alpine/subalpine environment close to the upper limit of the mountain forest.
Cold climate. Humidity maintained by mist.
 - 1b. Ericaceae's afro-subalpine belt
 - 1a. Predominance of afro-alpine éléments

Néanmoins, à partir de ca. 7000 ans BP, des corrélations assez nettes apparaissent entre les deux séquences (Fig. 4).

Chaque séquence est subdivisée en zones polliniques indicatrices d'événements environnementaux majeurs ; certaines zones sont elles-mêmes subdivisées en sous-zones soulignant une évolution environnementale d'ordre secondaire.

Le site de Kiguhu, à 1800 m d'altitude a, au fil du temps, collecté la pluie pollinique des versants montagneux alors que celui de Karisoke, à 3030 m d'altitude, a enregistré l'évolution d'un milieu plus local. Dans le premier cas, l'interprétation du graphique consiste à gérer un ensemble mixte en interprétant l'influence relative de ses différentes composantes au cours de la séquence ; dans le second cas, l'analyse se réduit à l'approche de l'évolution d'un environnement plus restreint de haute montagne.

La séquence du marais de Kiguhu situé sur la plaine de lave au pied des volcans a mis en évidence huit étapes successives dans l'évolution environnementale des flancs du massif alors que celle de Karisoke présente six étapes évolutives du milieu afro-alpin/subalpin de haute altitude.

Avant ca.7000 ans BP, l'espace forestier à flanc de montagne, initialement hétérogène à forte influence afro-subalpine évolue vers un milieu plus homogène où cet impact s'amenuise au cours du temps mais de façon fluctuante. A haute altitude, l'expansion initiale des afro-alpins subit un léger tassement à l'avantage des éléments afro-subalpins.

Entre ca.7000 ans BP et ca.5000 ans BP se situe une phase d'expansion de la forêt primaire dense, alors à son optimum, tant vers les hauts que vers les bas des versants.

Vers 4000 ans BP, la forêt subit un tassement, prise en étau entre la progression des milieux boisés ouverts de type « savane » à basse altitude et celle des milieux afro-alpins/subalpins à haute altitude. Ensuite, jusqu'à ca.2200 ans BP, elle reprend vigueur, présentant toutefois une évolution contrastée avec une hétérogénéité marquée aux marges.

A partir de ca.2000 ans BP, l'expansion se poursuit en altitude avec un retrait concomitant de la ceinture afro-alpine/subalpine et la progression sur la plaine de lave de formations méso-sclérophylles. Une brève progression temporaire de milieux boisés xérophiles se manifeste ca.500 AD. Enfin, au début du deuxième millénaire AD, des effets anthropiques commencent à se manifester sur la plaine de lave, au pied du massif.

DISCUSSION

Sur base des descriptions palynologiques détaillées des graphiques de Kiguhu et de Karisoke (Fig. 2 et 3) et des datations dont on dispose, il est concevable d'établir des corrélations fiables entre les deux séquences et de retracer une évolution globale du paléoenvironnement holocène de la face méridionale des Virunga. Ces corrélations sont reprises et brièvement commentées à la fig. 4. Cependant, il apparaît que, pour la période précédant 7500 ans BP, les correspondances entre les séquences sont aléatoires du fait qu'on ne dispose pas d'une datation précise de la base du dépôt de Karisoke et que, pour ce dernier, de nature hétérogène, une extrapolation au départ des datations existantes ne serait pas crédible. Les parties inférieures des séquences seront donc analysées séparément pour la période précédant la date précitée.

A Kiguhu, la première phase environnementale mise en évidence (ZP.1) dont on peut estimer, en dates conventionnelles, le début à ca. 11400 ans BP (11270 +/- 120 ¹⁴C BP à -5.10 m) et la fin ca. 10000 ans BP (extrapolation) est à mettre en relation avec l'événement climatique global du Dryas récent, l'ultime oscillation froide du Tardiglaciaire. Cette première phase se caractérise par l'existence d'un milieu composite où les présences de *Podocarpus*, significative dans sa composante ombrophile, et de *Hagenia*, largement dominante dans sa composante mésophile, sont assorties d'un impact non négligeable des éléments afro-alpins/subalpins. Cela traduit une migration descendante des zones de végétation sur les pentes (NTAGANDA, 1992) avec progression de la ceinture afro-subalpine sous les 3000 m et éventuellement la formation de névés sur les sommets.

D'après les données climatiques de LIBEN (1962) et selon les caractéristiques écologiques de ses composantes, la complexité d'un tel milieu ne peut se concevoir qu'avec des précipitations et des températures à la baisse, de l'ordre de -200 mm pour les premières et de -3° à -4°C pour les

secondes, combinées toutefois à une certaine humidité atmosphérique, celle-ci pouvant être entretenue par la proximité des lacs Bulera et Ruhondo.

De ca. 10000 ans à ca. 9000 ans BP (8800 +/- 120 ¹⁴C BP à -3.20 m) l'environnement présente deux phases évolutives contrastées. La première reflète la progression d'une forêt ombrophile à *Podocarpus* auquel *Hagenia* reste associé bien que régressif ce qui suggère un horizon supérieur mieux arrosé mais encore frais. Ce regain d'humidité se traduit aussi par une progression des éléments ligneux dans les milieux ouverts des bas de pentes. Y fait suite une nouvelle incidence des éléments subalpins dans le milieu afro-montagnard attestant un retour à des conditions plus froides mais cette fois assorties d'une pointe de xéricité, cette dernière s'observant aussi à basse altitude avec un regain des herbacées dans les milieux boisés ouverts.

