

La transgression miaolingienne et la biozone *Oryctocephalus indicus* dans la vallée de Sumna (Spiti), Himalaya, Inde

Comptes Rendus. Géoscience, Tome 352 (2020) no. 2, pp. 157-168.

Birendra P. Singh ; Garry Singla ; Om N. Bhargava ; Ramanpreet Kaur ; Stanzin Stopden

(traduction de DeepL post-éditée par N. Bacaër, suggestions d'amélioration : nicolas.bacaer@ird.fr)



Résumé

La biozone d'*Oryctocephalus indicus* (Wuliuan, Miaolingian) est reconnue dans la vallée de Sumna, dans la partie sud-est de la région de Spiti dans l'Himalaya, sur la base de la date de la première apparition et de la dernière apparition d'*Oryctocephalus indicus*. La biozone a une épaisseur d'environ 5,6 m (17,8-23,4 m), et elle contient les trilobites *Oryctocephalus indicus*, *Pagetia significans* et *Kunmingaspis pervulgata*. Des études comparatives des variations lithologiques à travers la transition de la Série 2 du Cambrien - Wuliuan (Miaolingien) dans les vallées du Parahio et de Sumna (partie sud-est de la région de Spiti) montrent que les dépôts de Wuliuan (Miaolingien) ont transgressé sur la surface ondulatoire de la Série 2 du Cambrien. La partie supérieure des dépôts de la série 2 du Cambrien, dans la partie sud-est de la région de Spiti, est caractérisée par une unité de grès ferrugineux brun-rougeâtre, à grain très grossier, qui indique un diastème antérieur à la transgression de Wuliuan (Miaolingien).

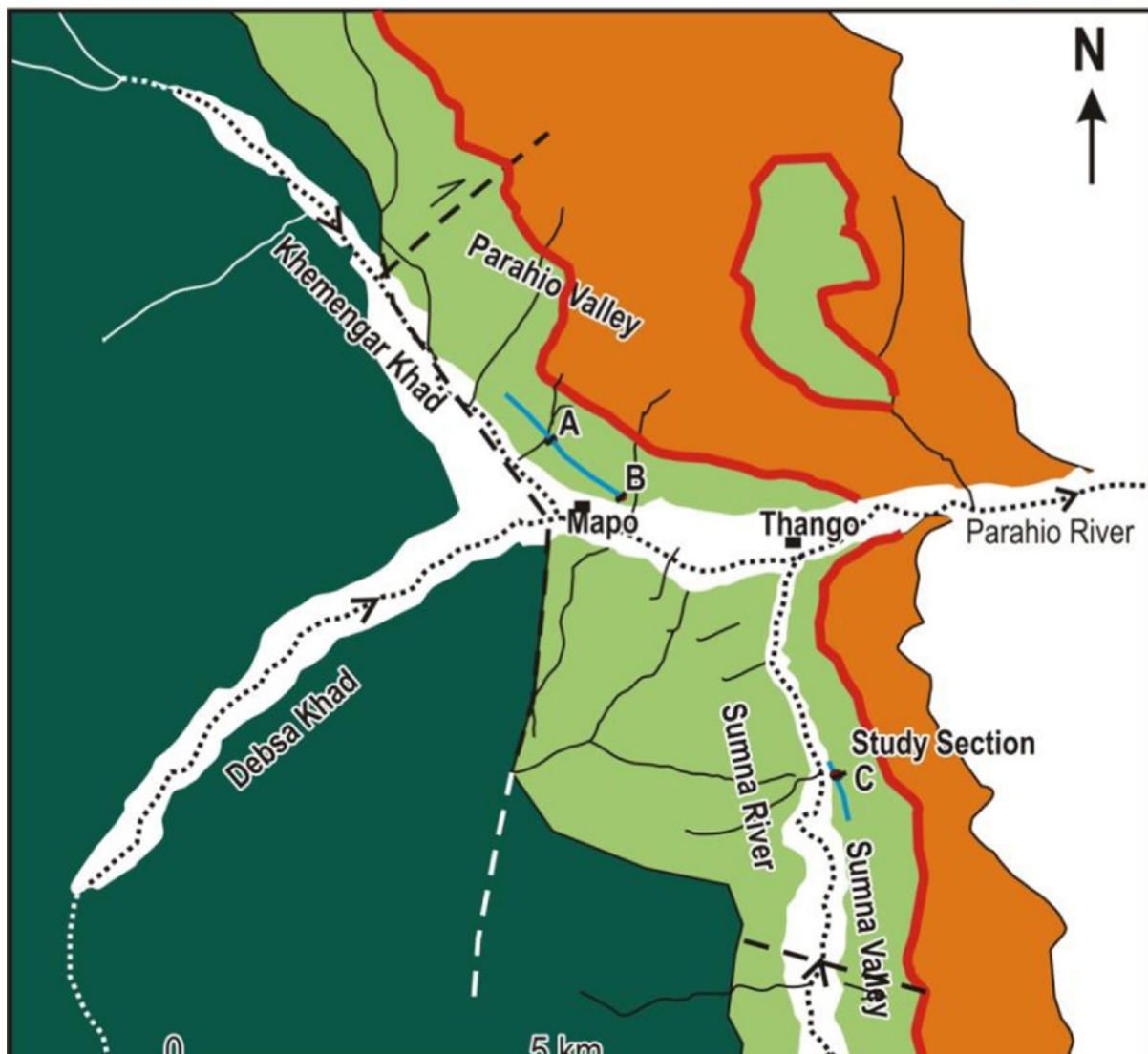
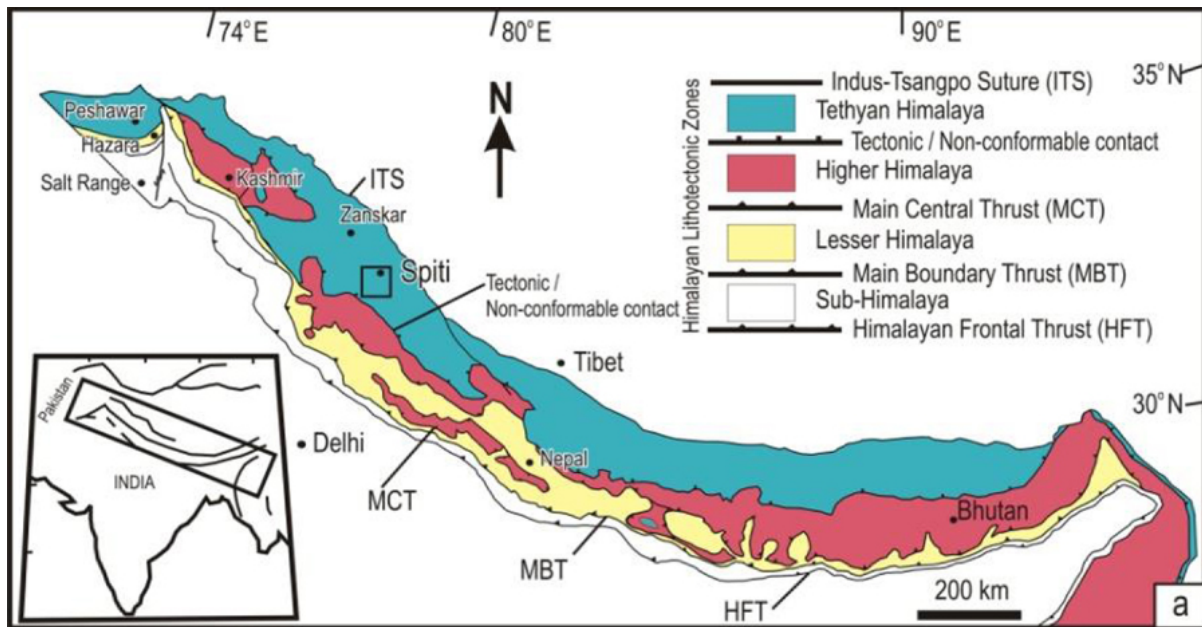
1. Introduction

