



## Bulletin de la Sabix

Société des amis de la Bibliothèque et de l'Histoire de l'École polytechnique

56 | 2015

Deux innovateurs dans le domaine du génie civil :  
André Coyne et Henri Vidal

---

## Henri Vidal

Inventeur et créateur de la Terre Armée

Ivan Chéret

---



### Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/sabix/1467>

ISSN : 2114-2130

### Éditeur

Société des amis de la bibliothèque et de l'histoire de l'École polytechnique (SABIX)

### Édition imprimée

Date de publication : 1 mai 2015

Pagination : 54-94

ISSN : 0989-30-59

### Référence électronique

Ivan Chéret, « Henri Vidal », *Bulletin de la Sabix* [En ligne], 56 | 2015, mis en ligne le 12 juillet 2018, consulté le 01 mai 2019. URL : <http://journals.openedition.org/sabix/1467>

---



VIDAL

# Henri Vidal

## Inventeur et créateur de la Terre Armée.

*Ivan Chéret*

Henri Vidal est né en 1924 et vécu toute sa jeunesse dans le Var, où son père était ingénieur en chef des Ponts et Chaussées. Il évoquait souvent des aïeux corses en entonnant l'ajaccienne, quand il était avec des copains. C'était un fils de la Méditerranée.

Ingénieur de l'École polytechnique de Paris dans la promotion 1944

Ingénieur civil de l'École Nationale des Ponts et Chaussées de Paris

Architecte DPLG de l'École des Beaux Arts de Paris.

Henri Vidal s'est éteint en novembre 2007 à Porquerolles, dans son île préférée.

Henri Vidal fut l'un de mes meilleurs amis, mais je n'ai jamais travaillé avec lui et n'ai jamais participé, ni de près ni de loin, à la « Terre Armée ». Ce que vous trouverez ici provient de mes souvenirs personnels de ses récits, mais aussi, et surtout, des articles publiés dans le passé, du texte des brevets pris par Henri Vidal, du récit de leurs « aventures » par Maurice Darbin<sup>1</sup>, son principal collaborateur, ainsi que de l'« histoire » de la Terre Armée publiée par Henri Vidal en 1986, vingt deux ans après le premier ouvrage en Terre Armée.

Comme la personnalité de l'auteur est le moteur de la réussite dans cette création humaine, à l'instar de toute création humaine, je me permettrai d'y revenir de temps en temps.

---

1. Maurice Darbin est Ingénieur civil de l'École Nationale des Ponts et Chaussées de Paris.



## Notre rencontre

J'ai rencontré Henri Vidal pour la première fois au Lycée Thiers à Marseille à l'automne 1943 dans la classe de Mathématiques Spéciales où les bacheliers venaient se former pour essayer de réussir à entrer par concours dans une « Grande École » et obtenir ainsi l'accès à un métier intéressant. Je portais encore à l'époque le nom de famille de mes parents, Tcherepenkoff, et me suis retrouvé pour les interrogations orales inclus dans un trinôme dont les deux autres personnes s'appelaient, ordre alphabétique oblige, Vernet et Vidal.

Henri était de grande taille, portait une belle chevelure rousse et comme il était interne, il apparaissait toujours vêtu d'une blouse grise qui flottait autour de sa silhouette. Henri s'était déjà présenté deux fois aux concours d'entrée à plusieurs écoles, mais, s'il avait été admis à d'autres, il n'avait pas encore réussi l'entrée à l'École polytechnique. Or il LA voulait, cette école, et il se préparait à son troisième concours ! Je fus d'emblée impressionné par cette persévérance ! De son côté, il fut sans doute intéressé par ce « russe », apparu soudain dans cette « taupe » marseillaise, et me proposa très vite de m'apprendre le français, comme si j'en avais besoin ! Vous l'avez compris, nous sommes devenus de grands amis !

Et c'est ainsi que j'ai rendu visite à ses parents dans leur maison de St Aygulf, au bord de la « grande bleue », et que j'appris que son père, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées du Var, était en train de construire la route qui longe la rive sud des Gorges du Verdon, celle dite aujourd'hui de la falaise des Cavaliers. Il vint aussi chez nous, là où nous louions l'été une maisonnette, à Aiguebelle, et c'est au cours de ces instants de rêverie sur la plage qu'il me montra un tas de sable : tu vois, me dit-il, avec ce sable sec et pulvérulent, mon tas de sable est très plat, avec des pentes très douces ; mais si j'insère dans ce sable des aiguilles de pin, la pente tient mieux, devient plus raide, et il essayait sans cesse de faire mieux, en introduisant les aiguilles de pin de différentes façons. J'ai noté cette curiosité naturelle et n'y ai plus pensé, mais Henri, si, comme je m'en suis rendu compte quelques années plus tard. Et puis la vie d'étudiant reprit, nous réussîmes tous les deux notre concours d'entrée à Polytechnique, et nous nous retrouvâmes encore avec Henri à l'École des Ponts et Chaussées. Une année nous partageâmes une chambre à la Maison des Mines et des Ponts et c'est là qu'il me dit un jour, pendant qu'on discutait de l'effet tranchant et d'autres notions techniques nouvelles pour nous : tu sais, le métier d'ingénieur consiste à créer et pas seulement à mettre en œuvre le savoir que nos maîtres nous ont enseigné. Il avait bien dit créer, et non chercher. Il ne souhaitait pas faire de la recherche pour chercher, mais voulait absolument créer un produit utile, qui représente un progrès et que les hommes de son métier, la construction et les travaux publics, puissent utiliser.

