

# Carnet de terrain d'INDONÉSIE

Robin CAMPION

*Heureux lauréat de la bourse L.A.V.E., je me suis rendu 45 jours en mission en Indonésie avec mon directeur de thèse, Alain Bernard, qui travaille en Indonésie depuis plus de 30 ans. Nathalie et Hugues, étudiants en dernière année, participent également à la mission. Alain Bernard a découvert les volcans d'Indonésie en 1979, dans le cadre de sa thèse, avec François le Guern et l'équipe Tazieff. Il s'est spécialisé dans l'étude des systèmes hydrothermaux: géochimie des gaz, des lacs de cratères et des sources chaudes, émissions diffuses de CO<sub>2</sub>, étude de l'altération des roches. Depuis cinq ans, ses recherches sont financées par l'agence belge pour la coopération au développement et ont pris une orientation marquée par l'installation d'instruments de surveillance et la formation de chercheurs au Service Volcanologique Indonésien (C.V.G.H.M., aussi appelé V.S.I.). La mission de cet été, prévue de longue date, a trois objectifs:*

- repérer les actions nécessaires à réaliser dans le cadre du projet de coopération «*Volcanic hazards assessments and mitigation in the Ijen Caldera*»;
- mesurer le flux de SO<sub>2</sub> sur un maximum de volcans pour établir une ligne de base de leurs émissions;
- échantillonner les lacs de cratère et les sources chaudes du volcan Kelimutu dans l'île de Florès.

## Une mission qui commence assez mal

Arrivés en début de soirée à l'aéroport de Jakarta, nous cérons aux avances d'un rabatteur pour trouver une voiture qui nous transportera, avec tout notre équipement, à Bandung, où se trouve le siège du V.S.I. À mi-chemin, le moteur de la voiture commence à faire de drôles de bruits et une odeur caractéristique d'embrayage brûlé envahit la voiture. Et nous nous retrouvons au bord de la route, attendant une seconde voiture qui ne viendra qu'à 3 h du matin. Après une courte nuit à Bandung, nous nous rendons au V.S.I. où Devy, un jeune volcanologue du V.S.I. qui fait sa thèse en Belgique, nous accueille avec une mauvaise nouvelle: le Lokon vient d'entrer en éruption et le directeur, Pak Surono, est parti à Sulawesi pour superviser la gestion de la crise. C'est ennuyeux parce que nous devons le rencontrer pour discuter avec lui des besoins à long terme du V.S.I. et afin qu'il nous donne notre lettre de mission. Ce document administratif est nécessaire pour travailler en Indonésie sans se faire importuner par l'administration des parcs naturels où se trouvent les volcans que nous voulons étudier. Nous perdrons ainsi cinq jours à Bandung avant que le responsable administratif du V.S.I. ne se décide à nous écrire cette lettre à la place de son supérieur.

## Le Papandayan

Muni du précieux papier, nous partons pour notre premier objectif: le Papandayan. Ce volcan situé à une cinquantaine de kilomètres au Sud de Bandung est étudié de longue date par l'Université Libre de Bruxelles (U.L.B.) (cf. l'article d'Agnès Mazot, LAVE 94). Dans son cratère en fer à cheval, formé lors de l'éruption meurtrière de 1772, se trouve un florilège des manifestations en surface d'un système hydrothermal: fumerolles à basse et

haute température (jusqu'à 350 °C), sources chaudes, marmites de boue, exhalaisons diffuses de CO<sub>2</sub> et même, depuis l'éruption de 2002, un petit lac de cratère. Le volcan est périodiquement affecté de crises sismiques qui inquiètent à chaque fois les volcanologues indonésiens, mais ne débouchent pas sur une éruption. La thèse de Devy a pour but de comprendre l'origine de ces crises par une étude multidisciplinaire du volcan, et d'éviter les fausses alertes.

Nous nous dispersons sur le volcan avec chacun sa tâche à faire. Devy installe quatre stations sismiques et Alain Bernard, Hugues et Nathalie mesurent les concentrations de CO<sub>2</sub> dans le sol, en vue de repérer l'endroit idéal pour installer une station permanente de mesure de ce gaz. Quant à moi, je cherche une position d'où je pourrai mesurer le SO<sub>2</sub> émis par les zones de fumerolles. L'instrument dont je dispose est composé de deux caméras U.V., pourvues chacune d'un filtre optique, couplées à un spectromètre U.V. (le fonctionnement de cet instrument sera décrit dans un prochain numéro de LAVE). Il nécessite d'avoir le panache dans le champ de vision (20°) de l'instrument et, en arrière-plan, le ciel qui est la source de lumière U.V. Au Papandayan, ce n'est pas facile en raison des hautes murailles qui cernent le cratère.