On revient ensuite (ZP.2.a) à une sensible progression d'une forêt dense à *Podocarpus*, toujours associé à *Hagenia* mais où l'impact afro-subalpin s'amenuise. Le climat reste froid mais l'humidité s'accroît. Vers ca. 7500 ans B.P. un retour brusque mais très marqué des éléments afro-subalpins dans l'environnement se manifeste en même temps qu'un recul de la composante ombrophile du milieu forestier (ZP.2.b). En date calibrée, ce phénomène se situerait à ca. 8200 ans cal. BP et serait un écho au ralentissement de la circulation thermohaline dans l'Atlantique. Celui-ci se manifeste sur le continent africain par une pulsation sèche ayant entraîné un abaissement généralisé des niveaux lacustres qui se situent, en dates conventionnelles, entre ca.7800 et 7200 ans BP (STREET-PERROTT, F.A. & PERROTT, R.A. 1990)

Malgré ce bref coup d'arrêt à ca.7500 ans BP, on observe dès ca.9000 ans BP et jusqu'à ca.6000 ans BP une progression quasi continue, quoique contrastée, de la forêt afro-montagnarde. Cette progression, d'abord dans sa tendance mésophile puis dans sa tendance franchement ombrophile, est concomitante des hauts niveaux du Lac Kivu enregistrés durant cette période (DEGENS & HECKY, 1974 ; HECKY, 1978), ce qui correspond à l'optimum humide holocène (OHH) régional.

Dans la séquence de Karisoke, l'importante expansion des Ericacées dans le milieu afro-subalpin à la fin de sa partie basale (ZP.1.b) peut s'apparenter à celle enregistrée vers 7500 ans BP à Kiguhu (ZP.2.b) ce qui correspond à des températures et des précipitations relativement basses assorties de brouillards persistants. D'une manière générale, toute la zone basale correspond à cet aspect climatique, même un peu plus marqué au début (ZP.1.a) où les éléments afro-alpins et les Ericacées s'équivalent.

A partir de 7500 ans BP des corrélations fiables peuvent être établies entre les séquences de Kiguhu et de Karisoke, ce qui permet de proposer une vue globale de l'évolution environnementale du milieu afro-montagnard régional.

Après l'épisode sec abrupt de ca.7500 ans BP, on observe à Kiguhu un retrait conjoint des éléments afro-subalpins et de *Hagenia* alors que progresse une forêt dense à caractère ombromésophile (ZP.3.a). A Karisoke, les Ericacées régressent autour du site alors que s'installe un milieu forestier où *Hagenia* affirme sa présence (ZP.2.a) évoquant la Forêt-parc actuelle.

Par la suite, la forêt ne cesse de progresser pour atteindre son maximum d'expansion ca.6000 ans BP (ZP.3.b à Kiguhu ; ZP.2.b à Karisoke). L'horizon supérieur de la forêt ombrophile à *Podocarpus* se rapproche des 3000 m, repoussant la Forêt-parc à *Hagenia* ainsi que les ceintures afro-alpines et subalpines plus haut en altitude. Dans le bas des versants, la forêt ombrophile s'étend également, avec à sa marge inférieure, des formations mésophiles et sclérophylles qui devaient être relativement denses. Cette situation résulte d'une élévation de la température et des précipitations en relation avec l'optimum humide se situant au Rwanda entre ca.7000 et ca.6000 ans BP (ROCHE, 1991 ; ROCHE, 1998)

A partir de ca.5500 ans BP s'amorce une régression forestière qui affecte en premier lieu sa composante ombrophile. En haute altitude cela se manifeste par un retour vers 3000 m de la Forêt-parc à *Hagenia* et par un regain des taxons afro-alpins/subalpins (Karisoke : ZP.2.c) ; à basse altitude, la plaine de lave a vraisemblablement été plus largement occupée à ce moment par des formations sclérophylles comme l'atteste la présence dominante dans l'assemblage pollinique de taxons mésophiles à plus grande plasticité écologique (Kiguhu : ZP.3.c).

