

L. et H.

d'Azambuja

"La Bille"

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS.

Rappelons que nos résultats sont basés sur l'étude d'une période d'observations solaires d'un peu plus de onze années, comprise entre 1919 et 1930. Exceptionnellement, nous les avons complétés avec les documents recueillis entre 1931 et 1937, dernière année où les cartes synoptiques sont actuellement publiées. L'étude individuelle des filaments a porté sur un peu moins de la moitié des phénomènes catalogués, soit 200 environ, choisis parmi les plus stables et les plus persistants. Ce nombre a naturellement varié avec le caractère de l'étude considérée, les filaments, en général, ne présentant pas à la fois toutes les propriétés se rapportant aux diverses questions traitées dans ce Mémoire.

Caractères généraux des protubérances. — 1^o L'examen et la mesure de toutes les protubérances assez persistantes et stables pour que les perspectives variées sous lesquelles elles sont observées donnent une idée précise de leur forme spatiale, confirment l'existence d'un type fondamental. L'aspect des phénomènes adultes peut être comparé à celui de ponts à arches multiples et basses; la partie pleine du pont, au-dessus des arches, se comportant comme une véritable lame gazeuse à faces sensiblement parallèles, les arches prenant appui sur la chromosphère par des bases élargies. Le pont peut comporter dix arches ou n'en avoir qu'une seule; sa longueur est ainsi très variable. La hauteur varie dans des limites moins étendues. La largeur ou épaisseur est extraordinairement faible et assez constante. Nos mesures attribuent respectivement aux trois dimensions les valeurs moyennes suivantes : 200 000, 42 000 et 6600^{km}. Ces valeurs sont voisines de celles obtenues par Pettit, sauf en ce qui concerne la largeur, que nous trouvons environ deux fois plus faible. La protubérance la plus longue observée à Meudon atteignait 1 100 000^{km}. L'architecture-type des protubérances reste souvent incomplète; elles peuvent se réduire à un fragment d'arche ou même à une colonne isolée. De là, les formes si variées que l'on observe, notamment au bord, mais qui peuvent presque toujours être rattachées à la forme

fondamentale. Vus de face, en projection sur le disque, ces ponts sont, en général, légèrement courbés et quelque peu sinueux. Parfois, néanmoins, ils se coudent en équerre ou même en U.

2° La variété d'aspect des protubérances au bord tient encore au changement régulier de leur orientation avec la latitude : les protubérances équatoriales, relativement peu inclinées sur les méridiens, y sont observées surtout suivant leur élévation longitudinale; elles occupent une grande étendue sur le contour du disque, la structure en arches atteint sa visibilité maxima. Au contraire, les protubérances polaires, à peu près parallèles à l'équateur, y montrent leur élévation transversale; elles offrent l'aspect de pyramides ou de jets, de quelques degrés de latitude seulement.

3° Il nous est apparu que, lorsqu'un filament équatorial se présente sous son épaisseur minima, c'est-à-dire lorsque le plan de la protubérance passe par l'observateur terrestre, son prolongement n'est pas habituellement dirigé vers le centre du disque, mais un peu à l'Est de celui-ci. En d'autres termes, la lame gazeuse n'est pas exactement verticale par rapport à la sphère solaire, *elle marque une tendance systématique à s'incliner vers l'Ouest*. L'inclinaison, mesurée par la longueur, en degrés héliographiques, de la perpendiculaire abaissée du centre du disque sur le filament, a été reconnue égale, en moyenne, à 8°. Pour un même filament, l'inclinaison peut varier, au cours du temps, dans des limites assez larges et sans règle apparente. D'une manière générale, elle paraît diminuer quand la latitude et, par suite, l'angle des filaments avec les méridiens, augmente. C'est ce que l'on observerait si l'inclinaison était due à une force s'exerçant d'Est en Ouest sur les protubérances.