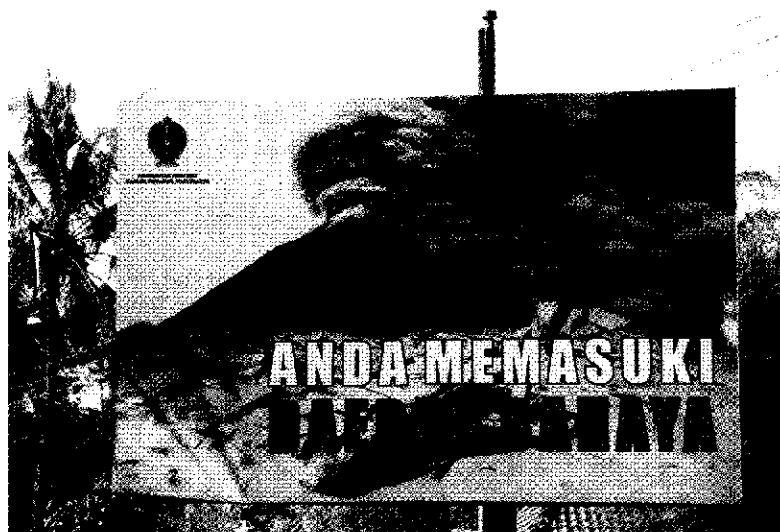
Après une demi-heure de crapahutage, je finis par trouver un point d'où la vue est satisfaisante. J'installe mes caméras sur leur trépied, fais les branchements avec l'ordinateur et la batterie de voiture, et commence à régler la mise au point et l'exposition des caméras. Hélas, le brouillard commence à arriver, réduisant la visibilité à une vingtaine de mètres. Après une heure d'attente dans l'espoir d'une amélioration, je plie bagages et je rejoins les autres, occupés à mesurer le CO<sub>2</sub>.

Les deux jours suivants, il fait nuageux dès le matin et je ne peux toujours pas faire de mesures de  $\text{SO}_2$ , mon moral baisse. Ce n'est pas la première fois qu'une météo capricieuse m'empêche de faire des mesures. Je me console en participant aux mesures de  $\text{CO}_2$  diffus qui, elles, peuvent se pratiquer même par brouillard. Nous repérons ainsi plusieurs anomalies, où la concentration en  $\text{CO}_2$  dans le sol atteint 100%. Le temps presse et nous devons partir pour notre volcan suivant, le Merapi.

### Le Merapi

Pas besoin de présenter ce volcan, certainement un des plus célèbres d'Indonésie. Il a connu en novembre 2010 sa plus violente éruption depuis plus d'un siècle (cf. LAVE 148). Je voudrais mesurer les émissions de  $\text{SO}_2$  de ce volcan pour savoir si cette éruption, très différente des précédentes, a aussi modifié son comportement de dégazage. Le premier jour, le mauvais temps semble nous avoir suivis et le volcan s'enferme, dès 8 h du matin, dans une épaisse couche de nuages. Nous en profitons pour nous rendre dans la zone dévastée par les coulées pyroclastiques de novembre 2010. Je suis impressionné par la dévastation et par l'étendue de la zone affectée. Des vallées que j'avais vues deux ans avant profondes de 100 m sont maintenant comblées presque jusqu'à ras par des dépôts pyroclastiques. C'est la première fois que je suis réellement confronté à l'aspect destructeur et meurtrier des volcans. Ici, il ne s'agit plus de beauté ou d'intérêt scientifique, mais d'habitants qui ont perdu la vie ou leur maison et tout ce qu'ils possédaient... Ces mêmes habitants reconstruisent aujourd'hui avec acharnement leurs maisons, malgré le danger évident de futures éruptions. La profonde brèche vers l'Est ouverte par l'éruption de 2010 canaliserait certainement les prochaines coulées pyroclastiques vers ce versant, épargné depuis près d'un siècle.