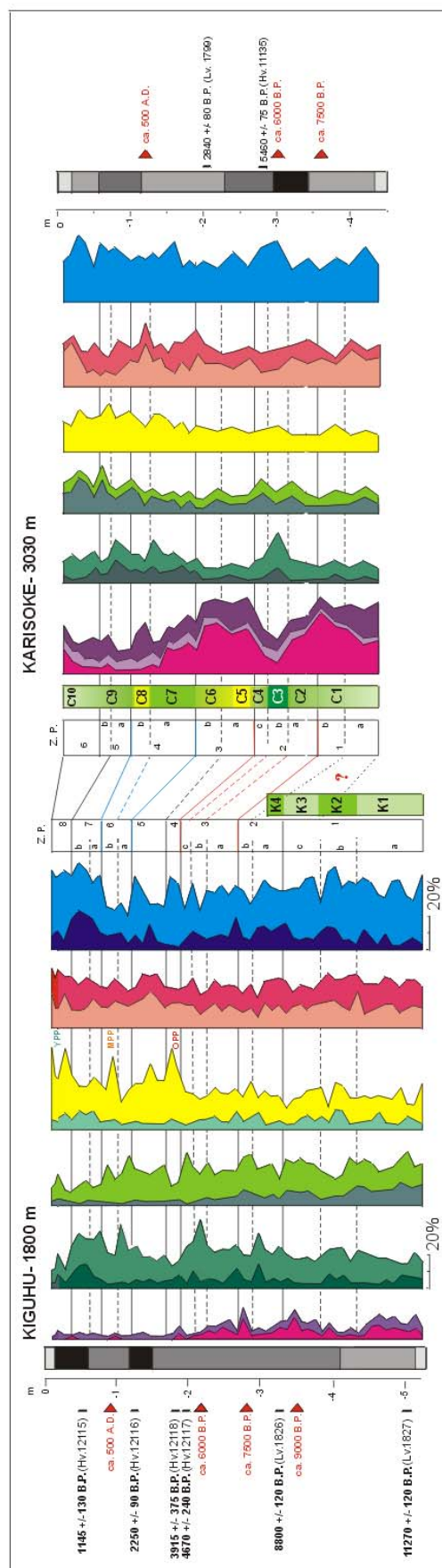


Fig. 4 : Corrélations entre les séquences de Kiguhu et de Karisoke

Légende - Legend

KIGUHU

Chronologie Chronology

- K4** Progression d'une forêt dense à *Podocarpus* et *Hagenia*. Climat froid-humide
Dense forest with *Podocarpus* and *Hagenia* in progress. Cold-Wet climate
K3 Forêt de montagne sous influence afro-subalpine. Climat froid-sec
Mountain forest with afro-subalpine impact. Cold-Dry climate
K2 Horizon supérieur de la forêt de montagne à *Podocarpus* dominant
Upper belt of the mountain forest with *Podocarpus* dominant
K1 Climat frais d'altitude
Fresh climate of upland areas
 Horizon supérieur de la forêt de montagne à *Hagenia* dominant
Upper belt of the mountain forest with *Hagenia* dominant

Corrélations KIGUHU-KARISOKE

- C10** **C9** **C8** **C7** **C6** **C5** **C4** **C3** **C2** **C1**

Chronologie Chronology

- ca. 1000 AD**
 Première influence anthropique sur la Plaine de lave (sous 2000 m)
First human influence on the lava lowland (below 2000 m)
 Progression de la Forêt-Parc et de *Podocarpus* dans la forêt dense sous-jacente. Brouillards - Fraîcheur
Progression of the Park-Forest and of *Podocarpus* in the rain forest. Mists - Cooling
 Nouvelle expansion d'une forêt dense diversifiée - New expansion of a diverse upland forest
New expansion of a diverse upland forest
 Avancée de milieux boisés ouverts - Open woodlands in progress / Pulsation sèche - Dry pulse
Advance of open woodlands in progress / Pulsation sèche - Dry pulse
 Large expansion de la forêt dense à flanc de montagne - Retrait de la ceinture d'Ericacées
Wide forest expansion mountainside - Retreat of the Ericaceous belt
 Augmentation de la pluviosité et de la température - Increased rainfall and temperature
Augmentation of the rainfall and temperature
 Progression irrégulière d'une forêt hétérogène - Extension de la ceinture d'Ericacées - Climat contrasté
Irregular progress of a heterogeneous forest - Extension of the Ericaceous belt - Contrasted climate
 Large expansion de milieux ouverts herbacés et des milieux afro-alpins - Phase sèche
Wide development of grasslands and of the afro-alpine vegetation
 Régression forestière - Loss of forest cover
Regression forestier - Loss of forest cover
 Expansion maximale de la forêt ombrophile afro-montagnarde
Maximum expansion of the afro-montane rain forest
 Progression de la forêt dense montagnarde et de la Forêt-Parc à *Hagenia*
Mountain rain forest and Park-Forest in progress
 A flanc de montagne: extension d'une forêt méso-xérophile à intrusions afro-subalpines
On the mountain slopes: extension of a meso-xerophytic forest with afro-subalpine interference
 A haute altitude: importante extension des éléments afro-alpins subalpins
At high altitude: wide extension of afro-alpine/subalpine elements
 Conditions froides-sèches / Cold-dry conditions

A partir de ca. 5000 ans ^{14}C BP, comme suite à l'affaiblissement de la mousson atlantique sur le continent africain, commence un phénomène climatique complexe qui va mener à l'aridification du Sahara. Ce processus qui va durer jusqu'à ca. 2500 ans ^{14}C BP (KRÖPELIN *et al.*, 2008), va connaître sa phase la plus aiguë vers 4000 ans ^{14}C BP (MARCHANT & HOOGHIEEMSTRA, 2004) entraînant une régression sensible des lacs (GASSE, 2000) et une extension des milieux savanicoles au détriment des milieux forestiers en Afrique sub-saharienne.

L'impact de cette période d'aridité intense de ca. 4000 ans ^{14}C BP se signale sur les Virunga par une expansion notable des herbacées, principalement des Graminées, sur les versants (Kiguhu ZP.4) et par celle des éléments afro-alpins/subalpins vers les sommets (Karisoke ZP.3.a). Cette progression spectaculaire des Graminées a été définie en Afrique centrale comme étant la Older Poaceae Period ou OPP (Runge, 2001 a/b ; RUNGE & RUNGE 1998). En haute altitude, la Forêt-parc serait encore proche du site de Karisoke mais en retrait sous-jacent de la ceinture afro-subalpine.

Dans le cas présent, la progression des milieux ouverts entraîne un recul de la forêt afro-montagnarde mais pas sa disparition. L'analyse pollinique montre qu'elle est encore bien présente sur les versants. Cette forêt, d'allure hétérogène, aurait pu trouver refuge aux altitudes moyennes (2000 – 2700 m), prise en étau entre des formations herbeuses xérophiles faiblement arborées occupant la Plaine de lave et les ceintures afro-alpine/subalpine en extension.

Lors des périodes de sécheresse intense, les montagnes africaines se couvrent généralement aux altitudes moyennes d'une couche nuageuse stratiforme peu précipitante, interceptant le rayonnement solaire. Cela entretient, au bas des reliefs, une atmosphère froide et sèche peu propice au développement d'un couvert forestier (MALEY, 1982 ; 1984). L'humidité se trouve ainsi concentrée dans la couche nuageuse située à flanc de montagne où la forêt peut trouver refuge. Par ailleurs, au-dessus des nuages, l'insolation augmente malgré les brouillards fréquents ce qui, avec la persistance d'une sécheresse édaphique, est favorable à l'extension des formations afro-alpines/subalpines (LEONARD, 1962). Telle que décrite, cette situation a pu se produire sur les Virunga pendant la période la plus sèche de l'Holocène africain.