Nous avons eu à l'École polytechnique un merveilleux professeur d'histoire de l'art ; nous fûmes enthousiasmés et avec notre ami commun, Jean Cadot, nous parcourûmes les musées et les belles « villas » d'Italie ! Henri se passionna pour l'architecture et s'inscrivit à l'École des Beaux Arts de Paris. Il m'avait attiré d'ailleurs avec lui dans son atelier, mais j'étais moins passionné que lui et ne poursuivit point. Lui, si, et il obtint son diplôme d'architecte.

Entre temps nos chemins avaient divergé, je partis en Afrique Noire, comme fonctionnaire d'État, chargé de réaliser des infrastructures pour l'alimentation en eau des populations, et Henri Vidal travailla à Electricité de France puis dans la grande entreprise de travaux publics, Fougerolle.

Nous nous revîmes bien sûr de temps en temps, et comme Henri avait créé un bureau d'architecte avec ses amis Frichet et Jenkins, je lui confiais la construction de la maison dont j'avais besoin pour loger ma famille. Comme le terrain était trois mètres en dessous de la route, Henri conçut une maison qui avait un étage côté route et deux côté jardin, comme on peut le voir sur ce croquis de sa main ; mais chemin faisant, comme le quartier était verdoyant, il me proposa de faire un toit en pente et en sus planté d'herbes, ce qui a produit la maison que vous voyez, avec une couverture végétalisée, et ce en 1959 ! Et il avait réussi à nous convaincre, ma femme et moi, d'accepter son projet ! C'était cela aussi Henri ! Inutile de dire qu'à l'époque tous les pas-

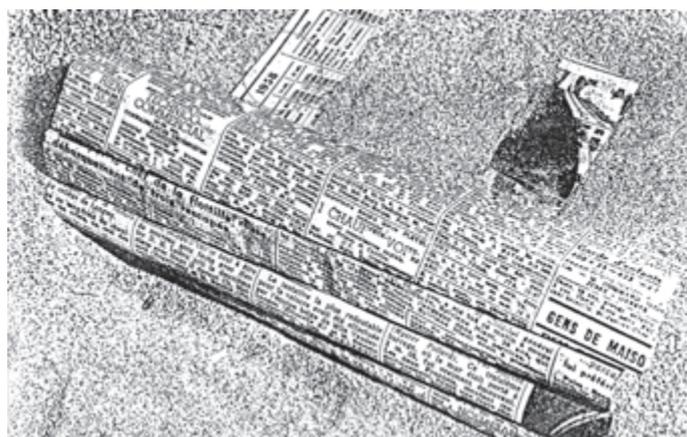
sants rigolaient en voyant ce toit en herbe ! Seuls les architectes demandaient le nom de l'architecte !!! Cela a bien changé cinquante ans plus tard.



## La phase de création de la Terre Armée

### L'idée et les recherches

A l'occasion de nos rencontres, Vidal me dit qu'il avait poursuivi ses expériences sur le sable, intrigué qu'il était par la possibilité de changer ce matériau pulvérulent, en quelque chose de plus compact par l'introduction de simples aiguilles de pin. Ainsi, un jour de 1958 qu'il se trouvait sur une plage, il prit son journal, l'étala et versa du sable dessus; puis il roula le journal en le fermant aux deux extrémités, et constitua ainsi une sorte de saucisse dont la peau était le journal et la chair était le sable ! Et alors il se demanda, on n'est pas ingénieur pour rien, quelle était la « solidité » de cette saucisse ! Pas d'hésitation, il prit deux briques, les plaça verticalement à quelques cm de distance l'une de l'autre, posa le rouleau de sable en travers, comme un pont entre les deux briques et appuya dessus avec la main : le rouleau tint bon. Vidal s'enhardit et appuya plus fort, le rouleau résista encore, encouragé Vidal mit le pied sur le rouleau, et progressivement appuya de plus en plus fort jusqu'à mettre tout son poids : le rouleau tint bon jusqu'à la fin !!!



Décidément, se dit Vidal, on devrait pouvoir tirer quelque chose d'utile à partir de cette expérience quand même impressionnante, mais quoi ? Pour répondre à cette question, il poursuivit pendant des années des expériences dans sa cuisine pour essayer de se rapprocher d'une idée applicable en pratique sur les chantiers. Il faut rappeler aussi que pendant tout ce temps Henri Vidal travaillait dans l'entreprise Fougerolle et qu'il

participa à ce titre à la construction d'un barrage en Afrique et à celle du pont Champlain sur le Saint Laurent à Montréal par exemple. Ceci lui donna l'expérience des problèmes concrets des travaux publics et l'aïda à concevoir son invention pour une grande variété de cas pratiques susceptibles de bénéficier de son idée.

Ainsi, pendant qu'on discutait de ma maison, si Henri ne parlait pas beaucoup de ses projets, il me disait surtout: « Tu sais, ce n'est pas facile, c'est encore plus compliqué que tu ne crois; il faut non seulement faire les essais de tenue de la terre, non seulement calculer les armatures, mais aussi voir en quelle matière les réaliser, et puis protéger son invention par des brevets et convaincre quelqu'un de faire une première réalisation en vraie grandeur ! »

Mais Henri avait de la force et de la persévérance et c'est ainsi que le 17 mars 1963 il déposa sa première demande de brevet.