Globalement, la première date d'apparition (FAD) d'*Oryctocephalus indicus* est considérée comme la base du stade de Wuliuan, Série Miaolingienne [Zhao et al. 2019]. Dans le Cambrien de la région de Spiti (Himalaya), la biozone d'*Oryctocephalus indicus* est également considérée comme la base de la Série Miaolingienne (~509 Ma) [Singh et al. 2016a, 2017a]. Cela a été bien documenté dans les vallées du Parahio et du Pin, dans la partie sud-est de la région du Spiti [Singh et al. 2016a, 2017a,b]. Bien que les roches cambriennes soient largement réparties dans l'Himalaya, la vallée du Parahio (région de Spiti) constitue la section la plus étudiée des gisements cambriens [Hayden 1904 ; Reed 1910 ; Jell et Hughes 1997 ; Shah et Paul 1987 ; Sahni et Soudan 1996 ; Shah et al. 1988, 1991 ; Peng et al. 2009 ; Singh et al. 2014, 2015, 2016a,b, 2017a,b ; Popov et al. 2015 ; Hughes 2016a,b ; Gilbert et al. 2016 ; Yin et al. 2018 ; Kaur et al. 2019]. Cependant, les roches cambriennes sont également présentes dans les vallées de Sumna, Pin et Chandra de la région de Spiti [Bhargava et Bassi 1998]. Jusqu'à présent, aucun fossile corporel cambrien n'a été signalé dans la vallée de Chandra. Dans la vallée du Pin, la biozone *O. indicus* a été récemment délimitée [Singh et al. 2017b]. La faune de trilobites signalée dans la section de la vallée de Sumna (au confluent des vallées du Parahio et de Sumna) comprend le plus jeune niveau de trilobites, c'est-à-dire le niveau des butes d'*Iranoleesia* [Peng et al. 2009 ; Singla et al. sous presse].

Le présent travail concerne la vallée de Sumna, où nous délimitons la biozone d'*Oryctocephalus indicus*. En outre, un compte rendu comparatif de la variation des lithologies à travers la transition cambrienne Série 2-Wuliuan (Miaolingienne) dans les vallées du Parahio et de Sumna (partie sud-est du Spiti) est présenté pour interpréter la configuration du bassin pendant le dépôt.

2. Cadre géologique et lithostratigraphie

On sait que les gisements cambriens de l'Himalaya se trouvent dans les zones lithotectoniques de Tethyan et du Petit Himalaya, qui sont séparées par la zone lithotectonique métamorphosée du Grand Himalaya (figure 1a). La zone himalayenne de Téthys est délimitée au nord par la zone de suture indotsangpo et au sud par le système de détachement du sud du Tibet (Burchfiel et al. 1992 ; Hodges et al. 1992 ; Searle et Treloar 1993). La région de Spiti se trouve dans la partie la plus septentrionale de l'État de l'Himachal Pradesh et fait partie de la zone himalayenne de Téthys [Srikantia 1981 ; Bhargava et Bassi 1998 ; Srikantia et Bhargava 2018]. Les gisements cambriens de la région du Spiti sont bien exposés dans plusieurs localités ; par exemple, la vallée de Chandra (partie nord-ouest de la région du Spiti), Ratang Nala (partie centrale de la région du Spiti) et les vallées du Parahio, de Sumna et du Pin (partie la plus méridionale de la région du Spiti).



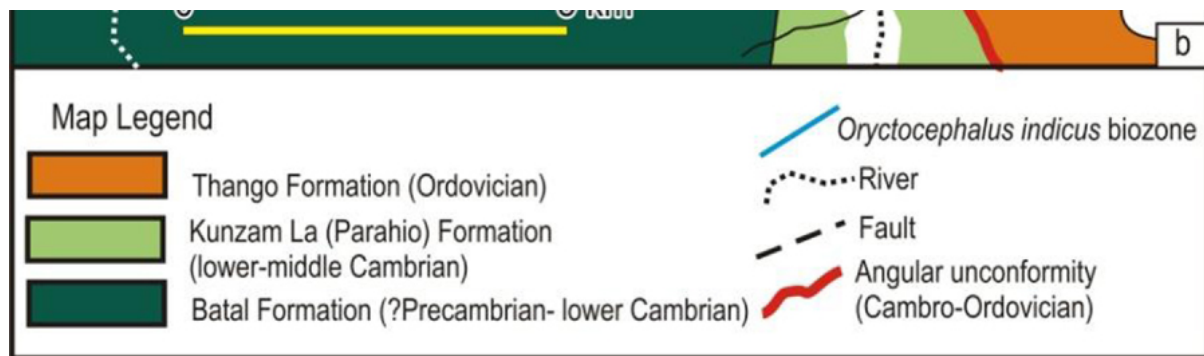


Figure 1. Carte de localisation de la partie sud-est de la région du Spiti et des vallées du Parahio et de Sumna (modifiée après [Bhargava et Bassi 1998]). Les points A, B et C de la carte indiquent l'emplacement des sections et la ligne bleue indique la biozone *Oryctocephalus indicus* le long des sections étudiées dans les vallées du Parahio et de Sumna.

Lithostratigraphiquement, les gisements cambriens de la région de Spiti sont classés dans le groupe de Haimanta [Srikantia 1981 ; Bhargava et Bassi 1998]. Les roches sédimentaires ancrées et métamorphisées du groupe de Haimanta reposent tectoniquement ou de manière non conforme sur les roches fortement métamorphisées de la zone du Grand Himalaya. Cependant, divers auteurs ont appelé ce contact tectonique le système de failles du Tibet du Sud [Burchfiel et al. 1992 ; Hodges et al. 1992 ; Searle et Treloar 1993 ; Myrow et al. 2003, 2009 ; Webb et al. 2007 ; Kellett et Grujic 2012 ; Leloup et al. 2015 ; Lui et al. 2017], même s'il n'a pas été correctement délimité sur une carte.

Dans la région de Spiti, le groupe Haimanta (?Précambrien-Cambrien) est divisé en formations Batal et Kunzam La (Parahio) [Srikantia 1981 ; Bhargava et Bassi 1998 ; Myrow et al. 2006, 2010 ; Hughes et al. 2018 ; Srikantia et Bhargava 2018]. On ne connaît pas de fossiles corporels dans la formation de Batal ; par conséquent, son âge est controversé et purement basé sur des hypothèses concernant sa relation stratigraphique avec la série 2/étape 4 du Cambrien fossilifère sus-jacent à la formation de Wuliuan (Miaolingien) Kunzam La (Parahio). Le zircon détritique (à grain unique) de la formation de Batal dans la localité de Batal dans la vallée de Chandra a donné un âge de 524 ± 7 Ma [Myrow et al. 2010], ce qui suggère qu'une partie de la formation de Batal est d'âge cambrien.