Après cette période d'aridité, la forêt afro-montagnarde regagne le terrain perdu, surtout à basse altitude (Kiguhu ZP.5). D'allure hétérogène, cette forêt évolue de façon contrastée, présentant en alternance des tendances mésophile et ombrophile ce qui suggère une instabilité climatique persistant jusqu'à ca. 2300 ans BP (Kiguhu : 2250 +/- 90 ^{14}C BP à -1.30 m). Conjointement, on observe un battement dans le retrait des formations savanicoles. Vers les sommets (Karisoke ZP.3b), la situation n'évolue guère. On perçoit à peine un frémissement de la Forêt-parc à *Hagenia* qui reste dominée par la flore afro-alpine/subalpine.

Au sortir de cette période d'instabilité, sous un climat proche de l'actuel, la forêt afro-montagnarde connaît à nouveau une large expansion. Celle-ci qui, sur les versants, s'effectue selon un schéma classique de progression affectant d'abord les éléments mésophiles, puis les ombrophiles (Kiguhu ZP.6.a), n'atteint toutefois pas l'ampleur qu'elle a connue à son optimum holocène. En même temps, en haute altitude, l'horizon supérieur de la forêt à *Podocarpus* et la Forêt-parc à *Hagenia* repoussent les éléments afro-alpins/subalpins vers les sommets (Karisoke ZP.4.a).

Vers 500 ans AD se produit un événement inopiné qui se manifeste par une importante progression temporaire du couvert graminéen aux alentours du marais de Kiguhu (ZP.6.b) et par une poussée des éléments afro-alpins autour du site de Karisoke (ZP.4.b), ce qui évoque une pulsation climatique sèche de courte durée. Cet événement pourrait être attribué au « Dust Event » reconnu pour avoir perturbé le climat au cours de la première moitié du 6^{ème} siècle AD ; il serait dû à l'« Hiver volcanique » qui aurait suivi l'éruption cataclysmique du Rabaul en Papouasie-Nouvelle Guinée en 536 AD, provoquant huit années « sans été » jusqu'en 545 AD (STOTHERS, 1984 ; BAILLIE, 1994) ; mais cela pourrait être aussi la conséquence de l'éruption cataclysmique du volcan Ilopango au San Salvador datée de la même époque (DULL *et al.*, 2010 ; PRATT, 2012). Cette pulsation climatique serait à rapprocher du « Pré-Néoglacaire », froid et sec, de ca 1500 ans BP, reconnu au Mont Kenya par MAHANEY (1990).

L'incidence de la pulsation sèche de ca 500 ans AD sur l'expansion régionale du couvert graminéen incite à attirer l'attention sur l'événement en lui attribuant l'appellation de « Medium Poaceae Period » ou MPP (KABONYI NZABANDORA, 2012, KABONYI NZABANDORA & ROCHE 2015a/2015b) en se référant aux autres faits marquants du même genre signalés par

RUNGE & RUNGE (1998) et RUNGE (2001) : l'Older Poaceae Period (OPP : ca.4000 BP) et la Younger Poaceae Period (YPP : post-1000 BP).

Après cette brève interruption, la forêt reprend sa progression en deux temps : tout d'abord sous forme d'un ensemble afro-montagnard dense diversifié (Kiguhu ZP.7.a) auquel succède une forêt altimontaine à dominance de *Podocarpus* (Kiguhu ZP.7.b) alors que les milieux ouverts de bas de pentes présentent un aspect plus boisé. En altitude, à la progression initiale de l'horizon supérieur à *Podocarpus* (Karisoke ZP.5a) fait suite un retrait de ce dernier au profit d'une Forêt-parc à *Hagenia* associée à un ensemble afro-alpin/subalpin sus-jacent (Karisoke ZP.5.b). Cette progression généralisée du milieu forestier durant cette période est à mettre en relation avec le retour de conditions nettement plus humides et des températures évoluant successivement à la hausse puis à la baisse. A Kiguhu, l'extension du marais s'accompagne du développement d'une galerie forestière à *Mitragyna* (Kiguhu ZP.7) dont une relique existait encore dans les années cinquante (NTAGANDA, 1991).

L'analyse de la fin des séquences sédimentaires révèle que la zonation de la végétation se met en place telle qu'on l'a encore connue dans la première moitié du 20^{ème} siècle, sous un climat qui devait être semblable à l'actuel. La progression de la Forêt-parc à *Hagenia-Hypericum* indique qu'elle s'installe autour du site de Karisoke, avec l'horizon supérieur de la forêt à *Podocarpus* sous-jacent et surmontée des milieux afro-alpins/subalpins (Karisoke ZP.6). A Kiguhu, la progression sensible des Graminées (ZP.8) attesterait l'expansion de milieux boisés ouverts xérophiles et sclérophylles qui, autrefois, se sont largement étendus sur la Plaine de lave surplombant le site. Toutefois, la régression conjointe des composantes ombrophile et mésophile de la forêt afro-montagnarde tendrait à prouver qu'il s'agirait ici des premières manifestations d'une action anthropique sur les bas de pentes et du début de la Younger Poaceae Period décrite par RUNGE (2001). En effet, lors de mouvements naturels du milieu forestier (croissance/décroissance) liés aux conditions climatiques, ses deux composantes ont des comportements antagonistes, ce qui n'est pas le cas ici.