Le lendemain, la météo a l'air plus clémente et nous partons de Yogyakarta vers 4 h du matin avec bon espoir de pouvoir enfin faire des mesures. Nous contournons le volcan par la route de l'Est. Dans les premières lueurs du jour, le volcan apparaît dans toute sa redoutable grandeur. La voiture ahane dans les rudes côtes qui conduisent à Selo, point de départ de l'ascension, que nous entamons vers 8 h. Je suis très lourdement chargé, avec mon instrument, l'ordinateur et la batterie de voiture. Cela suffit pour rendre l'ascension assez pénible. Pendant la montée, j'observe avec inquiétude la couche de nuages bas remonter, lentement mais sûrement, les basses pentes du volcan. Une sorte de course de vitesse s'engage pour atteindre l'arête d'où j'ai prévu de faire mes mesures.



Affiche pour sensibiliser la population des flancs du Merapi aux risques encourus : « Vous entrez dans une zone dangereuse ».



Cimetière au Merapi.

Malgré mes 35 kg de handicap, j'arrive avant eux et j'ai le temps d'installer mon instrument et même de faire une séquence de mesures d'environ une demi-heure. Puis la visibilité se bouche et je range mon instrument dans sa boîte. Le temps pourtant n'est pas absolument mauvais, et je décide de monter avec Nathalie jusqu'au sommet du volcan. Sans sac, j'ai désormais une impression agréable de légèreté. Nous suivons la longue arête vers le Nord jusqu'à arriver au pied du complexe de dôme qui constitue le Merapi récent. Vu depuis le Nord, il n'a pas beaucoup changé, mis à part le fait que le pierrier de gros blocs qui recouvrait ses flancs est recouvert désormais par des dépôts pyroclastiques qui roulent sous les semelles, rendant la dernière partie de l'ascension un peu plus difficile que par le passé. Arrivé au sommet en revanche, c'est le choc ! Tous les dômes récents, produits des éruptions de 1994, 1998, 2002 et 2006, mais aussi le champ fumerollien de Woro et l'aiguille du « Puncak Garuda » ont été soufflés, laissant la place à un profond cratère large d'au



*Mesure à la caméra U.V. du panache de gaz du Merapi.*

moins 400 m et ouvert vers l'Est. Un petit dôme de lave inactif occupe le fond du cratère. Ce dôme a dû s'arrêter de croître avant la fin de l'éruption parce qu'il semble recouvert d'une épaisse couche de cendres.

Nous laissons la batterie sur l'arête nord et nous redescendons jusqu'à Selo pour une nuit réparatrice. Le lendemain matin, la météo est magnifique, nous remontons moins chargés jusqu'à l'arête nord, d'où nous reprenons les mesures interrompues la veille par le brouillard. Cette fois, nous bénéficions de longues heures de beau temps et acquérons d'excellentes mesures. Nous quittons le Merapi et Yogya pour notre volcan suivant, le Kelut.

### **Le Kelut**

Ce petit volcan, situé près des villes de Kediri et Blitar, possède une longue histoire d'éruptions dévastatrices et meurtrières. Un lac occupait son cratère jusqu'à l'éruption de 2007. Plusieurs fois par siècle, des éruptions, souvent très explosives, éjectaient l'eau du lac, qui retombait sur les flancs du volcan en coulées de boues impétueuses, les lahars. Un terme indonésien passé dans le jargon volcanologique international, tant ils sont fréquents en Indonésie. L'U.L.B. surveille ce volcan depuis 1994, en prélevant régulièrement des échantillons d'eau du lac. Contrairement à de nombreux lacs volcaniques, ce lac n'est pas acide mais légèrement salé.

Depuis 2006, nous avons aussi sur le lac une station de mesure en continu de la température, de la chimie du lac, du radon et de plusieurs paramètres météo. Quelques mois avant l'éruption de 2007, la station avait enregistré une augmentation de température du lac, avant la crise sismique précédant l'éruption. L'éruption, prévue et attendue, a néanmoins surpris tout le monde car, contrairement aux précédentes, elle ne fut pas explosive et cataclysmale mais effusive. Un dôme poussa calmement dans le cratère enfouissant la station de mesure sous 200 m de lave visqueuse et réduisant le lac à une petite mare d'eau couleur orangée. Je découvre avec émotion ce nouveau dôme, 30 millions de m<sup>3</sup> d'andésite noire, niché dans son écrin de verdure. La végétation qui poussait dans le cratère n'a même pas été brûlée par l'éruption. Malgré la quasi-disparition du lac, le tunnel, creusé par les Hollandais pour abaisser son niveau, continue à débiter 150 l/s d'une eau très chaude (50 °C). Les Indonésiens ont aménagé des bains d'eau chaude à la sortie du tunnel, un « *sulfuric spa* » très couleur locale...