### **Le premier brevet.**

Je reproduis ici le début du texte (le texte complet comporte 24 pages et pas mal de calculs !) car il permet de saisir les raisonnements qui ont conduit Henri à son invention. Les dessins, de leur côté, rendent l'invention physiquement palpable en quelque sorte. Voici donc le début du texte :

« Les premiers ouvrages sortis de la main de l'homme ont emprunté l'essentiel de leurs matériaux à la nature, principalement au sol. C'est ainsi que parmi les constructions les plus anciennes, des fossés, remblais, canaux, huttes, etc., ont été exécutés en terre. De nos jours encore certaines régions connaissent, pour l'exécution de bâtiments, l'usage du torchis, c'est-à-dire d'un mélange de terre argileuse et de paille ou foin mis en place entre des branches.

« Au cours des siècles, le progrès des techniques a conduit à une réduction du domaine d'application de la terre comme matériau de construction. C'est ainsi que le béton armé, s'il utilise des éléments tirés du sol, les agrégats – le plus souvent après traitement (concassage, criblage, lavage, etc.) – exige la mise en œuvre de deux constituants d'origine essentiellement industrielle, l'acier, pour les armatures et le ciment pour la liaison entre agrégats et armatures.

« Ce n'est qu'au cours des dernières années, que sous l'effet de l'utilisation généralisée des engins de terrassement et du développement de la mécanique des sols, de nombreux ouvrages de haute technicité ont été exécutés, dans des conditions économiques, en terre: digues, routes, pistes d'aérodrome, barrages, etc.

*« La présente invention se propose de réaliser une nouvelle application de la terre comme matériau de construction. Elle a plus particulièrement pour objet un ouvrage de construction caractérisé en ce qu'il comprend principalement des éléments granuleux ou pulvérulents et des armatures disposées de telle sorte que ces éléments sont maintenus les uns par rapport aux autres, soit par frottement direct avec les armatures, soit par frottement avec d'autres éléments en contact avec les armatures, l'ensemble formant ainsi un volume doué de cohésion et capable de résistance.<sup>2</sup>*

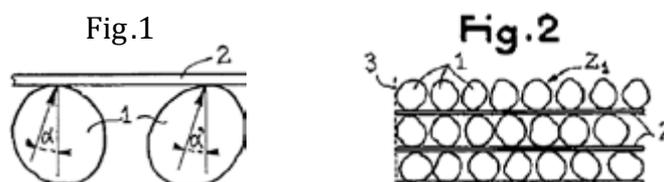
« Par « éléments granuleux ou pulvérulents », il faut entendre des grains normalement tirés du sol et le terme « armature » vise des éléments de grande longueur résistant à la traction tels que ceux qui sont utilisés dans le béton armé et dans les plastiques armés. Alors que dans un massif de terre non cohérente l'équilibre ne peut être obtenu que sous l'effet du frottement interne des grains, dans un ouvrage suivant l'invention le frottement grains-armatures est un facteur de stabilité qui, combiné avec le frottement des

---

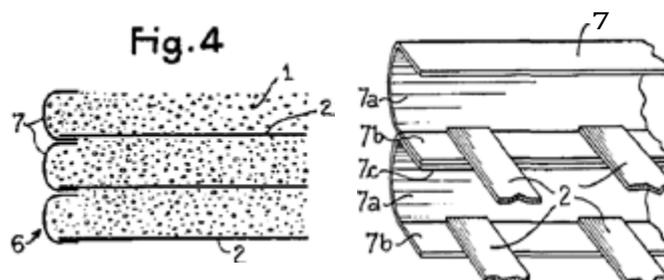
2. Cette phrase est soulignée ici vu son importance.

grains entre eux, permet d'obtenir des profils d'équilibre ou des volumes stables qui seraient impossibles en l'absence d'armature.

« Dans les ouvrages suivant l'invention, la cohésion a une origine très différente de celle qui caractérise les massifs en béton, armé ou non, où elle est due à la liaison rigide créée par la prise et le durcissement du ciment, différente également des constructions en torchis dont la cohésion est créée par l'effet de collage de l'argile.



« Dans les ouvrages suivant l'invention, les armatures font sentir leur action sur une certaine zone qui les entoure mais il va de soi que même si les armatures sont prolongées jusqu'à la surface libre de l'ouvrage, cette action, génératrice de cohésion, est moins efficace sur la surface libre où la poussée des grains tend à chasser ces derniers hors du massif, de sorte qu'il est le plus souvent nécessaire de prévoir sur la surface libre d'un ouvrage suivant l'invention un moyen pour retenir les grains qui se trouvent sur la surface ou au voisinage de cette dernière.



« Dans la plupart des cas, ce moyen est constitué par une sorte d'habillage distinct des grains et de l'armature; on l'appellera dans la suite « peau ». Cette peau peut être réalisée sous diverses formes, mais son mode d'exécution préféré est constitué par des éléments doués d'une certaine rigidité, de profil en U, dont les ailes servent à la fois à les ancrer dans le massif de grains et à les juxtaposer les uns par rapport aux autres. Cette peau ne joue à proprement parler aucun rôle dans la stabilité de l'ouvrage, étant simplement destinée à contenir les grains disposés sur les surfaces libres de l'ouvrage. Elle doit donc pouvoir résister aux actions locales tout en étant capable d'une flexibilité lui permettant de s'adapter aux déformations éventuelles.

« Pour simplifier, on désignera sous le nom de « Terre Armée » l'association grains-armatures qui est à la base des ouvrages construits suivant l'invention. »

Le brevet fut délivré le 22 février 1965.