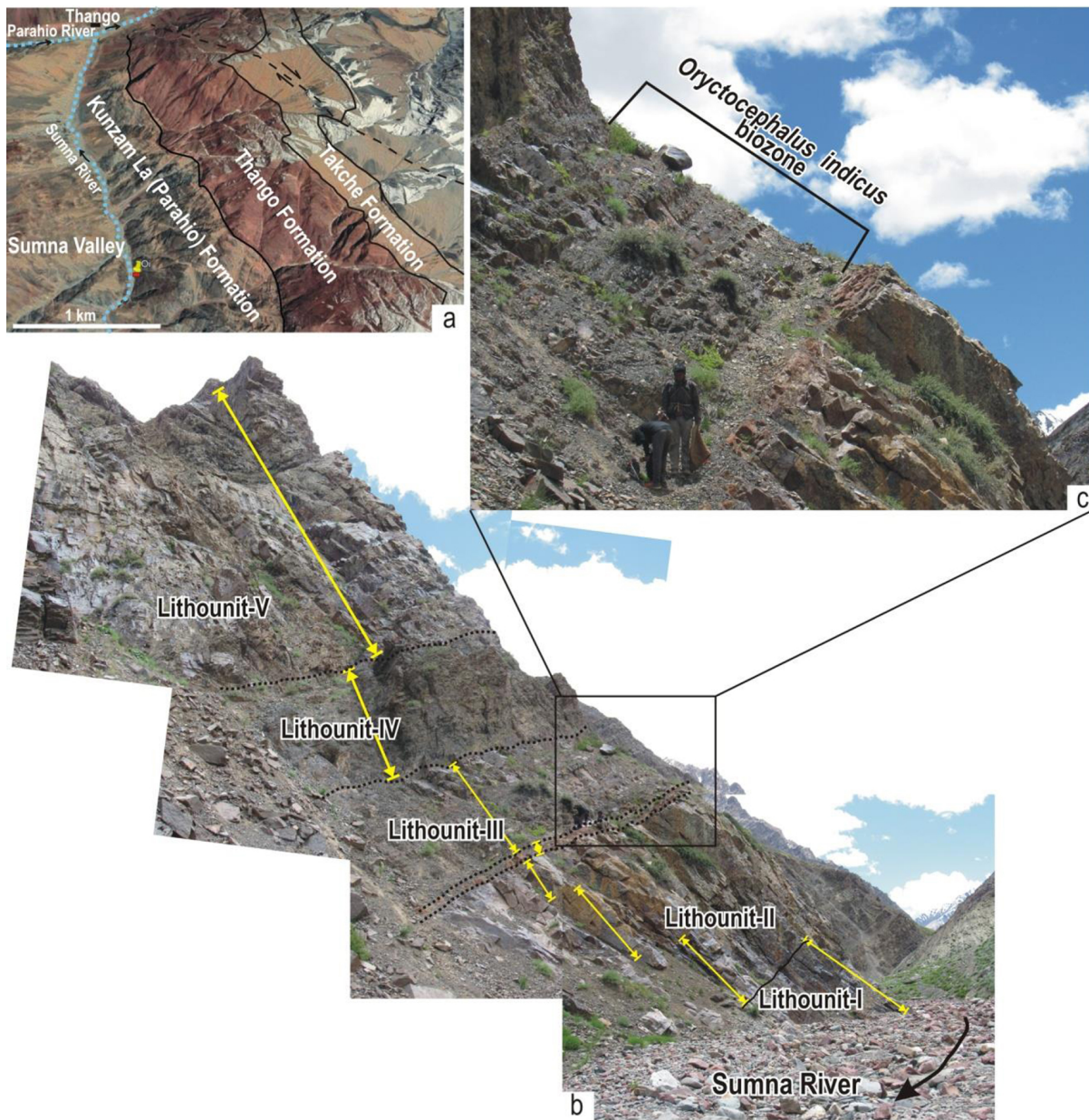


Figure 2. (a) image Google Earth© de la vallée de Sumna montrant l'emplacement de la section étudiée (broche jaune) ; (b) photographies de terrain de la section étudiée dans la vallée de Sumna et sa subdivision lithologique (lithounits I-V) ; (c) encart montrant la vue agrandie de la biozone lithounit-III et *Oryctocephalus indicus*.



Figure 3. Photo de terrain montrant le contact de grès ferrugineux rouge-brun à gros grains (sommet du lithounit-II) et de schistes noirs limoneux (lithounit-III) ; le lithounit-III a donné des fossiles de trilobites de la biozone *Oryctocephalus indicus* (vallée de Sumna, Spiti ; bâton à l'échelle =1 m).

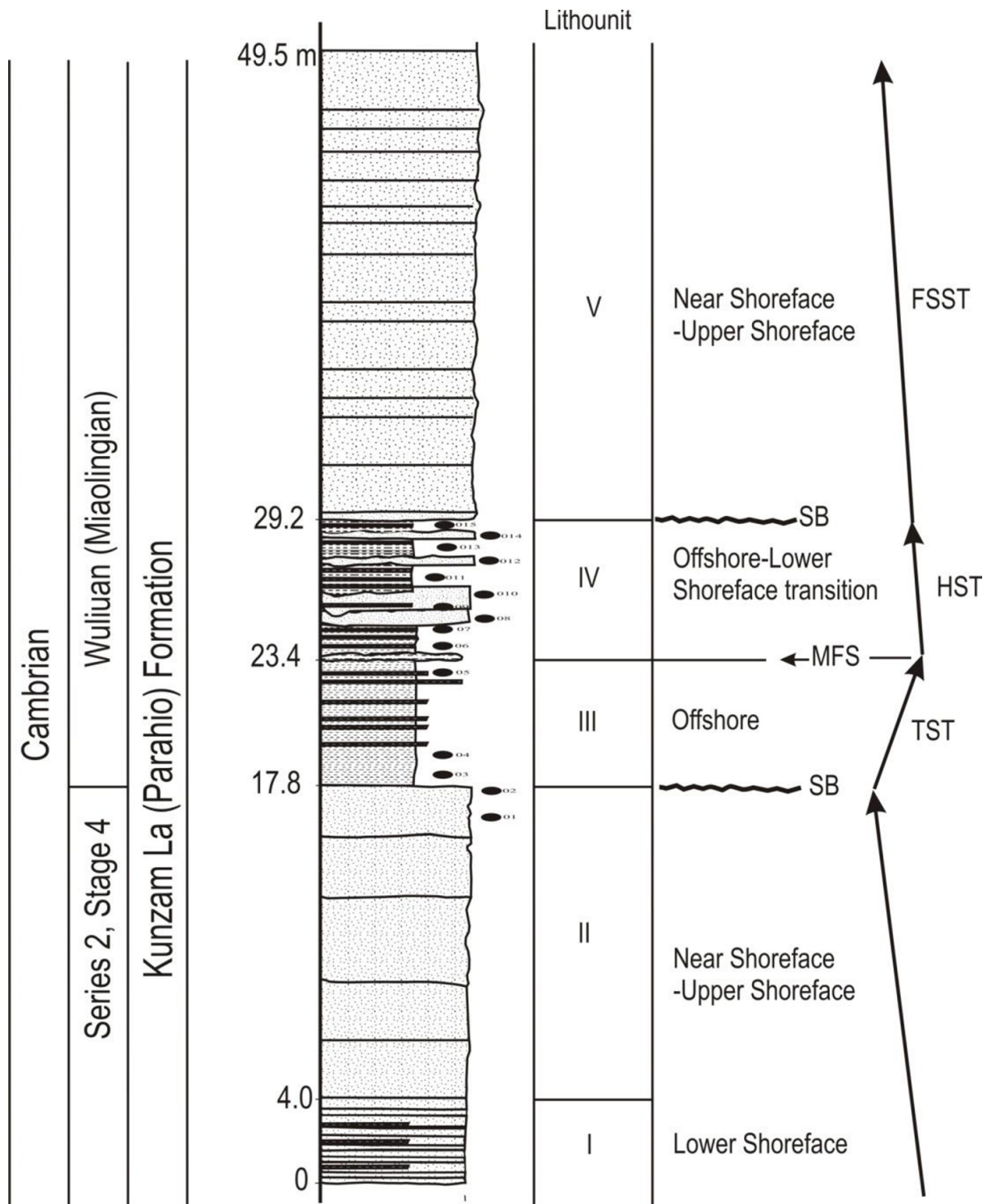


Figure 4. Lithocolumne de la section mesurée sur la rive droite de la rivière Sumna dans la vallée de Sumna, montrant la distribution des lithounits (I-V) et leur environnement de dépôt inféré respectif et le cadre stratigraphique séquentiel.

Les roches exposées dans la vallée du Parahio s'étendent au sud-est dans la vallée de Sumna. On sait que des fossiles de trilobites, de brachiopodes et de petits fossiles du plateau continental (SSF) existent dans la vallée du Parahio [Hayden 1904 ; Reed 1910 ; Jell et Hughes 1997 ; Peng et al. 2009 ; Singh et al. 2014, 2015, 2016a,b, 2017a,b, 2019 ; Popov et al. 2015 ; Gilbert et al. 2016 ; Yin et al. 2018 ; Hughes et al. 2018 ; Srikantia et Bhargava 2018 ; Kaur et al. 2019]. Une discordance angulaire sépare la formation de Kunzam La (Parahio) de la formation ordovicienne sus-jacente de Thango [Hayden 1904 ; Bhargava et Bassi 1998 ; Myrow et al. 2006, 2010] ; cette dernière a été déposée après l'orogénèse de Kurgiakh [Srikantia 1977 ; Xu et al. 2014 ; Myrow et al. 2016 ; Singh et al. 2019].