L'impact anthropique sur l'environnement dans la région des volcans est lié au Second Age du fer, ou Age du Fer Récent qui a fait son apparition au Rwanda vers le 8^{ème} siècle après J.C. Cette culture qui se caractérise par une céramique décorée à la roulette torsadée a été introduite par des pasteurs sud-nilotiques venus du nord-est (DESMEDT, 1991). Des sites d'occupation d'Age du fer récent ont été mis en évidence dans la région de Ruhengeri, non loin du site de Kiguhu (Akameru, Cyinkomane : VAN NOTEN, 1983 ; Musanze, Mweru, Nguri : GIBLIN & FULLER, 2011). Les traces d'activité humaine découverts dans ces différents sites démontrent que des populations du second âge du fer y ont exercé des activités agro-pastorales assorties de chasse et de cueillette et que celles-ci ont commencé à produire leurs effets entre le 9^{ème} et le 12^{ème} siècle AD.

Sur le site de Kiguhu ont été découverts des fragments d'une céramique plus ancienne, de type « Urewe », décorée par incisions, attribuée à l'Age du Fer Ancien (SIMON, P. in : VAN NOTEN 1983). A défaut d'une datation plus précise, on peut dire que le site a été occupé avant le 8^{ème} siècle AD mais qu'il devait s'agir d'une occupation occasionnelle n'ayant laissé aucune trace sur l'environnement local.

SYNTHESE

La figure 5 synthétise l'évolution de l'environnement sur la face rwandaise de la chaîne volcanique des Virunga au cours des douze derniers millénaires. Les 5 stades principaux de cette évolution y sont mis en exergue.

a. De 12000 à 10000 ans BP

Cette première période correspond au Dryas récent, dernière phase froide du Tardiglaciaire. Sur les Virunga, elle se caractérise par une descente des zones de végétation à flanc de montagne avec, en haute altitude, la base de la ceinture afro-alpine/sub-alpine qui se situerait sous les 3000 m alors que, sur les hauts sommets, des névés seraient persistants. Sur les versants, la Forêt-parc altimontaine s'insinuerait dans le massif forestier ombrophile tandis que ce dernier, à sa marge inférieure, acquerrait un caractère mésophile, voire sclérophylle, marqué. Enfin, les bas de pentes

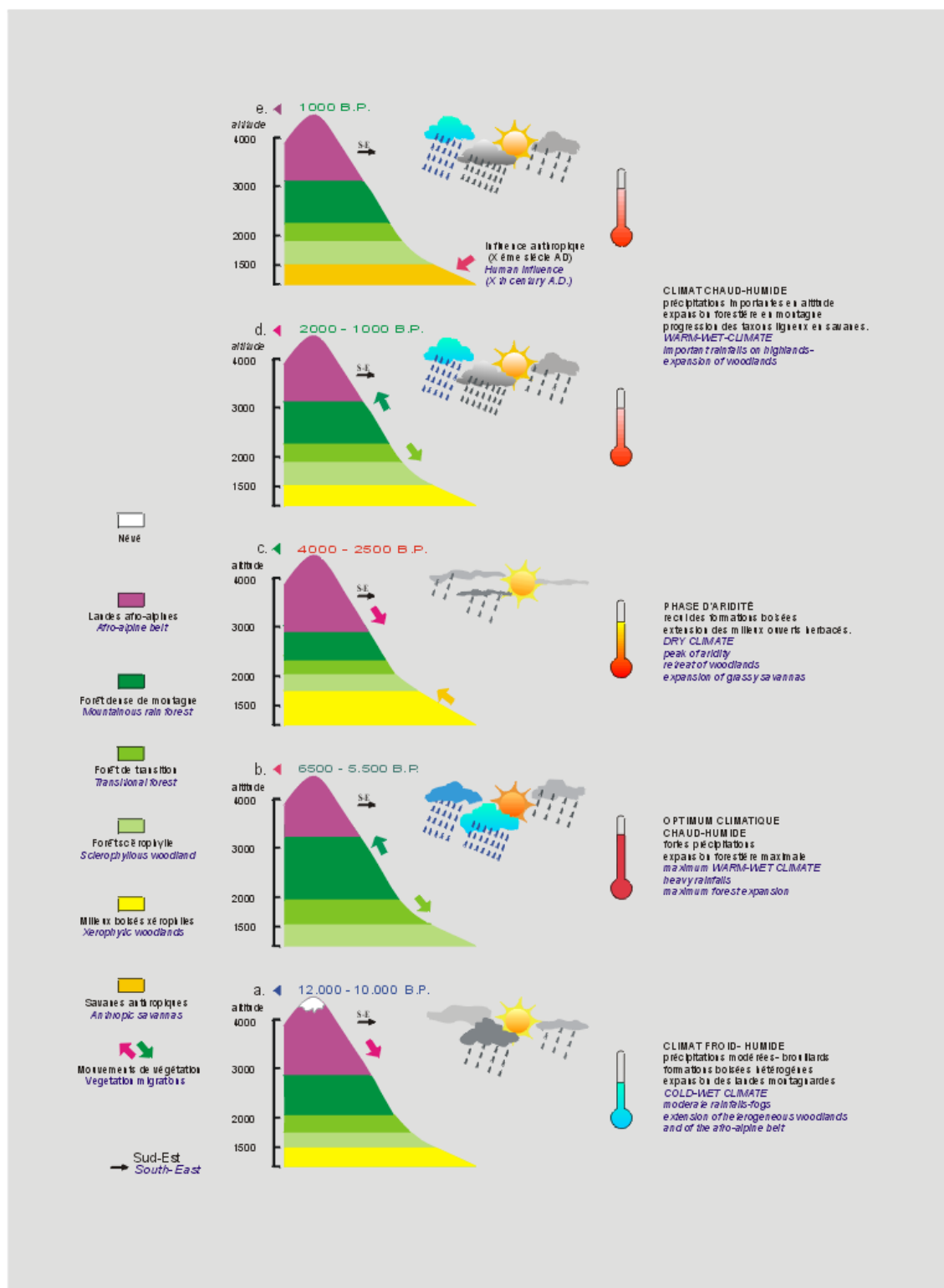


Figure 5: Evolution de l'environnement dans le domaine afro-montagnard du Rwanda au cours de l'Holocène
Environmental evolution in the Afro-mountain area of Rwanda during the Holocene period
 d'après/according to: Roche,E & Ntaganda,C. (1999)
 adapté/adapted: Roche,E. & Kabonyi,C. (2014)

seraient occupés par des formations boisées xérophiles. Un tel paysage suggère l'existence d'un climat froid, à précipitations modérées mais à humidité atmosphérique persistante.