### Les premiers ouvrages en Terre Armée.

MAIS, avoir un brevet ne suffit pas. Encore faut-il trouver des occasions de l'appliquer, et dans le cas de la Terre Armée, il faut convaincre des maîtres d'ouvrages publics et des entreprises de travaux publics de prendre le risque d'utiliser un nouveau procédé sur des ouvrages destinés à accueillir de très nombreux usa-

gers. Henri partit donc rencontrer beaucoup de maîtres d'ouvrages et d'entreprises, présenta son invention dans de nombreux colloques ou rencontres techniques, rédigea un petit ouvrage reproduit en photocopies car il n'avait pas beaucoup de moyens financiers. Et c'est là que sa présentation simple, modeste, mais précise et claire, en somme sympathique et professionnelle, a fait merveille et a intéressé tous ses interlocuteurs.

Et celui qui, le premier, fit réaliser un ouvrage en Terre Armée, fut son ancien patron à Electricité de France, qui savait d'expérience qu'il pouvait lui faire confiance. C'est ainsi qu'à l'automne 1965 fut construit en Terre Armée un mur de soutènement, à PRAGNERES dans les Pyrénées, sur un éboulis peu stable, base sur laquelle un ouvrage traditionnel de l'époque aurait été beaucoup plus coûteux.



Cette remarque concernant l'avantage de la Terre Armée sur les autres techniques pour franchir des éboulis peu stables conduisit un peu plus tard M. Tanzi, responsable de la construction de l'autoroute entre Cannes et Nice, à voir si cette invention ne lui permettrait pas de franchir à moindres frais un certain nombre de passages délicats au-dessus d'éboulis pas très consistants. Elle conduisit également au démarrage d'une collaboration fructueuse entre Henri Vidal et le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.

Voici comment M. Legrand, Ingénieur des Ponts et Chaussées, chef du département des sols de ce laboratoire, présente le début de leur collaboration avec M. Vidal, en introduction à un article signé par François Schlosser, Ingénieur des Ponts et Chaussées, chef de la section mécanique des sols, et par Henri Vidal<sup>3</sup> :

« C'est à l'occasion de la Conférence qu'il a prononcée le 7 mars 1966 devant le Comité Français de la Mécanique des Sols et des Fondations que nous avons rencontré pour la première fois M. Vidal et pris connaissance de l'expérience du matériau nouveau qu'il présentait : « La Terre Armée ».

« Préoccupés à l'époque, par l'édification de remblais autoroutiers de grande hauteur sur des pentes d'éboulis proches de l'équilibre limite et d'inclinaison voisine de l'angle de pente naturelle du matériau de remblais, nous avons rapidement aperçu les possibilités offertes par cette technique nouvelle pour la solution de nos problèmes.

« De là est née une collaboration active entre l'équipe de mécaniciens des sols du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées et M. Vidal qui s'est progressivement étendue aux différents types d'ouvrages susceptibles d'être envisagés avec ce matériau et aux divers problèmes soulevés par son emploi. A mesurer aujourd'hui (trois ans plus tard donc, NDLR) le chemin parcouru, pour une bonne part ensemble, une telle collaboration à laquelle se sont joints ensuite des Maîtres d'Œuvre, parmi lesquels M. Tanzi, à

---

3. Bull. Liaison Lab. P. et C. n° 41 Nov. 1969.

l'époque Chef du Groupe Autoroutes et Grands Travaux Routiers du Département des Alpes-Maritimes, a une place toute particulière, s'est avérée très fructueuse. Pour en juger, il suffit de voir le nombre et la diversité des ouvrages réalisés à ce jour ou projetés avec cette technique. »

Cet article occupe 45 pages et présente en détail la conception, les calculs, les essais en laboratoire et les mesures de contrôle opérées sur le terrain. Il n'est pas question dans le présent dossier d'entrer dans le dédale de ces études, mais il me paraît intéressant de citer les sujets de préoccupation des ingénieurs qui utilisaient ce matériau peu banal pour réaliser, en plus sur des sols d'éboulis, des murs supports d'autoroutes pouvant atteindre jusqu'à 25 m de haut !

### Un peu de mécanique des sols

Voici le début de l'article en référence :

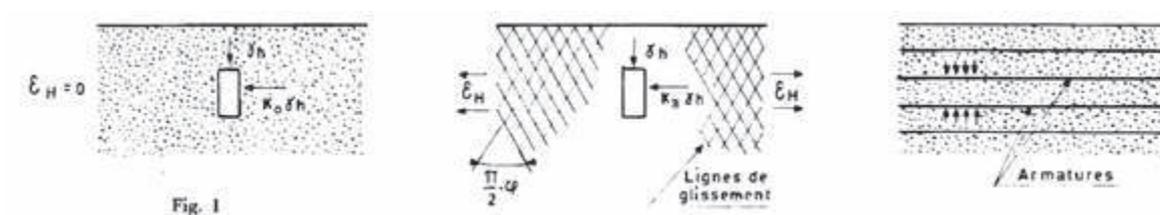
« De tous temps la terre a été utilisée comme matériau de construction. Par rapport aux autres matériaux, elle présente l'avantage d'être bon marché mais, par contre, ses propriétés mécaniques sont faibles et obligent à confectionner des ouvrages massifs. Aussi l'une des préoccupations constantes des Ingénieurs, a-t-elle été d'améliorer les propriétés mécaniques de la terre tout en lui gardant son avantage essentiel : un prix de revient peu élevé. Toute une gamme de procédés consiste à introduire dans le sol un liant qui crée entre les grains des forces de liaison plus ou moins élevées : ce sont les sols traités. Lorsqu'il s'agit de mettre en œuvre des masses considérables de matériau (barrages, remblais routiers importants...) de tels moyens sont cependant trop coûteux.