4° Les protubérances vues en projection sur le disque commencent à laisser transparaître les détails de la chromosphère, sur les images K_3 , lorsque le plan des lames gazeuses forme, en moyenne, un angle de 42° avec la direction de l'observateur. Cet angle varie d'ailleurs dans de larges limites d'un phénomène à l'autre, les variations étant sans relation apparente avec l'épaisseur des protubérances, quand celle-ci a pu être mesurée, d'où l'on peut conclure que la densité de vapeur, elle aussi, varie largement suivant les phénomènes considérés. Toutefois, il semble que la vapeur ne soit jamais complètement opaque quand son épaisseur devient inférieure à 10 000^{km}. Ainsi, sur une image K_3 , un filament est une image assez fidèle de la projection sur le disque de la protubérance dont il marque l'absorption. Cette remarque est valable, sans grands changements, pour les filaments H_2 . Nous avons reconnu qu'elle l'était aussi pour les images de filaments donnés par la raie infrarouge de l'hélium λ 10 830 Å. Par

contre, l'absorption est nettement plus faible pour les raies du calcium ionisé λ 8498 Å et λ 8542 Å et les raies réfrangibles de la série de Balmer, avec lesquelles les parties épaisses et denses des phénomènes apparaissent seules.

5° L'examen de nos spectrohéliogrammes H_{α} montre que la distribution de l'intensité en altitude, dans les protubérances, varie de telle façon que les filaments apparaissent bordés d'un liséré brillant. T. Royds avait reconnu l'existence de ces marges, mais les supposait localisées dans la chromosphère, où elles auraient formé une espèce de soubassement aux protubérances. Des microphotogrammes obtenus à partir de nos images révèlent que, à la base même des phénomènes, l'intensité des marges est de 25 % plus forte que le fond moyen du disque, alors que l'intensité du filament, près de son sommet, est inférieure de 25 à 40 % à ce même éclat moyen. Or, la structure des grains des images H_{α} indique que ceux-ci sont, en réalité, de très petites protubérances, où la distribution de l'intensité est à peu près la même que dans les grandes. Il n'est donc pas surprenant que l'éclat moyen du fond des images, voisin de l'éclat moyen de ces grains, soit plus faible que celui de la base des protubérances. Sur les images K_3 , les marges sont invisibles. Ce fait peut s'expliquer par la structure différente du fond de ces images, où les grains relativement sombres H_{α} sont remplacés ou masqués par les petits flocculi brillants qui surmontent les « grains de riz » de la surface. Dès lors, l'intensité relative des marges serait plus petite que l'intensité moyenne du fond K_3 .

Étude statistique des phénomènes. — 1° Nous avons établi une statistique des filaments, à partir des mesures faites pour la construction des cartes synoptiques. La comparaison de graphiques obtenus en considérant, d'une part, l'aire apparente des phénomènes représentés et, d'autre part, leur longueur seulement, a montré que les deux procédés donnaient des résultats peu différents. Les désaccords proviennent surtout de l'importance exagérée que prennent, avec le premier, les filaments élevés voisins du bord solaire, au moment où leur projection est presque uniquement celle de leur face latérale. En conséquence, nous avons adopté le second, d'une application d'ailleurs beaucoup plus simple et rapide. L'activité des filaments est représentée, pour chaque rotation et pour chaque zone de 5° en latitude, par un chiffre obtenu en totalisant la longueur des éléments de filaments visibles dans la zone, chaque élément étant multiplié par le coefficient 3, 2 ou 1, selon que le dessin synthétique est teinté en noir, ou hachuré, ou laissé en blanc. Les nombres correspondant aux diverses zones ont subi les corrections nécessitées par la

déformation des longueurs sur les cartes. La statistique (Annexe I) a été complétée par un graphique construit avec une précision suffisante pour qu'on puisse y apprécier l'activité des filaments à 20 % près, environ.

2° La comparaison de la statistique des filaments et de celle des taches, d'après les *Photoheliographic Results* de Greenwich, fait ressortir que, dans beaucoup de cas, une pointe de la courbe d'activité de ces derniers phénomènes est suivie, après trois rotations, d'une pointe analogue dans la courbe d'activité des filaments équatoriaux. La relation n'apparaît pas avec les filaments polaires. Le calcul du coefficient de corrélation entre les deux catégories de phénomènes a permis de préciser ce résultat. Nous avons trouvé que, dans l'hémisphère Nord comme dans l'hémisphère Sud, *r est maximum pour un retard moyen des filaments sur les taches de trois rotations*. Ce résultat confirme celui qu'avait obtenu antérieurement M. N. Gnevishev par un tout autre procédé et l'examen de régions du Soleil sélectionnées en longitude. Mais le fait le plus caractéristique est l'augmentation, puis la décroissance régulière de *r* quand l'intervalle croît entre les époques des deux séries de valeurs comparées. *L'allure de cette variation, mieux encore que la valeur maxima de r, indique la réalité d'un lien entre la production des taches et celle des filaments.*

Le calcul de *r*, de part et d'autre d'un parallèle séparant en deux, dans chaque hémisphère, la zone des filaments équatoriaux, montre que le retard des filaments sur les taches croît avec la latitude. L'effet est particulièrement marqué dans l'hémisphère Nord où le décalage atteint près de trois rotations.