Nous n'avons prévu qu'un jour au Kelut, le temps pour Alain Bernard de « relever les compteurs », c'est-à-dire télécharger les données des instruments qui ont survécu à l'éruption et collecter des échantillons de la mare et du tunnel. Déjà, il est temps de repartir pour le Bromo.



### Le Bromo

Situé dans la caldera du Tengger, le Bromo est un des volcans les plus touristiques d'Indonésie. Le lever du soleil sur le superbe panorama de la caldera, avec le Semeru en arrière-plan, est un incontournable des circuits touristiques. La région a donc un peu perdu son authenticité indonésienne. En novembre 2010, le Bromo s'est réveillé et pendant plusieurs mois a craché des panaches de cendres qui ont recouvert toute la région d'un manteau de fine poussière minérale. L'éruption a pris fin en juin et le volcan semble être revenu à son état pré-éruptif de dégazage calme. À notre arrivée dans l'après-midi, de la cendre très fine soulevée par le vent rend l'atmosphère opaque. Pas question de sortir la caméra U.V. dans ces conditions. Nous en profitons donc pour descendre dans la caldera et monter au Bromo. L'escalier qui montait jusqu'au bord du cratère disparaît à mi-pente sous les dépôts de cendres fines. Une bouche perce le fond du cratère et émet des volutes blanches assez faibles. Nous tentons de faire le tour du cratère, mais nous renonçons à cause de l'instabilité de ces dépôts de cendre fine épais de plusieurs mètres. Par endroits, notre passage déclenche de petites avalanches de cendre. Nous sommes sans doute les premiers à marcher dans cette zone depuis que l'accès au volcan a été autorisé, il y a deux semaines. Nous nous hâtons

de rejoindre la base de la caldera avant la tombée de la nuit et nous y arrivons complètement noirs de cendres. Le lendemain, il y a moins de cendre en suspension. En fait, la rosée du matin la fixe au sol. Après le lever du soleil, nous descendons au fond de la caldera pour faire les mesures. Au bout d'une heure, le sol sèche et le vent, pourtant faible, commence à soulever des tourbillons de cendres. Soucieux de protéger les instruments, nous n'insistons pas et replions tout. Les mesures que nous avons suffissent pour estimer le flux de  $\text{SO}_2$  du Bromo. Nous mettons le cap sur la caldera d'Ijen.

### Le Kawah Ijen

Le gros objectif de la mission, c'est lui, le Kawah Ijen. Alain Bernard a monté un projet de coopération multidisciplinaire visant à réduire les risques que fait peser ce volcan sur les environs. Le risque le plus évident est bien sûr la vidange brutale des 35 millions de  $\text{m}^3$  du lac acide ( $\text{pH} = 0,2$ ) en un lahar qui balayerait tous les villages situés le long de la rivière Banyupahit. Mais le but est aussi d'étudier et de prévenir une éventuelle contamination des ressources en eau par des infiltrations diffuses mais continues, à partir du lac acide ou du système hydrothermal du volcan. Une étude démographique (combien de personnes sont menacées?), sociologique (quelle est la perception des risques dans les villages?) et hydrogéologique complètera, sur une



Mesures à la caméra U.V. au pied du Bromo.





*Les tuyaux installés sur la solfatare du Kawah Ijen favorisent la condensation du soufre liquide plutôt que sa combustion sous forme de flammes bleues.*

période de quatre ans, l'étude volcanologique. Notre mission a pour but d'établir une première quantification des flux d'eau, d'ions, de gaz et d'énergie émis par le volcan et d'installer une station pilote sur le lac.