« La Terre Armée est un matériau nouveau, formé par l'association de terre et d'armatures, dont le coût est relativement peu élevé car il présente l'avantage de pouvoir améliorer les propriétés mécaniques de la terre de manière anisotrope, c'est-à-dire uniquement dans les directions où le matériau est le plus sollicité.

« Considérons un massif de terre, homogène, à isotropie plane horizontale et dont la surface est elle-même horizontale. Supposons que cette terre ne possède aucune cohésion.

« A la profondeur  $h$ , les contraintes principales sont verticales et horizontales. Les équations de l'équilibre montrent que la contrainte verticale est proportionnelle à la hauteur  $h$ . La contrainte horizontale dépend par contre de la déformation latérale du massif.

« En augmentant progressivement la déformation latérale, dans un sens ou dans un autre, on peut amener tout le massif à la rupture :



« Supposons maintenant que dans le massif de terre nous ayons disposé des armatures horizontales suffisamment rapprochées, réalisant ainsi un massif en Terre Armée et essayons d'amener le massif de Terre Armée à la rupture par expansion latérale.

« Toute tranche de sol comprise entre deux couches d'armatures consécutives est frettée à ses deux bases et ne peut admettre comme déformation latérale que la seule déformation permise par les armatures à condition toutefois que le frottement entre le sol et les armatures ait une valeur suffisante et que ces dernières soient suffisamment rapprochées les unes des autres. Les armatures se mettent donc en traction et si le matériau constituant les armatures a un module d'Young **très élevé** par rapport au module de déformation du sol (ce qui est généralement le cas), **les déformations latérales du massif sont négligeables** et n'ont alors aucune influence sur les contraintes dans le sol. »

### Et qu'est-ce qu'une armature ?

Dans le béton armé l'armature est en général une tige en acier. Mais en Terre Armée, de simples tiges n'auraient aucun effet, comme me l'a expliqué Henri un jour, puisqu'il s'agit ici de faire apparaître un frottement aussi puissant que possible entre les armatures et la terre, de façon à ce que l'ensemble forme un bloc résistant aux efforts auxquels il est soumis ; il s'agit donc de bandes ayant une surface suffisante pour que le frottement retienne assez de terre. Il faut aussi qu'elles soient résistantes, bien sûr, et qu'elles ne perdent pas leurs qualités par la corrosion qui les guette dans un massif en terre, et donc humide. Henri Vidal fut ainsi conduit dès le début à rechercher les conseils puis la collaboration d'un industriel spécialiste des métaux et son choix se porta sur Péchiney, l'expert en aluminium. Il est intéressant à ce propos de remarquer que la première entreprise japonaise qui s'intéressa un peu plus tard à la Terre Armée fut l'aciérie Kawasaki, fabricant potentiel des armatures, et non une entreprise de travaux publics !!!

Ceci dit, quand on relit l'article cité un peu plus haut et qui date de fin 1969, rappelons le, on trouve une définition très large du mot armature :

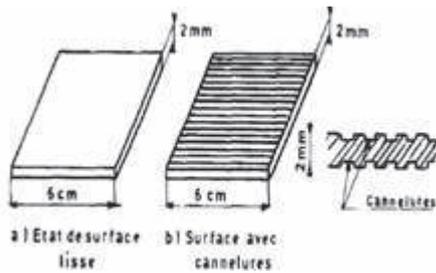
« Le mot « armature » sert à définir tous les éléments linéaires susceptibles de supporter des contraintes de traction importantes. Les armatures doivent présenter avec la terre un coefficient de frottement appréciable et avoir une résistance suffisante à la corrosion.

Elles peuvent prendre un grand nombre de formes (plats, fils, grillages, etc.) et les matériaux qui les constituent peuvent être également très divers depuis les métaux jusqu'aux matières plastiques ; les formes et les matériaux employés peuvent varier suivant la nature des ouvrages à réaliser. »

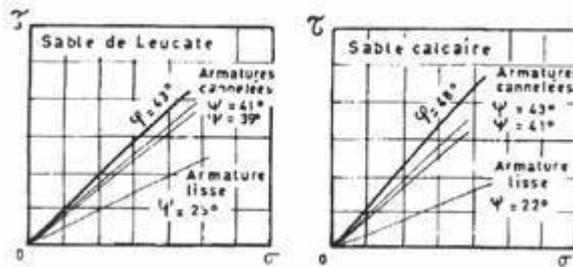
Mais alors ? C'est qu'entre temps de nombreux essais ont été effectués, dans des circonstances naturelles très diverses et des progrès ont été accomplis. Ne nous y trompons d'ailleurs pas, car ces progrès vont tous dans le sens d'une plus grande sécurité et d'une plus grande adaptabilité aux conditions du chantier. Regardons cela d'un peu plus près.

« Pour pouvoir jouer un rôle les armatures doivent être liées à la terre. L'action des armatures sur la terre ne pouvant s'effectuer que par frottement, il est nécessaire de vérifier que ce frottement a bien lieu sans glissement. S'il en est ainsi, tout se passe comme si chaque grain, au contact d'une armature, était réellement enchaîné à son voisin. Lorsque la tension dans une armature reste constante, c'est que cette armature ne cède rien de sa tension à la terre et par conséquent n'a aucune action sur elle. En particulier, elle ne crée aucune liaison entre deux grains voisins. C'est le cas des tirants. Par contre, si la tension d'une armature a pour valeur  $F_1$  à côté et en avant d'un grain et  $F_2$  à côté et après le grain voisin, tout se passe comme si l'armature créait une liaison avec une tension  $F_1 - F_2$  entre les deux grains.