Évolution des phénomènes. — 1° Au cours de l'identification des centres d'activité figurant dans notre relevé (Annexe II), nous avons confirmé ou reconnu un certain nombre de propriétés de ces phénomènes : *a*, l'apparition du *flocculus* qui marque le début d'un centre a lieu le jour même de la formation des taches ou, exceptionnellement, la veille; *b*, l'éclat des plages faculaires, sur les images K_3 est en relation étroite avec l'âge du centre d'activité. Cette particularité facilite grandement la discrimination, dans une même région troublée, des formations récurrentes et de celles qui ont pris naissance dans l'hémisphère invisible; *c*, la discrimination est également facilitée par l'aspect des taches sur les images K_3 ; complètement ou presque complètement recouvertes par les vapeurs de calcium ionisé, quand elles sont de formation récente, elles sont au contraire bien dégagées, leur pénombre seule restant masquée, quand elles ont dépassé leur maximum de développement; *d*, l'importance et la durée des plages faculaires paraissent indépendantes de la phase du cycle undécennal. La

durée moyenne est de deux rotations. C'est dans la première, en général, qu'elles sont le siège de manifestations éruptives, éruptions chromosphériques et petits filaments de Hale.

2° Sur les 387 filaments figurant dans notre relevé (Annexe III) pour la période 1919-1930, 141 au moment de leur formation, ont été associés à des centres d'activité. Ils se sont montrés presque toujours dans une région de la plage faculaire voisine de sa limite de haute latitude et la débordant parfois. Dans 64 cas, la formation de ces filaments s'est produite dans l'hémisphère visible. Au moment où ils sont apparus, ils étaient très petits, ne dépassant guère 50 000 km de longueur, mais, assez souvent, ils présentaient déjà, en réduction, la structure-type des phénomènes adultes. Quand le centre contenait des taches, ils étaient ordinairement dirigés vers l'une d'elles, leur extrémité en restant distante de 1°6, en moyenne. Leur angle avec les méridiens n'avait pas la constance que l'on observe avec les filaments adultes ; néanmoins, dans l'ensemble, leur extrémité de haute latitude était déjà à l'Est de l'autre extrémité. La comparaison entre l'époque de formation des taches et celle des filaments correspondants a révélé que, dans 75 % des cas, le retard de ces derniers phénomènes sur les premiers est compris entre 0,4 et 1,4 rotation. La courbe, traduisant la répartition du nombre des filaments en fonction de leur retard sur les taches, présente un maximum accentué à 0,9 rotation.

3° Rien dans l'aspect, les dimensions et l'orientation des 246 filaments restants, au moment de leur formation, ne distingue ces objets des précédents. En longitude, ils paraissent indépendants des centres d'activité. Par contre, *la latitude de leur extrémité la plus équatoriale est à peu près identique à celle des taches, considérée dans la même phase de la période undécennale, et accuse nettement, en particulier, l'augmentation brusque qui caractérise le changement de cycle. Ainsi, la loi de Spörer s'applique, non seulement aux taches et aux facules, mais aussi à l'ensemble des lieux d'origine des filaments équatoriaux, même quand aucun lien n'apparaît entre eux et les centres d'activité.*

4° Que les filaments équatoriaux soient, ou non, associés à des centres d'activité, leur évolution reste toujours très sensiblement la même. Ils atteignent habituellement leur développement maximum à leur troisième passage sur le disque, commencent à se fragmenter au quatrième; la fragmentation augmente ensuite et ils finissent par disparaître, l'élément le plus voisin de l'équateur s'effaçant en général le premier. La durée a paru à peu près indépendante de la phase du cycle undécennal. Les dimensions des filaments indiquées au début de ce résumé correspondent

à celles du développement maximum moyen. La longueur, en général, augmente avec la persistance des filaments, variant de 20° à plus de 30° quand la durée passe de trois à six rotations.