La nomenclature des roches cambriennes de la région de Spiti fait actuellement l'objet d'un débat [Myrow et al. 2006 ; Bhargava 2008, 2011 ; Singh et al. 2014, 2016a ; Hughes et al. 2018, 2019 ; Srikantia et Bhargava 2018]. Dans le présent travail, nous suivons Singh et al. 2014 et adoptons le nom de Kunzam La (Parahio) Formation. Le schéma lithostratigraphique généralisé de la région de Spiti est illustré dans le tableau 1.

3. Section étudiée

La vallée de Sumna est une vallée subsidiaire de la vallée du Parahio, orientée nord-sud. Elle se situe entre les vallées du Parahio (au nord-ouest) et du Pin (au sud-est) (figure 1b). La section étudiée se trouve à environ 3,52 km au sud-est du confluent des rivières Sumna et Parahio. La section est exposée sur la pente orientée sud-ouest sur la rive de la rivière Sumna (GPS : N 32° 0.291' et E 77° 57.308') (figures 1b et 2). La section mesurée a une épaisseur de 49,5 m, et la base de la section se trouve près de la rivière Sumna. La section est divisée lithologiquement en cinq lithounits, I-V (figures 2 et 4). Le lithounit I, exposé à la base de la section, est constitué de 4,0 m de grès intercalé, mince à épais (0,2-1,1 m), à grain fin, à lit croisé bosselé et de lits de schiste mineurs (0,1-0,2 m). L'interface des lits de schiste et de grès à grain fin présente une faible bioturbation (Planolites). Lithounit-II est une succession de 13,8 m d'épaisseur de grès à grain moyen à grossier. Le grès présente des surfaces de réactivation, des sommets ondulés et quelques laminations croisées en creux. Le sommet de 0,56 m de ce lithounit est du grès ferrugineux à gros grains rougeâtre, altéré par les intempéries, ce qui peut indiquer une exposition aérienne ou un diastème (figure 3). Le lithounit-III est une succession de 5,6 m d'épaisseur composée de schiste noirâtre à bleuâtre (0,7 m), de schiste limoneux (0,1-0,3 m) et de siltite et de grès intercalés mineurs (0,1-0,2 m). Le schiste noirâtre à bleuâtre et le schiste limoneux contiennent les trilobites *Oryctocephalus indicus*, *Pagetia significans* et *Kunmingaspis pervulgata* (figure 5). La biozone *Oryctocephalus indicus* n'est signalée que dans cette unité. Lithounit-IV est une succession de 5,8 m d'épaisseur et consiste en une alternance de schistes limoneux et de minces lits de grès à grain fin. Les minces lits de siltstone (0,1-0,3 m) et de grès (0,1-0,2 m) présentent des surfaces ondulées. Les lits de siltite contiennent des *Pagetia significans* et des *Kunmingaspis pervulgata*. *Oryctocephalus indicus* ne se trouve pas dans ce lithounit. Le lithounit-V a une épaisseur de 20,3 m et est constitué de grès à grain moyen à grossier, de 0,5 à 1,1 m, présentant des lits transversaux en auge et des structures en boules et en oreillers. On n'a pas trouvé de fossiles bien conservés dans ce lithounit, bien que des fragments du trilobite *Bhargavia prakritika* aient été observés.

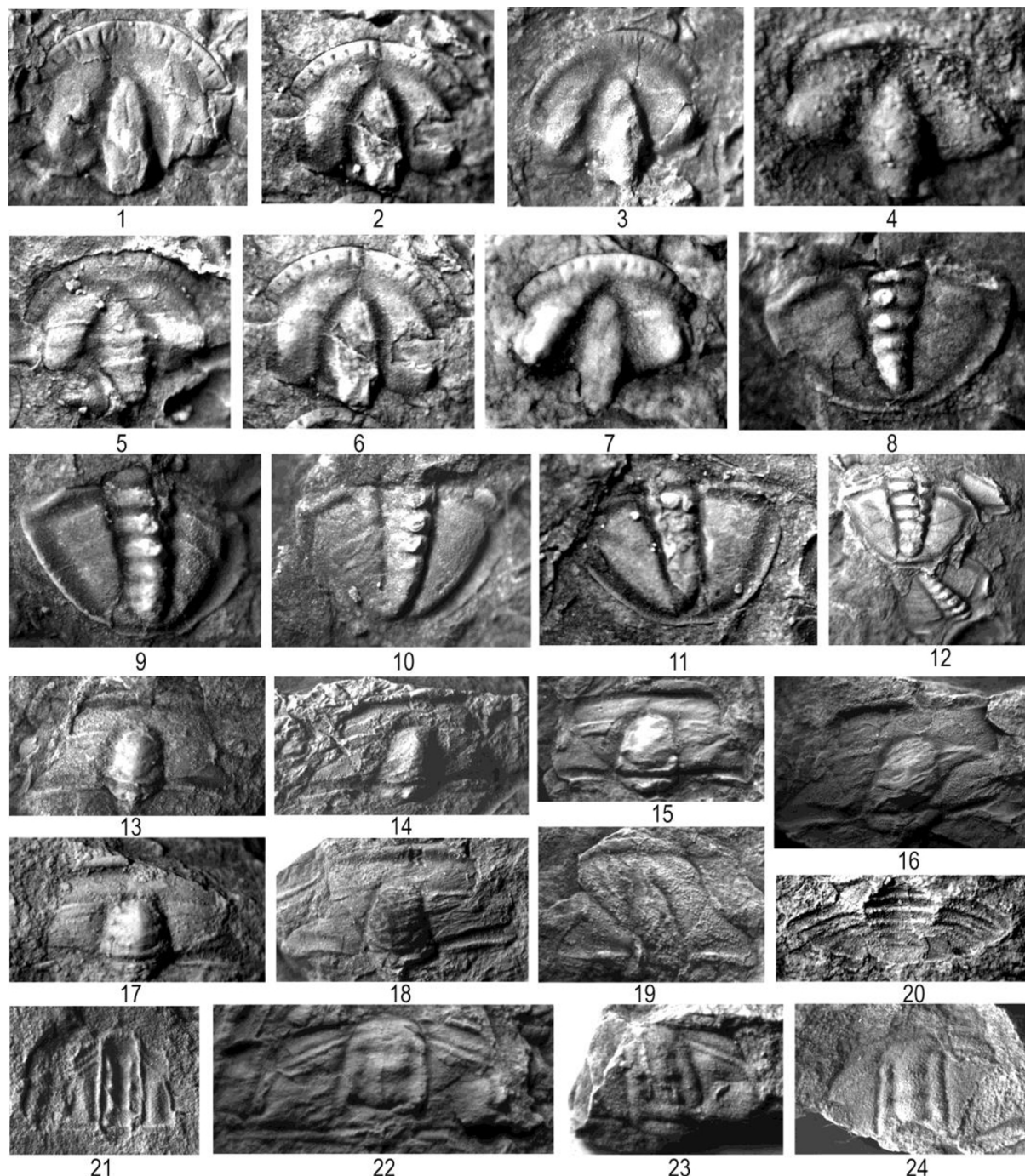


Figure 5. Trilobites représentatifs de la biozone *Oryctocephalus indicus* dans la vallée de Sumna, région de Spiti, Himalaya. (1–12) : *Pagetia significans* [Etheridge 1902], 1-7 : cranium (1 : CAS/2017/SV-1003, 22x ; 2 : CAS/2017/SV-1007, 22x ; 3 : CAS/2017/SV-1008, 21x ; 4 : CAS/2017/SV-1009, 23x ; 5 : CAS/2017/SV-1017, 22x ; 6 : CAS/2017/SV-1025, 22x ; 7 : CAS/2017/SV-1029, 45x) ; 8-12 : pygidium (8 : CAS/2017/SV-1005, 30x ; 9 : CAS/2017/SV-1011, 22x ; 10 : CAS/2017/SV-1019, 22x ; 11 : CAS/2017/SV-1036, 22x ; 12 : CAS/2017/SV-1030, 21x) ; (13-20) : *Kunmingaspis pervulgata* [Reed 1910], 13-19 : cranium (13 : CAS/2017/SV-1035, 9x ; 14 : CAS/2017/SV-1048, 10x ; 15 : CAS/2017/SV-1053, 14x ; 16 : CAS/2017/SV-1056, 16x ; 17 : CAS/2017/SV-1061, 10x ; 18 : CAS/2017/SV-1063, 11x ; 19 : CAS/2017/SV-1037, 10x) ; 20 : pygidium, CAS/2017/SV-1037, 14x ; (21-24) : *Oryctocephalus indicus* [Reed 1910], cranium (21 : CAS/2017/SV-1002, 10x ; 22 : CAS/2017/SV-1023, 10x ; 23 : CAS/2017/SV-1004, 11x ; 24 : CAS/2017/SV-1006, 10x).