« Parmi les armatures couramment utilisées, examinons le cas de l'aluminium A G 4 ; les armatures se présentent sous la forme de longues bandes de 6 cm de largeur et de 2 mm d'épaisseur. On peut penser améliorer l'adhérence entre la terre et les armatures en modifiant l'état de surface de ces armatures. A cet effet une série d'expériences a été réalisée au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.



« Trois états de surface ont été étudiés : un état de surface lisse et deux états de surface munis de fines cannelures dans le sens transversal de l'armature.



On constate que la présence de cannelures à la surface des armatures permet de mobiliser pratiquement tout le frottement interne du sol et donc d'améliorer considérablement l'adhérence terre-armatures. »

### Et la peau ?

« La première qualité qu'on demande au parement, c'est d'être assez résistant localement pour retenir les grains de terre qui sont compris entre deux armatures voisines, à proximité de la surface. Mais il doit également être assez flexible dans son ensemble pour suivre toutes les déformations du volume en Terre Armée en faisant partie intégrante de celui-ci.

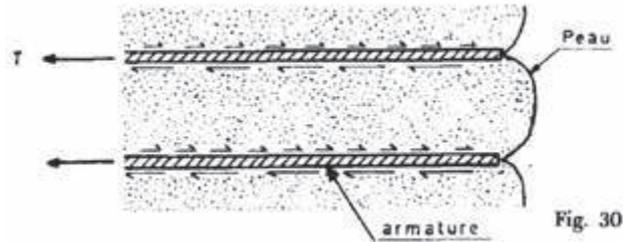
« Si le parement était rigide, il se trouverait forcément en contact avec des éléments extérieurs au corps en Terre Armée (le sol d'appui par exemple), et il transmettrait des forces extérieures supplémentaires importantes très mal connues (qui obligerait à le rigidifier encore davantage) en enlevant complètement à la Terre Armée son caractère de matériau homogène.

« Ainsi les palplanches avec tirants malgré leur gros intérêt, ne sont pas des ouvrages en Terre Armée, d'une part parce que leurs parements sont rigides, d'autre part parce que leurs tirants à tension constante n'ont rien à voir avec des armatures à tension variable qui lient entre eux les grains du massif. Le parement doit donc avoir la propriété particulière d'être assez résistant localement tout en étant flexible dans son ensemble. Il doit avoir un rôle protecteur en résistant suffisamment aux chocs et à l'abrasion ; il doit être d'une matière ou d'une couleur agréables, éventuellement étanche ou drainant, conçu de telle sorte que sa mise en place, ainsi que celle de la terre et des armatures, soient très faciles, et enfin, bien entendu, il doit être peu sensible à la corrosion. »

« Bien sûr, l'idéal serait de pouvoir constituer sur une certaine épaisseur, une zone de Terre Armée, sorte d'épaisse carapace dans laquelle tous les grains seraient effectivement liés les uns aux autres par des armatures. C'est une première solution.

« Une deuxième solution, c'est que la peau soit flexible grâce à des surfaces courbes comme la peau de la plupart des êtres vivants, animaux ou végétaux, et comme les vêtements, souples d'abord dans leur ensemble grâce à de grandes surfaces courbes, et souples à petite échelle par la forme sinusoïdale du derme ou la structure ondulée du fil des tissus.

« L'élément cylindrique demi-elliptique qui a été choisi s'inspire de ce principe. »



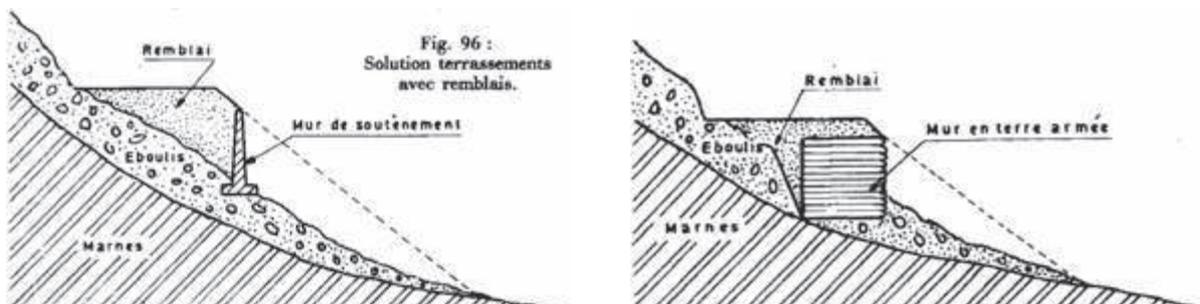
### Les murs en Terre Armée de l'autoroute A 53

« L'autoroute A 53 se développe en arc de cercle autour de Menton, et dans cette zone, elle est accrochée à flanc de montagne au-dessus des habitations. Son tracé dans la première section se situe généralement dans des marnes du miocène recouvertes d'éboulis argileux. Les pentes du terrain naturel sont fortes (20° à 30° d'inclinaison sur l'horizontale) et dans certains endroits très proches de l'équilibre limite.