Souvent, l'évolution normale des filaments est troublée par quelque accident, qui l'abrège ou la modifie. Le plus fréquent consiste en la réunion de deux filaments initialement indépendants et souvent d'âges différents. Selon la manière dont ils se sont formés, ces *filaments complexes* peuvent prendre la forme d'U, d'équerres ou d'arcs de parabole, le sommet de celle-ci étant sur l'équateur. Dans beaucoup de cas, les réunions sont précaires et le phénomène se rompt là où la jonction s'était produite, quelquefois même à un autre endroit. Il arrive aussi qu'un filament, isolé depuis sa formation, se coupe en deux parties qui évoluent ensuite séparément.

5° L'association entre un centre d'activité et un filament est d'autant plus fréquente que l'importance du centre est plus grande. Elle se produit une fois sur deux, à partir de l'importance 8. Au contraire, en ne considérant toujours que les phénomènes figurant dans les relevés des Annexes II et III, les centres d'importances 1 et 2 paraissent n'avoir avec les filaments aucune relation nette.

Dans tous les cas d'association, on vérifie directement que l'évolution des centres d'activité est nettement plus brève que celle des filaments. A la deuxième traversée du disque, les taches ont souvent disparu du centre; la plage faculaire est déjà moins brillante et moins compacte. Le filament, au contraire, est encore dans sa période de croissance; il traverse la plage ou même, la scinde en deux parties. A partir du passage suivant, toute trace du centre d'activité disparaît progressivement et le filament reste seul.

6° Les filaments polaires, à cause de leur parallélisme avec les cercles de latitude et de l'étroitesse relative de la zone où ils évoluent, s'alignent souvent bout à bout et forment par suite une couronne plus ou moins ininterrompue autour du Soleil, à peu près centrée sur l'axe de celui-ci. L'identification des individus distincts est ainsi rendue difficile; aussi, les 60 suites qui figurent dans notre relevé ne sont-elles données qu'à titre d'indication. Il est possible, en particulier, que les suites dépassant nettement la durée normale, soient formées de phénomènes en réalité différents. Si l'on écarte celles, peu nombreuses, qui se sont prolongées pendant plus de 20 rotations, la durée moyenne est de 5,1 rotations. Les filaments polaires sont moins stables que les équatoriaux. Leur importance varie irrégulièrement et passe souvent par plusieurs maxima, entre lesquels ils

disparaissent presque complètement. *Les formations nouvelles, telles tout au moins que nous les avons identifiées, se répartissent à peu près uniformément dans le temps, sans marquer l'époque du minimum de taches.* Leur latitude a varié irrégulièrement entre 32 et 66° . En moyenne, elle était plus élevée de 4° pendant la phase d'activité croissante du cycle. D'autre part, nous avons observé 30 cas où un filament équatorial, ayant atteint dans son développement la latitude des filaments polaires, s'incorporait à ceux-ci après y être demeuré pendant un certain temps comme élément distinct. Cette particularité confirme l'existence du lien étroit existant entre les deux zones d'activité des protubérances, lien déjà mis en évidence par l'analogie de structure entre les filaments équatoriaux et les filaments polaires, ainsi que par la variation continue de leur orientation. *Les filaments polaires pourraient n'être que le stade final de l'évolution des équatoriaux.*

7° Au cours de l'étude systématique de l'évolution des filaments, nous avons relevé 206 cas, dans notre période de onze ans, où des phénomènes, même très importants, ont disparu, totalement ou en partie, entre deux observations quotidiennes consécutives. Dans 137 cas, la disparition n'était que temporaire et, après un intervalle de temps compris entre deux jours et une demi-rotation, la région occupée antérieurement par le filament en montrait à nouveau des traces, qui s'affirmaient peu à peu jusqu'à revenir à l'aspect primitif. La proportion des filaments équatoriaux affectés par la perturbation est de 19 pour un filament polaire; 31 des phénomènes étudiés ont eu deux disparitions au cours de leur existence; quatre en ont subi trois. Dans l'ensemble, il apparaît que les disparitions brusques affectent la presque totalité des filaments.