b. De 6500 à 5500 ans BP

La deuxième période marquante se situe au milieu de l'Holocène avec l'expansion maximale des milieux forestiers tant vers le haut que vers les bas des versants. L'horizon supérieur de la forêt primaire de montagne se rapprocherait des 3000 m alors que, en amont, la Forêt-parc repousserait les landes afro-alpines/subalpines vers les sommets. A basse altitude, sous les 2000 m, se développerait une forêt de transition à caractère mésophile qui passerait, au bas des pentes, à des formations sclérophylles plutôt denses. Une telle situation correspond à un optimum climatique fait de précipitations abondantes sous des températures relativement élevées.

c. De 4000 à 2500 ans BP

ca. 4000 ans BP se manifeste une situation singulière avec la progression vers le bas des landes afro-alpines/subalpines qui repasseraient sous les 3000 m alors que les milieux boisés ouverts de type « sclérophylle », voire largement ouverts de type « xérophile » remonteraient les pentes jusqu'à 2000 m. La forêt primaire ombrophile avec à sa partie sommitale une Forêt-parc et à sa base une zone de transition mésophile se trouverait coincée à moyenne altitude dans une zone nuageuse stratiforme qui assurerait l'humidité nécessaire à sa survie. Un tel phénomène, avec des formations adaptées à la sécheresse se développant tant à haute altitude que sur les pentes inférieures des reliefs, ne peut se concevoir que provoqué par une aridité importante.

Par la suite, jusqu'à ca. 2500 ans BP, une reprise contrastée de la forêt serait le signe d'un dérèglement climatique persistant.

d. De 2000 à 1000 ans BP

C'est la période de mise en place de la zonation actuelle des formations végétales sous des conditions climatiques chaudes, modérées par l'altitude, et très humides proches de celles connues aujourd'hui, et qu'on peut se représenter comme suit : sur la Plaine de lave, au pied des volcans, se développeraient sous 1800 m d'altitude des formations boisées ouvertes xérophiles auxquelles feraient suite, entre 1800 m et 2000 m, des formations plus denses sclérophylles. De 2000 m à 3200 m, ce serait le domaine forestier afro-montagnard, avec une zone de transition mésophile jusqu'à 2200 m, puis la partie proprement ombrophile dans la zone des précipitations maximales jusqu'à 2600 m. La forêt montagnarde se terminerait par un horizon supérieur moins arrosé à *Podocarpus* aux environs de 2700-2800 m. Ensuite, jusqu'à 3200 m environ se développerait la Forêt-parc à *Hagenia*. Au-delà, on entrerait dans les domaines afro-subalpin et afro-alpin.

e. ca. 1000 ans BP

A partir du 10^{ème} siècle après J.C., la partie inférieure de la Plaine de lave occupée par les formations xérophiles commence à subir les effets d'une action anthropique qui ira en s'accroissant au cours du temps tout en remontant progressivement en altitude.

CONCLUSIONS

L'analyse palynologique de deux séquences tourbeuses relevées dans les marais de Kiguhu et de Karisoke situés respectivement à 1800 m et à 3030 m d'altitude sur la chaîne volcanique des Virunga, au nord du Rwanda, a permis, sur base d'une discussion de données complémentaires, la mise en évidence de l'évolution environnementale régionale pour une période couvrant les douze derniers millénaires.

A la fin du Tardiglaciaire, entre 12000 et 10000 ans BP, période correspondant au Dryas récent, on assiste à la descente des zones de végétation sur les versants. Sous 3000 m, une avancée

des landes afro-alpines/subalpines repousse vers le bas une forêt hétérogène, mélange de Forêt-parc et de forêt ombrophile avec une frange inférieure sclérophylle alors que les bas de pentes sont occupés par des formations boisées ouvertes xérophiles. Cet ensemble se développait sous un climat froid et relativement humide avec une humidité atmosphérique probablement entretenue par la proximité des lacs.

A partir de 9000 ans BP et jusqu'à 6000 ans BP, la forêt connaît une progression quasi continue mais de façon contrastée jusqu'à 7500 ans, ce qui se manifeste en son sein par un balancement des tendances mésophile et ombrophile conjointes d'une influence altimontaine plus ou moins importante, cette dernière fluctuant au gré de conditions climatiques variables alternant de façon modérée froid-sec/chaud-humide.

Dès 7000 ans BP le milieu forestier afro-montagnard dans son ensemble connaît une expansion maximale culminant vers 6500-6000 ans BP sous un climat atteignant alors son optimum chaud et humide. Vers 5500 ans BP, s'amorce le début d'un déclin forestier qui se traduit par une tendance mésophile plus marquée dans l'environnement.

A 4000 ans BP, l'extension spectaculaire des herbacées, essentiellement des graminées, sur la plaine de lave au pied des volcans et des milieux afro-alpins/subalpins en altitude ainsi qu'une importante régression forestière, attestent une phase d'aridité importante. La zone forestière se trouve compactée entre la montée de milieux herbacés xérophiles et la descente de landes altimontaines, trouvant refuge, à moyenne altitude, dans une couche nuageuse stratiforme. Cette dernière, peu précipitante et interceptant le rayonnement solaire, entretient à basse altitude un climat froid et sec alors que vers les sommets, ce rayonnement non intercepté induit une sécheresse édaphique propice à la progression des milieux afro alpins/subalpins.