« La traversée de cette zone pouvait s'envisager avec deux solutions :

1. Soit une solution ouvrage d'art, coûteuse mais apparemment possible. Une difficulté surgissait cependant pour les fondations : il fallait envisager des fondations sur puits et ces derniers risquaient d'être cisailés par des mouvements des éboulis instables.
2. Soit une solution terrassements, moins onéreuse, mais présentant beaucoup plus de difficultés sur le plan de la mécanique des sols.

« C'est alors que l'on a songé à remplacer les murs de soutènement en béton armé, hauts, onéreux, posant de délicats problèmes de fondation, par des murs en Terre Armée, souples, ne créant pas de points durs sur le sol naturel et permettant notamment d'assurer la stabilité générale de façon satisfaisante. Le schéma de principe que présente la figure a été quelque peu modifié suivant les différents profils, soit pour réduire le volume de Terre Armée, soit pour tenir compte de conditions géométriques imposées (voies d'accès à l'autoroute par exemple).



On peut voir ci-contre l'ouvrage terminé, avec un mur de 23 m de haut !



On voit à la lumière de cet article rédigé en commun, à quel point la coopération de l'inventeur-créditeur avec un grand laboratoire technique a permis de réaliser un progrès décisif dans la mise en œuvre pratique de l'invention.

#### **Les brevets, l'International et autres défis**

La rédaction d'un brevet n'est pas chose facile non plus pour un non spécialiste et l'on peut voir que dès sa première demande Henri Vidal a dû faire appel à un bureau spécialisé, le cabinet Lavoix en l'occurrence. Par ailleurs Henri Vidal a eu conscience très tôt que son invention pouvait se révéler aussi utile hors de France que dans notre pays et il prit la précaution de rendre son brevet valable dans de nombreux pays.

Mais l'obtention de brevets représente aussi une dépense non négligeable dans chaque pays et lorsque l'on s'intéresse non seulement à l'Europe, mais aussi aux États-Unis, au Japon et à de nombreux autres pays, le montant devient rapidement insupportable pour un homme seul et sans moyens. Heureusement, Vidal put trouver un accord de coopération intéressant pour les deux parties avec l'Institut Français du Pétrole où travaillait à l'époque un camarade de promotion, André Giraud. En application de cet accord, l'Institut Français du Pétrole pouvait utiliser à sa guise les brevets d'Henri Vidal dans le domaine des ouvrages pétroliers, tandis que Vidal en disposait comme il l'entendait pour tous les autres ouvrages.

Sortir hors de France nécessitait non seulement de faire breveter son invention dans les différents pays, mais aussi de se manifester sur place, de présenter son invention, de faire du « commercial » comme on dit aujourd'hui et surtout de réaliser les commandes éventuellement reçues.

Henri Vidal commença d'abord par les États-Unis en demandant à son camarade de promotion Gérard Godet, qui connaissait ce pays, de l'aider à présenter la Terre Armée, en organisant des réunions avec les services publics américains susceptibles d'être intéressés ; mais c'était à Henri Vidal de venir chaque fois parler en vrai de sa Terre Armée. Puis vint le Japon, grâce, comme on l'a vu, à l'initiative de Kawasaki, et puis le Canada...

Aussi Henri Vidal fut-il amené à passer du stade de l'inventeur- créateur individuel à l'échelle d'une véritable société.

## La phase de développement

### La société Terre Armée, Un vrai bureau d'études

Pendant toutes ces années que nous venons de relater, Henri Vidal, avait été amené déjà à renforcer quelque peu ses moyens consacrés à la Terre Armée et c'est ainsi qu'il avait embauché un projeteur, une secrétaire qui travaillait à cheval sur ses deux activités, et loué un petit bureau à la Défense.

Mais Henri ne consacrait pas tout son temps à la Terre Armée. Il était toujours partenaire d'un bureau d'architectes à Paris et il avait ouvert un autre cabinet d'architectes sur la Côte d'Azur avec l'architecte Yves Bayard. En plus, son esprit était toujours inventif, et il avait déposé d'autres brevets, toujours dans le domaine de la construction, mais en dehors de la Terre Armée, et qui n'ont pas connu le même succès.

Cela ne pouvait durer ainsi, la demande extérieure vis-à-vis de la Terre Armée, imposait de changer de structure.

Henri Vidal se connaissait bien. Il savait ce qui l'intéressait et qu'il faisait bien : la vision des lieux, la conception d'un projet adapté, l'élaboration des variantes possibles, la présentation au client, la relation personnelle, humaine avec ce client. Il savait aussi pertinemment, comme je l'avais constaté avec lui lors de la construction de ma maison, qu'il aimait bien demander à ses collègues du cabinet d'architectes de voir les détails, de négocier les contrats avec les entreprises, de surveiller l'exécution des travaux, de veiller aux comptes.

Aussi est-ce en toute connaissance de cause qu'en 1968 il décida de s'attacher les services d'un véritable adjoint, qui puisse faire le travail qu'il ne savait pas bien faire, et qui le libérerait pour les tâches correspondant à ses talents. Il choisit pour ce faire un ingénieur qu'il connaissait bien parce qu'il l'avait rencontré pendant ses années chez Fougerolle, M. Maurice Darbin, qui avait à son avis les qualités complémentaires aux siennes.