Vitesse angulaire de rotation des filaments. — 1° La vitesse des filaments équatoriaux a été déduite du mouvement en longitude de leur intersection avec un parallèle donné, entre deux passages consécutifs sur le disque ou des intervalles plus grands. La mesure était faite au moment où le phénomène se présentait sous son épaisseur minima, afin d'éviter l'effet de parallaxe. En ce qui concerne les filaments polaires, deux méthodes ont été employées, les mouvements en longitude étant déterminés, soit d'après les positions moyennes du centre de figure aux passages successifs sur le disque, soit d'après la mesure de petits éléments distincts dans les objets étudiés sur des intervalles variant de trois à dix jours. Les filaments équatoriaux ont fourni 277 valeurs de ξ entre les latitudes 0° et $\pm 40^{\circ}$; les centres de figure des filaments polaires, 20, entre 35 et 67° ; les petits éléments, 20, dans le même intervalle de latitude, sensiblement. Les deux

méthodes employées pour les filaments polaires donnent des résultats systématiquement différents; les valeurs de ξ étant inférieures de 10 % environ avec la seconde.

2° La précision de nos résultats, en ce qui concerne les filaments équatoriaux, est à peu près identique à celle que donne la mesure des taches. Elle est très supérieure à celle résultant de la mesure des facules ou des flocculi, pour lesquelles les difficultés d'identification réduisent à deux ou trois jours l'intervalle sur lequel la détermination peut être faite. Elle est supérieure également à celle que donnent les mesures spectroscopiques où, aux causes d'erreur introduites par les mouvements propres des objets ou des vapeurs étudiés, s'ajoutent des causes instrumentales et les écarts dans les pointés. Près de l'équateur, nos écarts probables sont trois à quatre fois plus petits que ceux que l'on déduit de l'ensemble de 28 résultats fournis par les observations spectroscopiques. A 60°, en considérant indépendamment les deux méthodes employées pour les polaires, ils sont encore légèrement inférieurs.

3° L'ensemble de nos mesures sur les filaments équatoriaux et sur les centres de figure des filaments polaires, traduit par une formule de Faye pour le rendre directement comparable aux résultats donnés par les taches, conduit à l'expression

$$(1) \quad \xi = 14^{\circ},48 - 2^{\circ},16 \sin^2 \varphi.$$

Les résidus sont faibles, mais ils présentent un caractère systématique qui disparaît si l'on ajoute un terme en $\sin^4 \varphi$. On obtient alors

$$(2) \quad \xi = 14^{\circ},42 - 1^{\circ},40 \sin^2 \varphi - 1^{\circ},33 \sin^4 \varphi,$$

avec laquelle les résidus deviennent remarquablement petits. D'autre part, une expression analogue à (2), mais où le sinus est remplacé par l'arc

$$(3) \quad \xi = 14^{\circ},44 - 1^{\circ},73 \varphi^2 + 0^{\circ},09 \varphi^4$$

ne donne pas d'écarts sensiblement plus systématiques. Les sommes des carrés des résidus, pour les trois expressions, sont respectivement entre elles comme les nombres 1, 0,22, 0,40. *Il n'est donc pas nécessaire de faire intervenir une formule comportant un point d'inflexion pour représenter la loi de rotation des filaments entre 0 et 68°.* La discussion des résultats antérieurs sur les taches et la couche renversante, fait ressortir de même que leur loi de rotation s'exprime aussi bien par une formule parabolique.

Quoi qu'il en soit, il résulte de la comparaison avec les valeurs de ξ obtenues à Greenwich sur les taches de longue vie : *a, que la vitesse angulaire équatoriale de celles-ci est sensiblement égale ou, peut-être, légèrement*

Y a-t-il des erreurs

inférieure à celle des filaments: b, que leur ralentissement polaire est nettement plus grand.

4° La confrontation entre la forme, à leurs deuxième et troisième passages sur le disque, de 60 filaments dont l'époque de naissance était connue, et la courbe que décrit un méridien après une, deux, ..., rotations entières du Soleil, en le supposant soumis à la loi de rotation exprimée par la formule (2), confirme l'hypothèse, émise autrefois par M. et M^{me} J. Evershed, que les filaments ont une direction privilégiée au moment de leur première apparition. *Cette direction est celle d'un méridien âgé de 21 jours, ou 0,8 rotation.* Il est remarquable que cet intervalle soit sensiblement égal au retard qui, pour les filaments formés dans les centres d'activité, marque leur apparition rapportée à celle des taches. *On peut en déduire, en effet, qu'une même cause locale, produit simultanément les centres d'activité et ces filaments, mais que ceux-ci, primitivement dans la direction des méridiens, n'émergent que plus lentement dans les couches accessibles à l'observation.*