4. Matériels et méthodes

Des échantillons fossilifères ont été prélevés dans la formation de Kunzam La (Parahio). Un échantillonnage systématique étroit a été entrepris afin d'établir la biostratigraphie de l'intervalle étudié. Au total, 389 échantillons de trilobites ont été collectés dans la section. Pour la photographie, les spécimens de fossiles ont été lavés et séchés et recouverts d'oxyde de magnésium afin d'améliorer les caractéristiques morphologiques.

Les caractéristiques morphologiques ont été examinées sous un microscope binoculaire Olympus SZX16. Les spécimens sélectionnés bien préservés représentant différents taxons ont été photographiés à l'aide d'un microscope à lumière à zoom stéréo RSN-9 avec un appareil photo numérique attaché. Les trilobites illustrés (figure 5) ont été déposés dans le dépôt du département de géologie de l'université de Panjab sous le label CAS/2017/SV.

5. Biostratigraphie

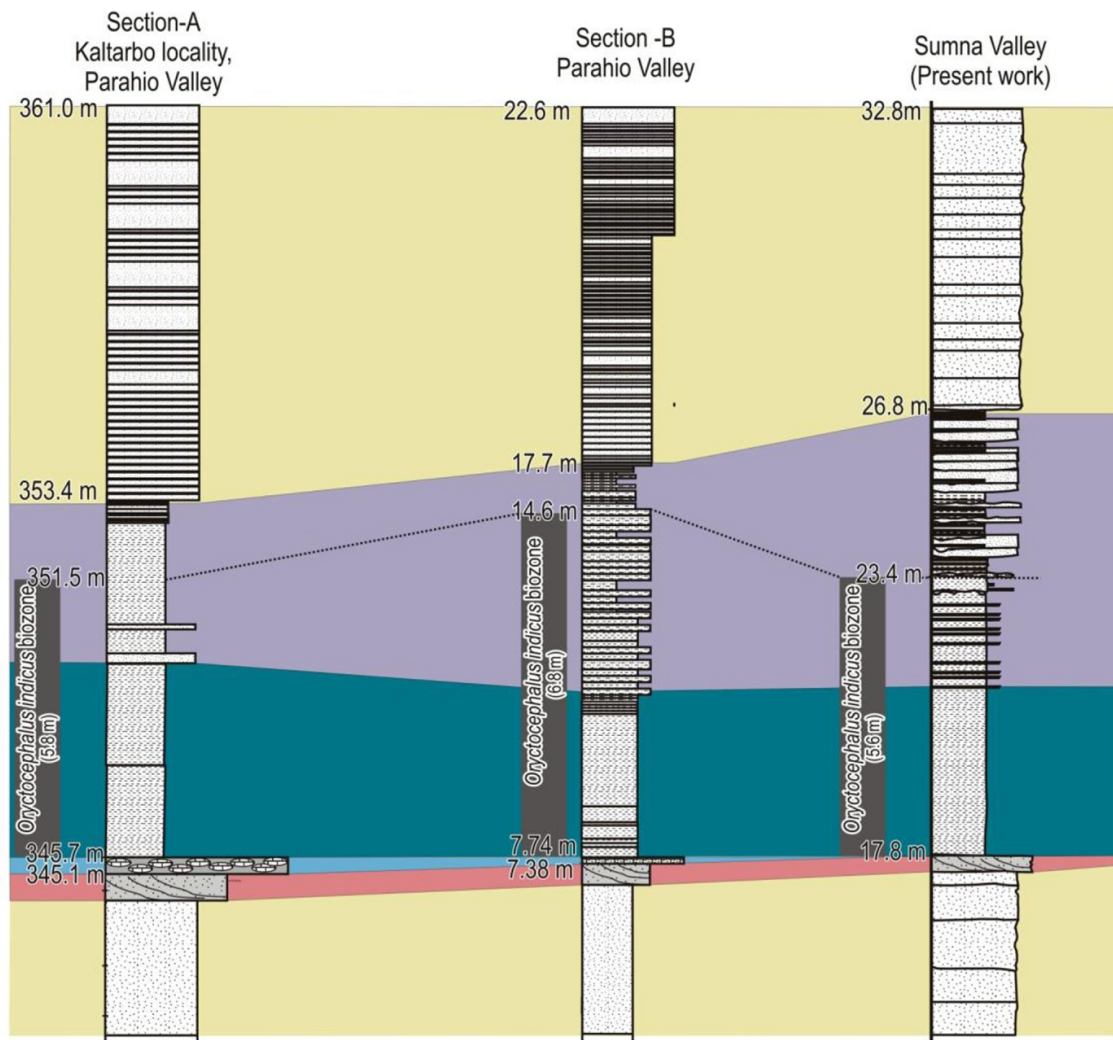
La partie étudiée de la formation de Kunzam La (Parahio) dans la vallée de Sumna est significative car elle porte la biozone *Oryctocephalus indicus* (~509 Ma), qui délimite la base de la série Miaolingienne [par exemple Zhao et al. 2019 ; Singh et al. 2016a].

5.1. Biozone d'*Oryctocephalus indicus*

Le long de la section étudiée, le FAD d'*Oryctocephalus indicus* est enregistré dans des intercalations de schiste noirâtre à bleuâtre, de schiste limoneux, de siltite et de grès à 17,8 m de la base de la section mesurée (section C, figure 1b et figure 4). La dernière donnée d'apparence est enregistrée à 23,4 m de la base de la section. La biozone d'*Oryctocephalus indicus* dans la vallée de Sumna a une épaisseur de 5,3 m. Outre l'espèce éponyme, les autres fossiles de trilobites enregistrés comprennent *Pagetia significans* et *Kunmingaspis pervulgata* (figure 5). Le long de cette section, un mince horizon de calcaire argileux ou de calcaire nodulaire, commun dans les sections de la vallée du Parahio, est absent (voir les sections A et B de la figure 1b). Cet horizon calcaire manquant contient le niveau *Pagetia-Kunmingaspis* [Singh et al. 2016a, 2017b]. Au-dessus de la biozone d'*Oryctocephalus indicus*, *Pagetia significans* et *Kunmingaspis pervulgata* sont également enregistrés de 23,4 m à 29,2 m dans la section. Des fragments mal conservés de *Bhargavia prakritika* sont enregistrés dans les sédiments sus-jacents de 29,2 à 49,5 m de la succession.

