

# BULLETIN DE LA S. M. F.

J. FRANK ADAMS

## **Théorie de l'homotopie stable**

*Bulletin de la S. M. F.*, tome 87 (1959), p. 277-280

[http://www.numdam.org/item?id=BSMF\\_1959\\_\\_87\\_\\_277\\_0](http://www.numdam.org/item?id=BSMF_1959__87__277_0)

© Bulletin de la S. M. F., 1959, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « Bulletin de la S. M. F. » (<http://smf.emath.fr/Publications/Bulletin/Presentation.html>) implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme  
Numérisation de documents anciens mathématiques

<http://www.numdam.org/>

## THÉORIE DE L'HOMOTOPIE STABLE;

PAR

J. FRANK ADAMS

(Cambridge).

Il y a quelques temps déjà, je fus contraint de me rendre compte qu'il existait une parenté entre la théorie de l'homotopie stable et l'algèbre homologique. Il est tentant d'essayer de développer une théorie dans laquelle cette parenté apparaisse de la manière la plus simple possible. Voici quelques idées pour un tel essai.

Le théorème qui suit est le premier théorème qui fait apparaître cette parenté. Soient  $X, Y$  des  $C-W$  complexes finis, on peut alors définir les groupes

$$\Pi_m^S(X, Y) = \lim_{n \rightarrow \infty} \text{appl}(S^{m+n}X, S^n Y)$$

qu'on appelle les « track groups » stables.

Si  $p$  est un nombre premier, on peut aussi définir

$$\text{Ext}_A(H^*(Y; Z_p), H^*(X; Z_p))$$

où  $A$  désigne l'algèbre de Steenrod mod  $p$ . Le théorème affirme qu'il existe une suite spectrale

$$\text{Ext}_A(H^*(Y; Z_p), H^*(X; Z_p)) \Rightarrow {}_p\Pi_*^S(X, Y)$$

où  ${}_p\Pi$  désigne le quotient de  $\Pi$  par les éléments d'ordre fini premier à  $p$ .

Nous ne savons presque rien sur le calcul des différentielles de cette suite spectrale. Si nous analysons cette question, nous sommes conduit à la situation suivante : soit  $F \rightarrow E \rightarrow B$  un fibré (principal) dont la base et la fibre sont des espaces de Eilenberg-MacLane, ou des produits de tels espaces; alors, pour les dimensions stables, nous avons une suite exacte

$$\rightarrow H^*(F) \xrightarrow{\tau} H^*(B) \rightarrow H^*(E) \rightarrow H^*(F) \xrightarrow{\tau} H^*(B) \rightarrow$$

(à coefficients dans  $Z_p$ ). De la connaissance de  $\tau$  on déduit celle de la structure additive de  $H^*(E)$ , mais on ne peut déterminer ainsi la structure de  $A$ -module de  $H^*(E)$ . De plus, chaque élément  $e$  de  $H^*(F)$  détermine une opération cohomologique de seconde espèce  $\Phi$ ; on pourrait utiliser  $e$  comme exemple universel en suivant les travaux de SERRE sur les opérations de première espèce. Mais le fait d'explicitier nos problèmes en termes d'opération, au lieu d'éléments  $e$ , nous donne la possibilité d'essayer nos formules sur des espaces simples.

Une théorie satisfaisante doit remplir deux conditions :

- 1° elle doit donner de façon convenable la suite spectrale;
- 2° le même mécanisme doit aussi s'appliquer aux opérations d'espèce supérieure.

Commençons par définir une catégorie stable.

Un objet  $X$  est une suite de  $C-W$ -complexes  $X_n$ , satisfaisant aux propriétés suivantes :

(i)  $X_n$  a un seul sommet, et a des cellules de dimension  $r$  seulement si  $n \leq r \leq 2n - 2$ .

(ii) le squelette  $(X_n)^{2n-3}$  est la suspension réduite  $SX_{n-1}$ .

Un morphisme  $f: X \rightarrow Y$  est une suite d'applications cellulaires  $f_n: X_n \rightarrow Y_n$ , telles que :

(iii)  $f_n|_{(X_n)^{2n-3}} = Sf_{n-1}$ .

Une homotopie est une suite d'applications cellulaires  $h_n: (I \times X_n)^{2n-2} \rightarrow Y_n$ , commutant avec  $S$  de manière évidente.

Pour faire de cette catégorie une catégorie abélienne, on définit  $X \vee Y$  par  $(X \vee Y)_n = X_n \vee Y_n$ , et on construit des applications

$$\Delta: X \rightarrow X \vee X$$

de type (1,1); ce qui peut être fait par récurrence sur  $n$  en utilisant le plongement de  $X_n \vee X_n$  dans  $X_n \times X_n$ .

La suspension d'un objet se définit facilement par

$$(SX)_n = (X_{n+1})^{2n-2}.$$

On peut définir alors les « track groups »

$$\Pi_r(X, Y) = \text{appl}(S^r X, Y)$$

La cohomologie  $H^*(X)$  d'un objet  $X$  de la catégorie se définit de façon triviale. Nous nous restreindrons aux objets dont la cohomologie est de type fini dans chaque dimension.