5° La possibilité de mesurer, sur les filaments, des points d'altitude différente préalablement identifiés quand les phénomènes passent au bord, et de déterminer leur vitesse angulaire en donnant au spectrohéliogramme, dans l'appareil à mesurer, le diamètre convenable pour que la projection des méridiens et des parallèles se rapporte à l'altitude considérée, nous a permis de vérifier que l'effet de parallaxe explique bien les valeurs anormalement élevées que l'on obtient pour ξ quand on les déduit des positions successives du phénomène au cours d'une traversée du disque. Une partie non négligeable de cet effet est due à la transparence relative de la vapeur au voisinage de ce que nous appelons la base des protubérances, où les pointés se font en réalité à 21 000^{km} au-dessus de la chromosphère.

Mouvement général des protubérances vers les pôles. — 1° L'étude de l'évolution individuelle des filaments équatoriaux et de leur corrélation avec les taches avait laissé soupçonner l'existence d'un mouvement lent et continu de ces phénomènes vers les latitudes croissantes, en sens inverse, par conséquent, du mouvement de leurs lieux d'origine au cours du cycle undécennal et de même sens que celui des protubérances polaires, mis en évidence dès les premières observations systématiques de ces objets au bord solaire. Nous avons cherché à le préciser, aussi bien pour les filaments équatoriaux que pour les polaires, en déterminant, pour chacun d'eux, la variation de latitude par rotation, $\Delta\varphi$, de leur centre de figure et nous avons

obtenu les résultats suivants, le signe + indiquant une variation en direction du pôle :

	Latitude moyenne comprise entre					
	0°-10°.	11°-20°.	21°-30°.	31°-40°.	41°-50°.	51°-60°.
$\Delta\varphi$	+2,3	+1,6	+1,3	+1,2	+0,9	+0,8
Nombre de filaments..	15	76	112	59	27	27

Bien que les écarts individuels soient importants, *le mouvement général des filaments vers le pôle apparaît hors de doute. Il apparaît également que le mouvement se ralentit quand la latitude croît.* Remarquons en outre que la vitesse ne marque aucune discontinuité quand on passe de la zone des filaments équatoriaux à celle des filaments polaires. *L'existence d'un lien étroit entre les deux catégories de phénomènes est ainsi confirmée à nouveau.*

D'autre part, si l'on subdivise le cycle undécennal en trois périodes correspondant respectivement aux phases ascendante, de maximum et de déclin de l'activité des taches, on constate, nettement pour les filaments polaires, avec un degré de certitude moindre pour les équatoriaux, *que le déplacement vers le pôle est au moins deux fois plus rapide dans la période ascendante que dans la période de déclin.* Cette particularité explique, notamment, pourquoi les filaments polaires, dont la latitude de formation ne varie pas de façon très notable au cours du cycle, atteignent presque le pôle au moment du maximum de l'activité des taches.

2° La faiblesse relative du ralentissement polaire des filaments comparé à celui des taches, pourrait être rapprochée des résultats obtenus en 1911 par W. S. Adams qui, ayant mesuré spectroscopiquement la vitesse de rotation de la chromosphère à l'aide de raies de niveaux différents, avait trouvé que la vitesse angulaire équatoriale croît avec l'altitude, pendant que le ralentissement polaire décroît; le niveau de production des protuberances serait ainsi particulièrement élevé. Mais les recherches ultérieures n'ont pas confirmé les déterminations de l'astronome américain et il n'est pas exclu que la couche renversante et la chromosphère tournent avec des vitesses sensiblement égales à celles des taches.

Le mouvement général des filaments vers les pôles fournit une explication plus satisfaisante de leur ralentissement polaire moins marqué : dans ce mouvement, en effet, les phénomènes, rencontrant des couches dont la vitesse linéaire est plus faible que la leur, aussi bien à cause du ralentissement polaire que parce que le rayon des parallèles de latitude croissante est de plus en plus petit, ne sont que partiellement entraînés par ces couches et tendent à décrire une trajectoire plus ouverte que celle

de la chromosphère

lesquelles.

de leur méridien initial, soumis uniquement à l'action du ralentissement polaire.