Après cette phase d'aridité la forêt regagne du terrain mais de façon irrégulière alors que persistent, à basse altitude, des milieux xérophiles encore largement ouverts et que les landes afro-alpines/subalpines sont encore bien développées. Cela met en évidence une instabilité climatique persistante.

De 2000 à 1000 ans BP se met en place, sous un climat proche de l'actuel, une zonation altitudinale de la végétation où la composante ombrophile de la forêt afro-montagnarde prend de l'ampleur au détriment de sa composante mésophile mais en deux phases distinctes : une première, fort diversifiée et une seconde, qui lui fait suite, à dominance de *Podocarpus*. Sous un climat à humidité importante, on aurait une évolution des températures allant du chaud-tempéré vers le froid mais avec une humidité atmosphérique entretenue par des bruines et des brouillards. Cette progression forestière subit un bref temps d'arrêt vers les 500 ans AD (1500 ans BP) comme suite à une phase sèche temporaire soulignée par une nouvelle expansion des Graminées et un regain des éléments afro-alpins/subalpins.

En réalité la zonation telle qu'on pouvait encore la percevoir dans la première moitié du 20^{ème} siècle ne se met en place qu'au début du 2^{ème} millénaire AD, en atteste l'installation à 3000 m de la Forêt-parc à *Hagenia-Hypericum* alors qu'antérieurement elle y était concurrencée par l'horizon supérieur à *Podocarpus* de la forêt ombrophile de montagne. En réalité, la zonation potentielle telle qu'on la conçoit de nos jours correspond à un climat légèrement plus frais qu'il ne l'était au cours du premier millénaire AD.

Quant à l'influence anthropique sur l'environnement, elle a commencé à faire sentir ses effets au début du second millénaire AD avec l'arrivée dans la région de populations sud-nilotiques du second âge du fer. C'est la zone inférieure des formations boisées xérophiles qui a été affectée en premier lieu par la chasse, la cueillette et les activités agro-pastorales, provoquant une extension importante du couvert graminéen. Depuis, les activités humaines n'ont fait que s'intensifier en altitude au détriment de la végétation naturelle. Mais c'est surtout au cours de la seconde partie du 20^{ème} siècle qu'elles se sont faites particulièrement agressives ne laissant subsister actuellement que l'horizon supérieur de la forêt dense, la Forêt-parc et les landes afro-subalpines et afro-alpines.

REFERENCES

- BAILLIE, M.G.L. 1994 – Dendrochronology raises questions about the nature of the AD dust-veil event. *The Holocene*, 4, 2: 212–217
- DEGENS, E.T. & HECKY, R.E. 1974 – Paleoclimatic Reconstruction of Late Pleistocene and Holocene Based on Biogenic Sediments from the Black Sea and a Tropical African lake. *Colloques Internationaux du C.N.R.S.*, 219: 13 – 24 (les méthodes quantitatives d'étude des variations du climat au cours du Pléistocène). Paris.
- DESMEDT, C. 1991 – Poteries anciennes décorées à la roulette dans la Région des Grands Lacs. *African Archaeological Review*, 9 : 161–196
- DEUSE, P. 1966 – Contribution à l'étude des tourbières du Rwanda et du Burundi. *Institut National de la Recherche Scientifique – Butare*, Rwanda, Publication n°4 : 53–115
- DEVRED, R. 1958. La végétation forestière du Congo belge et du Rwanda-Urundi. *Bull. Soc. Roy. Forest. De Belgique*. 65^{ème} année, 6 : 409-468.
- DULL, R.A., SOUTHON, J.R., KUTTEROLF, S., FREUNDT, A., WAHL, D. & SHEETS, P. 2010 – Did the TBJ Ilopango eruption cause the AD 536 event ? *American Geophysical Union*, Fall Meeting 2010, abstract #V13C-2370.
- GASSE, F. 2000 – Hydrological changes in the African tropics since the Last Glacial Maximum. *Quaternary Science Reviews*, 19 : 189–211
- GIBLIN J.D. & FULLER D.Q. 2011 First and second millennium A.D. agriculture in Rwanda: archaeobotanical finds and radiocarbon dates from seven sites. *Veget. Hist. Archaeobot.*, 20 : 253-265.
- HECKY, R.E. 1978 – Kivu Tanganyika basin: the last 14 000 years. *Polskie Archiwum Hydrobiologie*, 25, 1-2, 159–165
- ILUNGA, L. & ALEXANDRE, J. 1982 – La géomorphologie de la plaine de la Ruzizi. Analyse et cartographie. *Geo-Eco-Trop*, 6, 2 : 105–123
- ILUNGA, L., MUHIRE, I. & MBARAGIJIMANA, C. 2004 – Saisons pluviométriques et origine des pluies au Rwanda, *Geo-Eco-Trop*. 28, 1–2: 61–68
- KABONYI NZABANDORA, C. 2012 Analyse palynologique de divers sondages du secteur haute altitude du Parc National de Kahuzi-Biega. Paléoenvironnements et paléoclimats au Pléistocène supérieur et à l'Holocène. Thèse de doctorat, Université de Liège, Faculté des Sciences/Paléontologie. 91p (référence : <http://www.géocotrop.be> - Rubrique : Ressources)
- KABONYI NZABANDORA, Chantal & ROCHE, Emile. 2015a - Paléoenvironnements et paléoclimats au Parc National de Kahuzi-Biega - *Editions Universitaires Européennes (E.U.E.)* : 121 p.
- KABONYI NZABANDORA, C. & ROCHE, E. 2015b Six millénaires d'évolution environnementale sur la dorsale occidentale du Lac Kivu au Mont Kahuzi (R.D.Congo). Analyse palynologique de la séquence sédimentaire de Ngushu. *Geo-Eco-Trop.*, 39.1 : 1-26.
- KRÖPELIN, S., VERSCHUREN, D., LEZINE, A.M., EGGERMONT, H., COCQUYT, C., FRANCUS, P., CAZET, J.P., FAGOT, M., RUMES, B., RUSSEL, J.M., DARIUS, F., CONLEY, D.J., SCHUSTER, M., von SUCHODOLETZ, H. & ENGSTROM, D.R. 2008 – Science, 320, 5877 : 765-768.
- LEBRUN, J. 1935 Les essences forestières des régions montagneuses du Congo oriental. *INEAC., série scientifique* n°1 : 9-38
- LEBRUN, J. 1942 La végétation du Nyiragongo. *Inst.Parcs Nationaux du Congo belge*, Sér.1, 3-5, 121p.
- LEBRUN, J. 1956 La végétation des territoires botaniques du Ruanda-Urundi. *Les Naturalistes belges*, Vol. spécial : 22-48
- LEBRUN, J. 1960a Sur une méthode de délimitation des horizons et étages de végétation des montagnes du Congo oriental. *Bull. Jard. Bot. Etat, Brux.* 30 : 75-94.
- LEBRUN, J. 1960b Etudes sur la flore et la végétation des champs de lave au nord du Lac Kivu. *Inst. Parcs Nat. Congo belge*, 2 : 352 p.
- LEBRUN, J. 1960c Sur les horizons et étages de végétation de divers volcans du massif des Virunga. *Bull. Jard. Bot. Etat, Brux.* 30 : 255-277.
- LEBRUN, J. & GILBERT, G. 1954 Une classification écologique des forêts du Congo. *I.N.E.A.C., série scientifique* n° 63, 189 p.
- LEONARD, A. 1962 – Les savanes herbeuses du Kivu. *Publication INEAC (Bruxelles), Sér. Scientifique*, 95, 87 p
- LIBEN, L. 1962. Nature et origine du peuplement végétal (spermatophytes) des contrées montagneuses du Congo oriental. *Acad. Roy. Belge, Classe des Sciences*, Mém. in-4°, Sér. 2, 15, 3 : 195p.
- MAHANEY, W.C. 1990 – Cadre stratigraphique, géochronologique et paléoclimatique de la fin du Pléistocène et de l'Holocène dans les régions montagneuses de l'Est Africain. *L'Anthropologie (Paris)*, 94, 2 : 211–228