Nous avons donc maintenant la catégorie stable  $\mathcal{C}$ , la catégorie  $\mathcal{M}$  des  $\mathcal{A}$ -modules, et un foncteur  $H^*$  de  $\mathcal{C}$  à  $\mathcal{M}$ ; notre théorie doit maintenant montrer comment les constructions d'algèbre homologique dans  $\mathcal{M}$  peuvent se remonter dans  $\mathcal{C}$ .

Considérons la suite spectrale. Nous prenons un objet  $Y_0$  et une résolution

$$H^*(Y_0) \xleftarrow{\varepsilon} C_0 \xleftarrow{d_1} C_1 \xleftarrow{d_2} C_2 \leftarrow \dots$$

de  $H^*(Y_0)$  par des modules gradués libres et localement de type fini  $C_i$ . Pour chaque  $C_i$  notre catégorie contient des objets de Eilenberg-Mac-Lane  $E_i$  possédant les propriétés suivantes :

- (i)  $H^*(E_i) \cong C_i$
- (ii)  $H^* : \text{appl}(\mathcal{X}, E_i) \rightarrow \text{Hom}_{\mathcal{M}}(H^*(E_i), H^*(\mathcal{X}))$

est un isomorphisme; et on peut ainsi trouver une application  $f_0 : Y_0 \rightarrow C_0$  qui induit  $\varepsilon$ .

Nous essaierons ensuite de réaliser le module  $\text{Ker } \varepsilon$ , et nous ferons maintenant en sorte qu'à chaque application  $f : \mathcal{X} \rightarrow Y_0$  de notre catégorie soit associé un troisième objet  $Z$ , qui nous donne des suites exactes de modules de cohomologie, et de « track groups ». Posons

$$Z_n = (TX_n \cup_{f_n} Y_n)^{2n-2}$$

où  $TX_n$  désigne le cône de base  $X_n$ , ce que nous écrirons

$$Z = TX \cup_f Y.$$

On peut, en particulier, définir  $Y_1 = TY_0 \cup_{f_0} E_0$ , et on a  $H^*(Y_1) \cong \text{Ker } \varepsilon$ ; l'application  $d_1 : C_1 \rightarrow \text{Ker } \varepsilon$  peut être induite par une application  $f_1 : Y_1 \rightarrow E_1$ ; on peut former  $Y_2 = TY_1 \cup_{f_1} E_1$ , et on poursuit par récurrence.

Cette construction est naturelle. En effet, supposons donnée une application  $g_0 : Y_0 \rightarrow Y'_0$ , et un diagramme :

$$\begin{array}{ccccccc} H^*(Y_0) & \xleftarrow{\varepsilon} & C_0 & \xleftarrow{d_1} & C_1 & \leftarrow & \dots \\ & & \uparrow g_0^* & & \uparrow \mu_0 & & \uparrow \mu_1 \\ H^*(Y'_0) & \xleftarrow{\varepsilon'} & C'_0 & \xleftarrow{d'_1} & C'_1 & \leftarrow & \dots \end{array}$$

Il existe alors un diagramme :

$$\begin{array}{ccc} Y_0 & \xrightarrow{f_0} & E_0 \\ \downarrow g_0 & & \downarrow \\ Y'_0 & \xrightarrow{f'_0} & E'_0 \end{array}$$

commutatif à une homotopie près; et on peut construire

$$g_1 : TY_0 \cup_{f_0} E_0 \rightarrow TY'_0 \cup_{f'_0} E'_0,$$

ce qui donne  $g_1 : Y_1 \rightarrow Y'_1$ , et on continue par récurrence.

De cette réalisation géométrique d'une résolution, on peut déduire assez de suites exactes de « track groups »  $\Pi_r(\mathcal{X}, Y_i)$ , etc., pour construire la suite spectrale désirée.

Passons maintenant aux opérations. On peut effectuer la construction précédente sans partir d'un espace  $Y_0$  et d'une résolution. Prenons des objets de Eilenberg-MacLane  $E_0, E_1, \dots, E_r$ , une application  $f_1 : E_0 \rightarrow E_1$  et formons  $Y_1 = TE_0 \cup_{f_1} E_1$ . On peut continuer par récurrence, et trouver une suite spectrale qui converge vers  $\text{appl}(\mathcal{X}, Y_r)$ .

Les groupes du premier terme  $\mathcal{E}_1$  de cette suite spectrale sont

$$\text{Hom}(H^*(E_i), H^*(\mathcal{X})).$$

$H^*(E_i)$  est libre, et a, disons,  $n_i$  générateurs; ainsi la donnée d'un élément de  $\text{Hom}(H^*(E_i), H^*(\mathcal{X}))$  est équivalente à celle d'un  $n_i$ -uplet d'éléments de  $H^*(\mathcal{X})$ . Les différentielles  $d_i$  donnent les opérations primaires, celle qui agit sur les  $n_i$ -uplets et associe à chacun d'eux un  $n_{i+1}$ -uplet. Les différentielles  $d_2$  sont définies sur les noyaux des opérations de première espèce, et prennent leurs valeurs dans les conoyaux de celles-ci; elles donnent ainsi les opérations de seconde espèce. De même, les différentielles  $d_i$  donnent les opérations de  $i^{\text{ème}}$  espèce. De cette façon, on peut définir les opérations par le même procédé qui sert à construire la suite spectrale.

J. Frank ADAMS,  
Trinity Hall,  
Cambridge (Grande-Bretagne).