Pour le premier jour de travail, nous recrutons deux porteurs pour monter le bateau jusqu'au lac. Nous préférons porter les instruments et les batteries. Le bateau nous sert pour arpenter le lac de part en part en traînant un échosondeur sophistiqué. Il permet, outre la bathymétrie précise du lac, de quantifier les bulles qui s'échappent des fumerolles situées sur son fond. Des mesures à la chambre d'accumulation (cf. l'article d'Agnès Mazot, LAVE 130) complètent cette étude du flux de CO<sub>2</sub> produit par le lac. Au bout de quatre jours de mesures, nous avons obtenu à la rame une trentaine de kilomètres de profils bathymétriques.

Un autre jour, nous descendons le long de la rivière Banyupahit qui draine par infiltration le lac acide. Quelques centaines de mètres après avoir quitté le cratère, nous découvrons une spectaculaire cascade tapissée de cristaux de gypse. Le gypse (CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O) précipite aux dépens de l'eau sursaturée de la rivière. Même après avoir parcouru plusieurs kilomètres et reçu de nombreux affluents, le pH de la rivière est encore de 1,7 lorsqu'elle traverse le village de Blawan, juste

avant de sortir de la caldera. Les habitants ne boivent pas, bien sûr, l'eau de cette rivière, mais qu'en est-il de l'eau des ruisseaux et des sources des environs? Est-il possible qu'ils soient contaminés par infiltrations? L'analyse des échantillons prélevés permettra de répondre à cette question.

Les jours de beau temps, je m'attache à mesurer les flux de SO<sub>2</sub> avec la caméra U.V. L'Ijen s'avère être un volcan difficile pour ce travail. Les flancs du volcan sont souvent noyés dans le brouillard, tandis que, de la lèvre du cratère, il est difficile d'avoir assez de recul pour avoir tout le panache dans le champ de vision de la caméra. De plus, certains jours, l'humidité atmosphérique rend le panache tellement riche en aérosol (matérialisé par d'épaisses volutes blanches) qu'il en devient opaque dans l'U.V. La précision en sera forcément diminuée. Néanmoins, après deux semaines de mesures presque journalières, j'ai accumulé au moins une dizaine d'heures de données exploitables.

Un soir, nous campons au bord du cratère. À 4 h du matin, après une nuit assez froide (à 2 300 m et nous n'avions que des sacs de couchages légers), nous descendons dans le cratère pour admirer les flammes bleues produites par la combustion du soufre. Le vent favorable nous permet d'approcher au plus près des flammes, qui font presque deux fois ma taille.



*Échantillonnage d'une source chaude.*

L'atmosphère est surréelle et hypnotique, le ronflement des flammes de soufre se mêle au bruit caractéristique des pics des mineurs qui cassent des blocs de soufre.

Après seize jours passés dans le cratère et les fumerolles, nos corps, nos cheveux, nos vêtements et nos sacs sont imprégnés de l'odeur du gaz sulfureux. Au terme d'une fatigante journée de transport, nous gagnons Denpasar et prenons l'avion pour Florès et le dernier volcan de notre mission : le Kelimutu.

### **Le Kelimutu**

Ce petit volcan de Florès est devenu une célébrité mondiale à cause des trois lacs de cratères de couleurs différentes qui occupent son sommet. L'étude géochimique de ce volcan-caméléon constitue le sujet de mémoire de Nathalie. Au village de Moni, point de départ habituel pour les visiteurs du volcan, le développement du tourisme a laissé son empreinte sur le paysage et les mentalités des gens. Nous préférons loger à l'observatoire volcanologique, situé un peu à l'écart. Dès le premier jour, nous montons au sommet pour une reconnaissance du site. Les trois lacs sont bien là, chacun niché au fond de son cratère à pic. Le premier, le Tiwu Ata Polo (*lac des Sorciers*) est en ce moment de couleur vert émeraude, mais il a été par le passé rouge, brun ou noir. Une zone de bulles occupe sa partie

ouest. Une étroite arrête rocheuse le sépare du deuxième lac, le Tiwu Nuwa Muri Khoofai (*lac des jeunes gens*) à sa couleur turquoise habituelle (il est rarement blanc laitux). Cette couleur rappelle celle du Kawah Ijen et les bancs de soufre flottant à sa surface accentuent la ressemblance. Plus à l'Est et un peu à l'écart, se trouve le Tiwu Ata Mbupu (*lac des vieillards*), au fond d'un cratère emboîté dont la terrasse intermédiaire abrite une petite forêt. Sa couleur noire a peu varié au cours des vingt dernières années, mais il devait être rouge à l'époque coloniale.