- MALEY, J. 1982. Dusts, clouds, rain types and climatic variations in tropical North Africa. *Quaternary Research*, 18 : 1-16.
- MALEY, J. 1984. Influence des nuages sur les paléoenvironnements : quelques exemples pris dans le Quaternaire récent. *Bothalia*, 14 : 377-389.
- MARCHANT, R. & HOOGHIEEMSTRA, H. 2004 - Rapid environmental change in African and South American tropics around 4000 years before present: a review. *Earth-Science Reviews*, 66 : 217-260.
- NTAGANDA, C. 1991 – Paléoenvironnements et paléoclimats du Quaternaire supérieur au Rwanda par l'analyse palynologique de dépôts superficiels. Thèse de doctorat en Sc. Botaniques, Université de Liège, 281p.
- PRATT, S.E. 2012 – *Earth Magazine*, February, 25.
- ROCHE, E. 1991 – Evolution des paléoenvironnements en Afrique centrale et orientale au Pléistocène supérieur et à l'Holocène. Influences climatiques et anthropiques. *Bull. Soc. Géographique de Liège*, 27: 187–208
- ROCHE, E. 1998 – Evolution du paléoenvironnement Holocène au Rwanda. Implications climatiques déduites de l'analyse palynologique de séquences sédimentaires. *Tropical Climatology, Meteorology and Hydrology*, 108–127
- ROCHE, E. & NTAGANDA, C. 1999. Analyse palynologique de la séquence sédimentaire Kiguhu II (Région des Birunga, Rwanda). Evolution du paléoenvironnement et du paléoclimat dans le domaine afro-montagnard du Rwanda au cours de l'Holocène. *Geo-Eco-Trop.*, 22 : 71-82.
- RUNGE, J. 2001a – Landschaftsgenese und Paläoklima in Zentralafrika. *Relief, Boden, Paläoklima*, 17, 294 p. Gebr. Borntraeger. Berlin–Stuttgart.
- RUNGE, J. 2001b – On the age of stone-lines and hillwash sediments in the Eastern Congo basin - Palaeoenvironmental implications. *Palaeoecology of Africa*, 27: 19–36
- RUNGE, J. & RUNGE, F. 1998 – Phytolithanalytische und klimageschichtliche untersuchungen im Musisi-Karashoma-Sumpf, Kahuzi-Biega-Nationalpark, Ost-Kongo (ex-Zaïre). *Paderborner Geographische Studien*, 11: 79–104
- SNOWDEN, J.D. 1933. A study in altitudinal zonation in South Kigezi and Mounts Muhavura and Mgahinga, Uganda. *Journal of Ecology*, XXXI : 7-27
- STOTHERS, R.B. 1984 – Mystery cloud of AD 536. *Nature*, 307 : 344–345
- STREET-PERROTT, F.A. & PERROTT, R.A. 1990. Abrupt climate fluctuations in the tropics : the influence of Atlantic Ocean circulation. *Nature*, 343 : 607-611
- TROUPIN, G. 1966. Etude phytocénologique du Parc national de l'Akagera et du Rwanda oriental. *INRS Butare*, 2, 293 p.
- VAN NOTEN, F. 1983 – Histoire archéologique du Rwanda. *Annales du Musée royal de l'Afrique centrale (Tervuren), Sciences humaines*, n°112 : 174 p.