6. Environnement sédimentaire et implication sur la série cambrienne 2 - Évolution myolingienne dans la vallée de Sumna

L'analyse sédimentologique et stratigraphique séquentielle des successions de 49,5 m d'épaisseur de la formation de Kunzam La (Parahio) permet de reconnaître cinq lithounits (I-V) (figure 4). Les lithounits I et II sont déposés sous le système de chutes (FSST), et ils indiquent un événement régressif forcé dû à un déplacement des successions de la partie inférieure du rivage (lithounit-I) vers la partie proche du rivage et la partie supérieure du rivage (lithounit-II) (figure 4). La limite de la séquence (SB) se situe sur la partie supérieure du lithounit-II, et elle est caractérisée par une rupture de la sédimentation (un diastème) reflétée par le grès ferrugineux à grain grossier de couleur rouge-brun au sommet du lithounit-II (figure 3). Le schiste pyritique bleu-noir du lithounit-III indique un dépôt dans un environnement réducteur lors de la transgression (transgressive systems tract (TST)) du faciès offshore profond. La surface d'inondation maximale (MFS) est marquée au contact du schiste offshore (lithounit-III) avec une alternance de schiste-siltite-grès mince (lithounit-IV). Ce dernier est considéré comme représentant un stade précoce de la zone des systèmes de haute altitude (HST). On suppose que l'intervalle intercalaire de schiste silto-gréseux mince s'est formé dans un environnement de transition entre le large et le bas du rivage. Les dépôts de HST ne sont pas très épais, et ils ne représentent que le stade précoce du HST. Vers le haut, ils sont suivis par du grès à grain moyen à grossier (lithounit-V) contenant des structures en boule et en coussin et interprétés comme étant déposés dans un environnement proche de la surface du rivage et du haut du rivage dans un FSST. Un SB est reconnu entre les lithounits IV et V - la reconnaissance est basée sur le changement soudain de l'environnement de dépôt, qui passe d'un dépôt offshore à faible profondeur à un dépôt proche du rivage à haute profondeur. Dans l'ensemble, la section étudiée présente des changements dynamiques dans l'énergie de dépôt, reflétés par la présence de deux événements régressifs et d'un événement transgressif dans un intervalle de 49,5 m de la formation de Kunzam La (Parahio), couvrant la série cambrienne 2 - intervalle limite wuliuan (Miaolingien) dans la vallée de Sumna (figure 4).



INDEX

	Siltstone-fine sandstone		High Stand System Tract deposits
	Shale		Transgressive shale (Transgressive System Tract)
	Argillaceous limestone		Transgressive argillaceous-nodular limestone (Transgressive System Tract)
	Nodular limestone		Aerial exposure, hiatus or break in sedimentation
	Ferruginous coarse grained sandstone		Regressive deposits (Falling Stage System Tract)
	Medium- to coarse grained sandstone		

Figure 6. Corrélation des lithologies, de la biozone *O. indicus* et des paramètres de dépôt des sections A et B (de la vallée du Parahio) et de la section C (de la vallée de Sumna) (voir la figure 1 pour la position des sections A et B). Notez l'exposition aérienne uniforme, l'interruption ou la rupture de la sédimentation sous la base de la biozone d'*O. indicus* ou la transgression miaolingienne. Pour la section A, voir Singh et al. 2016a,b, 2017a, et pour la section B, voir Singh et al. 2015 et Yin et al. 2018.

Pour étudier la variation lithologique et l'environnement sédimentaire à travers l'intervalle limite entre la série cambrienne 2 et le Wuliuan (Miaolingien) dans la partie sud-est de la région de Spiti, des études sédimentologiques détaillées ont été menées le long de deux sections précédemment décrites de la vallée du Parahio (sections A et B, figure 1) [Singh et al. 2015, 2016a, 2017b] et une section (section C, figure 1) de la vallée de Sumna (figure 6). La figure 6 montre une comparaison de la variation lithologique à travers l'intervalle limite entre la série cambrienne 2 et le Wuliuan (Miaolingien) dans les vallées du Parahio et de Sumna, du nord-ouest au sud-est dans la partie sud-est de la région de Spiti. Dans la vallée du Parahio, l'intervalle limite cambrien 2-Wuliuan (Miaolingien) est marqué sur la base de la biozone *Oryctocephalus indicus* le long de deux sections, c'est-à-dire dans la section B de la vallée du Parahio [Singh et al. 2016a, 2017a] et dans la section A de la localité de Kaltarbo [Singh et al. 2015 ; Yin et al. 2018 ; Kaur et al. 2019]. Dans la section de Kaltarbo (section A, figure 1) de la vallée du Parahio, la biozone *O. indicus* a une épaisseur de 5,8 m (fourchette de 345,7 m à 351,5 m). Sous cette biozone, on trouve un horizon de nodules calcaires plus ou moins isolés (15-24 cm de diamètre) encastrés dans du schiste (Singh et al. 2015) ; ils ont probablement été formés par une solution de pression diagonale (compactage et déshydratation de l'argile) (cf. Markello et Read 1981). Dans la section B de la vallée du Parahio, la biozone *O. indicus* a une épaisseur

de 6,8 m (plage de 7,74 à 4,6 m) [Singh et al. 2016a]. En dessous de cette biozone, un mince horizon de calcaire argileux (7,38-7,74 m) existe [Singh et al. 2016a, 2017a]. Cependant, dans la vallée de Sumna (section C, figure 1), la biozone d'*O. indicus* a une épaisseur de 5,6 m (section de 17,8 à 23,4 m). Elle repose directement sur le grès ferrugineux rouge-brun, à grain moyen à grossier (figure 3) et manque de calcaire nodulaire ou de roches calcaires argileuses (figure 6). Les minces horizons de calcaire nodulaire et de calcaire argileux de la vallée du Parahio produisent des *Pagetia*, des *Kunmingaspis* et des *SSF*. Ainsi, dans la partie sud-est de la région de Spiti, dans les trois sections étudiées (du nord-ouest au sud-est, c'est-à-dire la section A, la section B et la section C de la vallée de Sumna ; figure 1), le grès ferrugineux rouge-brun, à grain moyen à grossier, forme la partie supérieure de l'épais grès à grain moyen à grossier (lithounit-II). Comparé aux sections A et B (de la vallée du Parahio), l'absence de carbonates indique que la vallée de Sumna a été exposée localement par voie aérienne en raison de l'altitude topographique locale pendant la transgression Wuliuan (Miaolingienne) (figure 4). La transgression précoce avec des calcaires argileux et des calcaires nodulaires a rempli la topographie inférieure de la vallée du Parahio. Les schistes offshore ultérieurs portant l'indice *O.* et les trilobites associés ont transgressé dans tout le bassin. Cela implique que la topographie du bassin de dépôt n'était pas uniforme dans toute la partie sud-est du Spiti pendant la transgression de Wuliuan (Miaolingien) ou le changement eustatique du niveau de la mer dans la partie basale de Wuliuan (Miaolingien) [par exemple Zhu et al. 1999 ; Wang et al. 2006 ; Gaines et al. 2011]. Dans la région de Spiti, il semble que les dépôts de Wuliuan (Miaolingien) reposent sur une surface ondulatoire formée par une rupture de la sédimentation ou une exposition aérienne des roches de la série 2 du Cambrien avant la transgression de Wuliuan (Miaolingien) (Figure 6). Le grès ferrugineux rouge-brun, à grain moyen à grossier du lithounit-II représente une rupture de la sédimentation. Il est à noter que dans la zone du Petit Himalaya, la sédimentation cambrienne a cessé dans la dernière partie de la série 2/étape 4 du Cambrien, juste au-dessus de la biozone de *Redlichia noetlingi* (~512 Ma) [Singh et al. 2019]. Dans la région du Spiti (zone himalayenne téthyenne (THZ)), bien que le *Redlichia noetlingi* (~512 Ma) soit connu grâce à un flotteur dans la vallée du Pin [Hayden 1904 ; Reed 1910 ; Jell et Hughes 1997], la position stratigraphique exacte par rapport au niveau de *Haydenaspis parvatya* (~510 Ma) et à la biozone d'*O. indicus* (~509 Ma) est inconnue. Récemment, Kaur et al. ont établi une distance stratigraphique d'environ 183,4 m entre la biozone *O. indicus* (509 Ma) et le niveau de *Haydenaspis parvatya* (~510 Ma) dans la région de Spiti. La découverte de la présence in situ de *Redlichia noetlingi* dans la région du Spiti sera utile pour comprendre la position stratigraphique exacte du niveau du relèvement de *Redlichia noetlingi* par rapport à la biozone *O. indicus* ou au niveau de *H. parvatya*. Cependant, nous proposons ici que dans la région du Spiti (THZ), l'événement régressif de la série 2/Stage 4 du Cambrien a affecté la région après le dépôt de roches du niveau de *Haydenaspis parvatya* (~510 Ma). En outre, une rupture de la sédimentation (diastem) est reconnue avant la transgression wuliuan (miaolingienne).