Si le mouvement vers le pôle n'existait pas, les filaments tourneraient-ils, eux aussi, comme les taches et la couche renversante? Leur visibilité intermittente, dont témoignent les disparitions brusques suivies de réapparitions, semble indiquer que le phénomène sous-jacent hypothétique dont ils seraient la manifestation extérieure, donne naissance, à intervalles plus ou moins irréguliers, à des émissions de vapeur qui, au bout d'un certain temps, deviennent indépendantes de la source qui les a produites. Dès lors, elles perdent peu à peu leur mouvement propre et leur ralentissement polaire tend à devenir égal à celui de la couche dans laquelle elles sont entraînées, tandis que les émissions nouvelles suivent la trajectoire plus ouverte qui correspond à notre loi de rotation. L'effet pourrait être particulièrement marqué dans les filaments polaires, phénomènes anciens, dont les petits éléments mesurés ont un ralentissement polaire très voisin de celui de la couche renversante, et marqueraient ainsi le stade final des émissions, où celles-ci sont devenues à peu près solidaires de la couche qui les porte.

Il n'est pas impossible, cependant, que ce ne soient pas les filaments qui se déplacent vers le pôle sur la couche dont ils sont issus, mais cette couche elle-même qui soit tout entière en mouvement. Dans ces conditions, il n'y aurait plus de raison pour que des éléments, supposés indépendants de la source qui les a produits, aient une vitesse différente de ceux qui sont toujours liés à cette source. L'écart, mis en évidence par nos mesures, entre la vitesse de rotation des centres de figure des filaments polaires et celle de leurs éléments distincts, pourrait alors provenir d'une augmentation artificielle de la première, causée par la formation fréquente, à l'Ouest des phénomènes, d'un ou plusieurs objets nouveaux, d'abord indépendants, mais qui, peu à peu, font corps avec eux. Ces apports par l'Ouest pourraient marquer la contribution des filaments équatoriaux à la formation des filaments polaires. D'autre part, dans l'hypothèse d'un mouvement vers le pôle de la couche entière, les vitesses des petits éléments sont elles-mêmes en excès par rapport à celles d'une couche immobile en latitude. Mais cet excès doit être faible, puisque le mouvement vers le pôle est petit sur les parallèles élevés.

On peut donc conclure, semble-t-il, qu'aucune observation n'est en contradiction avec l'hypothèse que *toutes les couches solaires accessibles à l'observation, y compris celle qui porte les filaments auraient, s'il n'existait aucun mouvement propre en latitude, des vitesses équatoriales et des ralentissements polaires sensiblement égaux.*

*
*
*

Trois faits intéressants pour l'ensemble des études solaires se dégagent des résultats que nous venons de résumer. Nous voyons, en premier lieu, ressortir une propriété nouvelle des zones royales. Nous avons montré, en effet, combien il paraissait probable que les protubérances polaires ne sont pas indépendantes des protubérances équatoriales, mais qu'elles constituent, en quelque sorte, le terme final, l'aboutissement de celles-ci. Dès lors, toutes les protubérances prendraient naissance dans les zones royales et ces régions privilégiées seraient ainsi les lieux d'origine de *toutes* les manifestations importantes de l'activité photosphérique et chromosphérique qu'il nous est permis d'observer. En second lieu, le mouvement général des filaments vers les pôles témoigne de l'existence d'une circulation méridienne souvent invoquée dans les théories solaires, mais non encore reconnue jusqu'ici. C'est grâce à ce mouvement et à leur longévité que les protubérances peuvent apparaître à peu près sur tous les parallèles, alors que les taches et les facules semblent confinées dans la région où elles se sont formées. Enfin, les deux grandes classes de perturbations solaires, centres d'activité et protubérances, entre lesquelles on n'avait encore noté qu'une dépendance générale assez lâche, en ce qui concerne leur position sur le Soleil, se révèlent en outre, au moins une fois sur trois, associées individuellement d'une façon très nette. Dans les autres cas, leur dépendance se traduit par la communauté de latitude de leur formation.