D'emblée, nous réalisons que la collecte d'échantillons de ces trois lacs sera difficile. Sans matériel d'alpinisme, impossible de descendre au fond des cratères-puits profonds d'une centaine de mètres chacun. Nous avons deux semaines pour mettre au point un système de prélèvement à distance. D'ici là, nous pouvons aussi nous consacrer à l'échantillonnage des dizaines de sources chaudes qui sourdent sur les flancs du volcan. Pour nous déplacer, nous louons pour une semaine un *bémo* chatoyant de couleur. Certaines sources, très isolées, ne sont accessibles qu'après plusieurs heures de piste très chaotique, puis de marche dans une nature magnifique et montagneuse. Malgré l'afflux touristique constant à Moni et au Kelimutu, dans les villages des autres versants du volcan, les habitants ne voient que très rarement des « *orang bule* » (hommes blancs).



*Échantillonnage dans la forêt de Florès.*

Notre arrivée suscite à chaque fois une forte animation et, parfois, ce sont tous les enfants du village (de vingt à trente, plus quelques adultes) qui nous escortent joyeusement jusqu'à «leur» source. Après dix journées trépidantes d'échantillonnage des sources, le jour tant attendu est arrivé : la tentative des lacs. Pour des raisons administratives, nous ne disposons que d'une journée pour échantillonner les trois lacs. C'est très court. Le dispositif réalisé est constitué d'un robuste jerrican en plastique percé de trous et contenant des flacons d'échantillonnage stabilisés par des pierres. Il est accroché par une corde en nylon tressé de 5 mm de diamètre. Une longue perche en bambou servira à écarter le fil des parois lors de la remontée, afin de limiter l'abrasion. Nous commençons par le Tiwu Nuwa Muri Khoofai qui a l'air le plus actif. Le premier essai est infructueux. Le jerrican n'est pas assez lesté et ne s'enfonce pas à travers la couche de soufre flottant sur l'eau du lac. Nous décidons d'augmenter le lest, au risque d'excéder la résistance de la corde. La remontée du jerrican se fait par à-coups, car il s'accroche malgré la perche en bambou. La corde m'entre dans la chair des mains, et les derniers mètres, imprégnés d'eau acide, piquent la blessure. Fina-

lement, le deuxième essai est un succès, mais nous n'avons que 40 ml d'eau, et plus le temps d'un troisième essai. Comme le lac est très concentré (pH de 0,3), ça sera probablement suffisant pour les analyses. Nous passons au lac suivant. Au Tiwu Ata Polo, nous collectons assez d'eau dès le premier essai. Pour le Tiwu Ata Mbupu, nous rencontrons un Indonésien qui dit connaître un chemin pour accéder au lac. Moyennant quelques centaines de milliers de roupies, il accepte de descendre nous prélever un échantillon, mais refuse que nous descendions avec lui, il dit que c'est trop dangereux. Parle-t-il de la paroi ou des esprits? Nous n'en sommes pas sûrs...

Finalement, contre toute attente, nous avons nos échantillons des trois lacs. Coup de chance final, le pilote de l'avion qui nous ramène de Florès à Jakarta nous offre un 360° autour du sommet du Kelimutu, nous permettant de photographier, sur un même cliché, les trois lacs enchantés. La mission se termine, mais c'est plus un commencement qu'une fin. En effet à notre retour, de longs mois d'analyse nous attendent pour exploiter au mieux les données et les échantillons recueillis sur le terrain. Mais ceci est une autre histoire... □

*1. Photo nocturne du lac du Kawah Ijen éclairé par la pleine lune. - 2. Caméra U.V. sur le bord du Kawah Ijen. 3. Le nouveau dôme de lave du Kelut et le vestige du lac qui occupait le cratère avant l'éruption de 2007. - 4. Cristaux de gypse dans la rivière qui draine le lac du Kawah Ijen. - 5. Navigation sur le lac du Kawah Ijen. - 6. Les lacs du Kelimutu vus d'avion; de gauche à droite: Tiwu Ata Polo, Tiwu Nuwa Muri Khoofai et Tiwu Ata Mbupu. Images © Robin Campion*