7. Conclusions

La biozone d'*Oryctocephalus indicus* est largement reconnue dans la partie sud-est de la région de Spiti, qui comprend les vallées du Parahio, de la Sumna et du Pin. Cette biozone est utilisée dans le monde entier pour délimiter la base de la série miaolingienne (cambrien moyen traditionnel). Dans les vallées du Parahio et de la Sumna de la région du Spiti, cette biozone a une épaisseur de 5,6 à 6,8 m. La partie supérieure des dépôts de la Série 2 du Cambrien (immédiatement en dessous de la biozone *O. indicus*) dans la partie sud-est de la région de Spiti porte une unité de grès ferrugineux brun rougeâtre, à grain très grossier, qui indique un diastème ou une rupture de la sédimentation avant la transgression wuliuan (miaolingienne).

Bibliographie

- [Bhargava and Bassi, 1998] O. N. Bhargava; U. K. Bassi Geology of Spiti-Kinnaur Himachal Himalaya, Mem. Geol. Surv. India, Volume 124 (1998), pp. 1-210
- [Bhargava, 2008] O. N. Bhargava An updated introduction to the Spiti geology, J. Palaeontol. Soc. India, Volume 53 (2008), pp. 113-129
- [Bhargava, 2011] O. N. Bhargava Early Palaeozoic paleogeography, basin configuration, paleo-climate and tectonics in the Indian Plate, Mem. Geol. Soc. India, Volume 78 (2011), pp. 69-99
- [Burchfiel et al., 1992] B. C. Burchfiel; C. Zhiliang; K. V. Hodges; L. Yuping; L. H. Royden; D. Changrong; X. Jiene, 1992 (The South Tibetan detachment system, Himalayan orogen: extension contemporaneous with and parallel to shortening in a collisional mountain belt. Geol. Soc. America Bulletin, Special Papers, 269)

- [Etheridge Jr., 1902] R. Etheridge Jr. Evidence of further Cambrian trilobites, *Contrib. Palaeontol. South of Australia*, Volume 13 (1902), p. 3-4
- [Gaines et al., 2011] R. R. Gaines; J. A. Mering; Y. Zhao; J. Peng Stratigraphic and microfacies analysis of the Kaili Formation, a candidate GSSP for the Cambrian Series 2–Series 3 boundary, *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, Volume 311 (2011), pp. 171-183
- [Gilbert et al., 2016] I. R. Gilbert; N. C. Hughes; P. M. Myrow Cambrian microfossils from the Tethyan Himalaya, *J. Paleontol.*, Volume 90 (2016), pp. 10-30
- [Hayden, 1904] H. H. Hayden The Geology of Spiti with parts of Bashahr and Rupshu, *Mem. Geol. Surv. India*, Volume 36 (1904), pp. 1-121
- [Hodges et al., 1992] K. V. Hodges; R. R. Parrish; T. B. Housh; D. R. Lux; B. C. Burchfiel; L. H. Royden; Z. Chen Simultaneous Miocene extension and shortening in the Himalayan orogen, *Science*, Volume 258 (1992), pp. 1466-1470
- [Hughes et al., 2018] N. C. Hughes; P. M. Myrow; S. Peng; D. M. Banerjee The Parahio Formation of the Tethyan Himalaya: The Type Section, Thickness, Lithostratigraphy and Biostratigraphy of the best characterised Cambrian Succession in the Indian Subcontinent, *J. Palaeontol. Soc. India*, Volume 63 (2018), pp. 1-18
- [Hughes et al., 2019] N. C. Hughes; P. M. Myrow; S. Peng; D. M. Banerjee The Parahio Formation of the Tethyan Himalaya: further consideration of a case history in lithostratigraphy, *J. Palaeontol. Soc. India*, Volume 64 (2019), pp. 275-282
- [Hughes, 016a] N. C. Hughes The Cambrian palaeontological record of the Indian subcontinent, *Earth-Sci. Rev.*, Volume 159 (2016a), pp. 428-461
- [Hughes, 016b] N. C. Hughes Soft-bodied fossil preservation in the Cambrian Parahio Formation of Spiti, *Curr. Sci.*, Volume 110 (2016b) no. 5, p. 774-775
- [Jell and Hughes, 1997] P. A. Jell; N. C. Hughes Himalayan Cambrian trilobites, *Spec. Pap. Palaeontol.*, Volume 58 (1997), pp. 1-113
- [Kaur et al., 2019] R. Kaur; B. P. Singh; O. N. Bhargava; G. Singla; S. Stopden Cambrian trilobite fauna of the Haydenaspis parvatya level (Series 2, Stage 4): Its stratigraphic position with respect to the Oryctocephalus indicus Biozone (Miaolingian Series, Wuliuan Stage) in the Spiti Himalaya, India, *C. R. Palev.*, Volume 18 (2019), pp. 298-305
- [Kellett and Grujic, 2012] D. A. Kellett; D. Grujic, 2012 (New insight into the South Tibetan detachment system: not a single progressive deformation. *Tectonics*, 31. doi:10.1029/2011TC002957)
- [Leloup et al., 2015] P. H. Leloup; X. Liu; G. Mahèò; J. L. Paquette; N. Arnaud; A. Aubray; X. Liu New constraints on the timing of partial melting and deformation along the Nyalam section (central Himalaya): implications for extrusion models, *Tectonics of the Himalaya* (S. Mukherjee; R. Carosi; P. A. Vanderbeek; B. K. Mukherjee; D. M. Robinson, eds.), *Geol. Soc. London, Special Publications*, 2015, pp. 131-175
- [Lui et al., 2017] Z.-C. Lui; F.-Y. Wu; Z.-L. Qiu; J.-G. Wang; X.-C. Liu; W.-Q. Ji; C.-Z. Liu Leucogranite geochronological constraints on the termination of the South Tibetan Detachment in eastern Himalaya, *Tectonophysics*, Volume 721 (2017), pp. 106-122
- [Markello and Read, 1981] J. R. Markello; J. F. Read Carbonate ramp-to-deeper shale shelf transitions of an Upper Cambrian intrashelf basin, Nolichucky Formation, Southwest Virginia Appalachians, *Sedimentology*, Volume 28 (1981), pp. 573-597
- [Myrow et al., 2003] P. M. Myrow; N. C. Hughes; T. S. Paulsen; I. S. Williams; S. K. Parcha; K. R. Thompson; S. A. Bowring; S. C. Peng; A. D. Ahluwalia Integrated tectonostratigraphic reconstruction of the Himalaya and implications for its tectonic reconstruction, *Earth Planet. Sci. Lett.*, Volume 212 (2003), pp. 433-441
- [Myrow et al., 2006] P. M. Myrow; K. R. Thompson; N. C. Hughes; T. S. Paulsen; B. K. Sell; S. K. Parcha Cambrian stratigraphy and depositional history of the northern Indian Himalaya, Spiti Valley, north-central India, *Geol. Soc. Am. Bull.*, Volume 118 (2006), pp. 491-510
- [Myrow et al., 2009] P. M. Myrow; N. C. Hughes; M. P. Searle; C. M. Fanning; S. C. Peng; S. K. Parcha Stratigraphic correlation of Cambrian-Ordovician deposits along the Himalaya: implications for the age and nature of rocks in the Mt. Everest region, *Geol. Soc. Am. Bull.*, Volume 120 (2009), pp. 323-332
- [Myrow et al., 2010] P. M. Myrow; N. C. Hughes; J. W. Goodge; C. M. Fanning; S. C. Peng; O. N. Bhargava; S. K. Tangri; S. K. Parcha; K. R. Pogue Extraordinary transport and mixing of sediment across Himalayan central Gondwanaland during the Cambrian–Ordovician, *Geol. Soc. Am. Bull.*, Volume 122 (2010), pp. 1660-1670