Il y a lieu de remarquer, d'autre part, que la plupart de nos résultats, sauf peut-être ceux qui concernent les caractères généraux des protubérances, n'auraient pu être que très difficilement obtenus si nous n'avions pas eu les cartes synoptiques pour nous aider à classer et à identifier les phénomènes. Mais les cartes doivent, réciproquement, bénéficier de l'expérience acquise avec leur aide ou à la suite de l'examen systématique détaillé des spectrohéliogrammes. Nous avons eu l'occasion de noter, en effet, que certaines conventions, faites au début pour leur construction, comportaient forcément une part d'arbitraire, parce qu'elles auraient dû s'appuyer sur l'examen de nombreux phénomènes de longue durée et que cet examen n'était guère possible avant qu'une série déjà longue de cartes fût terminée. Il y aura lieu, à l'avenir, de réduire cet arbitraire au minimum. On pourra, par exemple, maintenant que la forme spatiale des protubérances est bien connue, ne plus représenter, sur les dessins synthétiques, la projection de leurs faces latérales, visibles obliquement quand les phénomènes sont voisins des bords. Le dessin se réduirait alors à un trait, de l'épaisseur moyenne des protubérances, plus ou moins teinté

comme actuellement selon la visibilité du phénomène au cours de sa traversée du disque et complété, quand cela serait possible, par une cote de hauteur. De même, il ne sera plus nécessaire d'indiquer par une flèche la translation apparente du filament pendant son passage dans l'hémisphère visible, puisqu'il est établi que cette translation résulte de la combinaison d'un effet de parallaxe et de la différence entre la vitesse de rotation des filaments, variable avec la latitude et la vitesse constante de la sphère de référence. En outre, certaines particularités des phénomènes pourront être indiquées avec une précision plus grande. Il y aura lieu, notamment, de remanier la convention relative aux réapparitions, de manière à tenir compte de l'existence des filaments complexes et du trouble qu'ils introduisent dans l'identification des phénomènes.

Soulignons enfin qu'une partie de notre travail doit être considérée comme seulement préliminaire, soit parce qu'elle porte sur la mesure de petites quantités, comme le mouvement vers les pôles des filaments, et qu'on ne peut avoir pleine confiance dans les valeurs moyennes que sur une très longue série d'observations; ou bien, parce qu'il s'agit de variations lentes liées à la période undécennale et qu'il est nécessaire de les retrouver sur de nouveaux cycles pour être bien certain qu'elles ne sont pas fortuites; soit encore, comme pour les circonstances de la formation des filaments, parce que la cadence d'une image par 24 heures est insuffisante pour préciser l'évolution rapide de détails importants, quant à la compréhension du phénomène.

Il est donc nécessaire, d'une part, de poursuivre dans les divers observatoires spécialisés la série des spectrohéliogrammes H_2 et K_3 , en s'efforçant de réaliser des collections aussi continues et homogènes que possible, et de continuer également, avec celles-ci, la série des cartes synoptiques, qui transforment les données brutes des clichés en documents dépouillés et classés pour l'étude. D'autre part, on devra chercher dans chaque établissement à développer l'enregistrement sur film de petites images du disque, comme on le fait au Mount Wilson, de manière que l'on puisse ensuite les passer à l'accélééré sur l'écran cinématographique et mettre ainsi en évidence les mouvements continus de matière qu'il est à peu près impossible de discerner par l'examen ou la mesure d'images séparées. Les résultats obtenus déjà par B. Lyot en France et par R. R. Mc Math aux États-Unis sur les mouvements internes dans les protubérances, sont très encourageants à cet égard.

D'ailleurs, il ne semble pas impossible, avec les films à grain fin actuels, d'obtenir des images dont la définition serait suffisante pour que, amenées à l'échelle où sont effectués les dessins reportés sur les cartes synoptiques,

elles aient encore une netteté satisfaisante et permettent ainsi d'éviter l'emploi d'un spectrohéliographe spécial, fonctionnant chaque jour pour une ou deux images seulement. Il n'est pas impossible non plus que les perfectionnements des monochromateurs du type Lyot permettent, dans un avenir assez proche, de substituer ces instruments aux spectrohéliographes pour la raie H_{α} , et de réaliser un gain, sans doute très important, sur la netteté des images obtenues.

L'enregistrement cinématographique suppose évidemment l'organisation d'une coopération internationale analogue à celle qui existe pour l'observation des éruptions chromosphériques au spectrohéloscope, de manière qu'on puisse réaliser un film absolument continu sur un intervalle de temps pouvant atteindre au besoin une demi-rotation du Soleil. Les bases d'une telle organisation avaient été jetées à Stockholm en 1938. Il est désirable que l'idée puisse en être bientôt poursuivie.