- [Myrow et al., 2016] P. M. Myrow; N. C. Hughes; N. R. McKenzie; P. Pelgay; T. J. Thompson; E. E. Haddad; C. M. Fanning Cambrian–Ordovician orogenesis in Himalayan equatorial Gondwana, *Geol. Soc. Am. Bull.*, Volume 128 (2016), pp. 1679-1695
- [Peng et al., 2009] S. C. Peng; N. C. Hughes; N. A. Heim; B. K. Sell; X. Zhu; P. M. Myrow; S. K. Parcha Cambrian trilobites from the Parahio and Zanskar Valleys, Indian Himalaya, *Mem. Paleontol. Soc.*, Volume 71 (2009), pp. 1-95
- [Popov et al., 2015] L. E. Popov; L. E. Holmer; N. C. Hughes; P. M. Ghobadi; P. M. Myrow Himalayan Cambrian brachiopods, *Pap. Palaeontol.*, Volume 1 (2015), pp. 345-399 (<https://doi.org/10.1002/spp2.1017>)
- [Reed, 1910] F. R. C. Reed The Cambrian fossils of Spiti, *Palaeontol. Indica*, Volume 15 (1910), pp. 1-70
- [Sahni and Sudan, 1996] A. K. Sahni; C. S. Sudan Agnostid Fauna from the Cambrian of Spiti, *J. Geol. Soc. India*, Volume 48 (1996) no. 6, pp. 653-662
- [Searle and Treloar, 1993] M. P. Searle; P. J. Treloar Himalayan Tectonics - an Introduction, *Himalayan Tectonics* (P. J. Treloar; M. P. Searle, eds.), Volume 74, *Geol. Soc. London Special Publication*, 1993, pp. 1-7
- [Shah and Paul, 1987] S. K. Shah; S. Paul Oryctocephalid fauna from the Cambrian of Spiti, *J. Geol. Soc. India*, Volume 30 (1987), pp. 187-193
- [Shah et al., 1988] S. K. Shah; C. S. Sudan; S. K. Parcha; A. K. Raina Revision of the genus *Hundwarella* Reed and its significance in Himalayan Cambrian, *J. Palaeontol. Soc. India*, Volume 33 (1988), pp. 47-58
- [Shah et al., 1991] S. K. Shah; S. K. Parcha; A. K. Raina Late Cambrian trilobites from Himalaya, *J. Geol. Soc. India*, Volume 36 (1991), pp. 89-107
- [Singh et al., 2014] B. P. Singh; N. Virmani; O. N. Bhargava; N. Kishore; A. Gill Yuehsienzella (Cambrian Series 2) trilobite from the Parahio Valley, Spiti region (Zanskar-Spiti Sub-basin), India and its biostratigraphic significance, *J. Palaeontol. Soc. India*, Volume 59 (2014), pp. 81-88
- [Singh et al., 2015] B. P. Singh; O. N. Bhargava; K. P. Juyal; R. S. Negi; N. Virmani; C. A. Sharma; A. Gill Skeletal microfauna from the Cambrian Series 2 (Stage 4) Kunzum La (Parahio) Formation, Parahio valley, Spiti region (Tethyan Himalaya), India, *Curr. Sci.*, Volume 109 (2015), pp. 2191-2195
- [Singh et al., 016a] B. P. Singh; N. Virmani; O. N. Bhargava; R. S. Negi; A. Gill; N. Kishore Trilobite fauna of basal Cambrian Series 3 (Stage 5) from the Parahio Valley (Spiti), Northwest Himalaya, India and its biostratigraphic significance, *Ann. Paléontol.*, Volume 102 (2016a), pp. 59-67
- [Singh et al., 016b] B. P. Singh; N. Virmani; O. N. Bhargava; A. Gill Revision of diagnostic features of the trilobite genus *Bhargavia* (Ellipsocephaliodea) from the Parahio valley (Spiti), Northwest Himalaya, India, *J. Palaeontol. Soc. India*, Volume 61 (2016b), pp. 9-14
- [Singh et al., 017a] B. P. Singh; O. N. Bhargava; R. S. Negi; Y.-L. Zhao; L. Yin; C. A. Sharma Additional trilobite fauna from the basal part of the Cambrian Series 3, Stage 5, Kunzam La (Parahio) Formation, Parahio Valley, Spiti (Northwest Himalaya), India and its biostratigraphic significance, *Ann. Paléontol.*, Volume 103 (2017a), pp. 271-281
- [Singh et al., 017b] B. P. Singh; R. S. Chaubey; O. N. Bhargava; S. K. Prasad; R. S. Negi The Cambrian trilobite fauna from the Shian (Saybang) section, Pin Valley (Spiti) and its biostratigraphic significance, *Palaeoworld*, Volume 26 (2017b), pp. 25-36
- [Singh et al., 2019] B. P. Singh; O. N. Bhargava; R. Mikuláš; S. K. Prasad; S. Morrison; R. S. Chaubey; N. Kishore Discovery of Ordovician trace fossils from the Lesser Himalaya, India: its stratigraphic, tectonic and palaeogeographic implications, *J. Palaeontol. Soc. India*, Volume 64 (2019) no. 2, pp. 283-303
- [Singla et al., res] G. Singla; B. P. Singh; O. N. Bhargava; R. Kaur; S. Stopden Trilobites of medial Wuliuan (Miaolingian) age from the Kunzam La (Parahio) Formation, Sumna river section, Spiti region and its biostratigraphic significance, *Int. J. Stratigraphic Geol. Correlation* (in press)
- [Srikantia and Bhargava, 2018] S. V. Srikantia; O. N. Bhargava Stratigraphic nomenclature of early Palaeozoic in the Spiti Himalaya: cobwebs cleared, *J. Palaeontol. Soc. India*, Volume 63 (2018), pp. 233-241
- [Srikantia, 1977] S. V. Srikantia Sedimentary cycles in the Himalaya and their significance on the orogenic evolution of the mountain belt, *Colloques Internationaux du Centre National de la Recherche Scientifique*, Volume 268 (1977), pp. 395-408
- [Srikantia, 1981] S. V. Srikantia The lithostratigraphy, sedimentation and structure of Proterozoic-Phanerozoic formations of Spiti basin in the higher Himalaya of Himachal Pradesh, India,

Contemporary Geoscientific Researches in India, (a commemorative volume in honor of S.P. Nautiyal) (A. K. Sinha, ed.), Bishen Singh Mahendra Pal Singh, Dehra Dun, 1981, pp. 31-48

- [Wang et al., 2006] Y. Wang; Y. Y. Yu; J. Peng; P. L. Wang Discussion on the sequence stratigraphy and sea-level changes of the Kaili Formation at Balang, Taijiang, Guizhou, *J. Stratigraphy*, Volume 30 (2006), pp. 34-41
- [Webb et al., 2007] A. A. G. Webb; A. Yin; T. M. Harrison; J. Cèlèrier; W. P. Burgess The leading edge of the Greater Himalayan Crystalline complex revealed in the NW Indian Himalaya: implications for the evolution of the Himalayan orogen, *Geology*, Volume 35 (2007), pp. 955-958
- [Xu et al., 2014] Y. J. Xu; P. A. Cawood; Y. S. Du; H. W. Huang; X. Y. Wang Early Paleozoic orogenesis along Gondwana's northern margin constrained by provenance data from South China, *Tectonophysics*, Volume 636 (2014), pp. 40-51 | Article
- [Yin et al., 2018] L.-M. Yin; B. P. Singh; O. N. Bhargava; Y.-L. Zhao; R. S. Negi; F.-W. Meng; C. A. Sharma Palynomorphs from the Cambrian Series 3, Parahio valley (Spiti), Northwest Himalaya, *Paleoworld*, Volume 27 (2018), pp. 30-41 (10.1016/j.palwor.2017.05.004)
- [Zhao et al., 2019] Y.-L. Zhao; J.-L. Yuan; L. E. Babcock; Q. Guo; J. Peng; L. Yin; X. Yang; S. C. Peng; C. Wang; R. R. Gaines; J. Esteve; T. Tai; R. Yang; Y. Wang; H. Sun; Y. Yang Global Standard Stratotype-Section and Point (GSSP) for the conterminous base of the Miaolingian Series and Wuliuan Stage (Cambrian) at Balang, Jianhe, Guizhou, China, *Episodes*, Volume 42 (2019), pp. 165-184
- [Zhu et al., 1999] M. Y. Zhu; B. D. Erdtmann; Y.-L. Zhao Taphonomy and Paleoecology of the early Middle Cambrian Kaili Lagerstätte in Guizhou, China (in Chinese), *Acta Palaeontol. Sin.*, Volume 38 (1999), pp. 28-57