Il est intéressant de voir comment ce dernier raconte<sup>4</sup> sa décision d'accepter ce poste :

« C'est au cours de l'été 68, qu'Henri Vidal me proposa de le rejoindre pour lancer La Terre Armée. Il pensait que le moment était venu de sortir de cette période d'improvisation et de créer un bureau d'études chargé de la prospection, des études et du développement des ouvrages en Terre Armée dans le monde entier. Les revenus dégagés par les ouvrages de l'autoroute Nice-Menton lui permettraient de financer, pendant quelques mois, ce petit bureau, qui comporterait, en outre, un projeteur et une secrétaire à mi-temps. Lui-même souhaitait conserver l'architecture comme activité principale. Il était, cependant, prêt à consacrer le temps et l'énergie nécessaires pour assurer à son invention le succès mondial, dont il rêvait. Et en effet, pendant les premières années, Henri a participé activement à son développement et, en particulier, à la recherche des affaires. Au fur et à mesure que le succès se confirmait, il a pris davantage de recul.

« Henri Vidal n'avait ni patrimoine, ni revenus suffisants pour affecter d'autres ressources à La Terre Armée. Le premier objectif était donc de trouver très vite de nouvelles affaires pour autofinancer le bureau et procurer des revenus complémentaires à l'inventeur.

« Quitter Fougerolle, où j'avais une position intéressante et stable, pour me lancer dans cette aventure attirante mais hasardeuse, ne fut pas une décision facile à prendre. Sur le plan financier, ma situation était saine mais n'incitait pas à prendre de risques inconsidérés : pas de for-

---

4. Document dactylographié intitulé : le lancement de la Terre Armée

tune personnelle ni de mon côté, ni de celui de ma femme ; quatre enfants à charge, un appartement acheté à crédit. Pour compliquer la situation, le Président de Fougerolle eut l'amabilité de me faire des contre-propositions intéressantes, accompagnées d'un plan de carrière dans l'entreprise.

« Outre le charisme et la personnalité de Vidal, l'élément qui joua un rôle déterminant dans mon choix, fut le plaisir de sauter dans l'inconnu, de prendre mon destin en main, de ne plus dépendre d'une grosse organisation. Bien sûr, l'absence de chômage à l'époque facilitait beaucoup un tel pari. Restait le ridicule possible en cas d'échec. Pourvu que ça dure au moins un an, que je n'ai pas l'air trop c... !

« C'est ainsi qu'au début de Janvier 1969, libre de tout engagement, je me lançais dans ce qui allait devenir une aventure passionnante ! »

### **Les soucis financiers**

Ce qui frappe dans le récit de Maurice Darbin pour l'année 1969, c'est l'impression d'insécurité financière, car il insiste sur la nécessité de trouver très vite d'autres affaires. « Les chantiers en commande permettaient de faire vivre le bureau pendant cinq ou six mois. C'était court, d'autant plus court qu'une affaire demande souvent plusieurs mois de préparation »

Rien que cette remarque montre la transformation survenue depuis qu'Henri Vidal avait commencé à préparer son invention dans sa cuisine et à essayer de la vendre à des clients sans autre « dossier » que sa parole !

Mais regardons de plus près ce dont il s'agit, en lisant encore quelques extraits :

« Les perspectives à moyen terme semblaient plutôt favorables malgré nos handicaps, mais nous n'avions pas assez de commandes pour passer l'automne de 1969 et le début de 1970. Le problème était aggravé par l'augmentation des dépenses du bureau. Pour préparer gratuitement les avant-projets, suivre les petits chantiers, organiser les conférences et les voyages (se souvient-on qu'à cette époque, joindre la province par téléphone, et spécialement Nice où se situait notre activité principale, demandait des heures et une patience angélique, car les lignes étaient toujours surchargées !), il nous avait bien fallu engager, dès le mois de Mars, un deuxième projeteur et une secrétaire bilingue à plein temps. Finalement, nous avons réussi à passer l'automne 1969 et les premiers mois de 1970, avec l'aide de petits contrats obtenus ça et là, et surtout, grâce à un ouvrage plus important, le merlon de l'Île Longue à Brest, qui, à lui seul, finançait les dépenses du bureau pendant 4 mois.

« A titre anecdotique, il est intéressant de revenir sur la façon dont nous avons obtenu ce contrat providentiel de l'Île Longue. Ce merlon de protection était un des derniers ouvrages que devait construire l'entreprise de génie civil, sur la base des sous-marins nucléaires près de Brest. Nous avons préparé une variante pour ce merlon qui devait être fondé sur des remblais récents réalisés sous l'eau. Les conditions étaient donc favorables pour La Terre Armée. L'ingénieur des Ponts et Chaussées, qui assurait la maîtrise d'œuvre, était très intéressé. Par contre, l'entrepreneur en charge des travaux était hostile à notre solution, par peur des nouveautés, mais surtout, parce qu'il était convaincu que la solution de base, pleine d'aléas, lui rapporterait davantage. Finalement la décision ne pouvant plus être différée, le Maître d'œuvre organisa une réunion finale, où étaient convoqués l'entrepreneur et un représentant de La Terre Armée ; réunion fixée à Brest, vers 15 heures. Avec son charisme et son prestige d'inventeur, Henri était le mieux placé pour emporter l'affaire et nous sortir de nos problèmes angoissants de trésorerie. Que pensez vous que fit Henri en arrivant à Brest, en fin de matinée ? Il alla, tout seul,

faire un bon déjeuner dans le meilleur restaurant de la ville. Puis, il se rendit sereinement à la réunion et emporta l'affaire ! »

### Les améliorations techniques

Il est clair qu'une solution nouvelle, qui n'avait que trois ou quatre ans derrière elle, et seulement un petit nombre de réalisations, ne pouvait progresser réellement et même subsister, qu'en s'adaptant sans cesse aux essais et calculs de laboratoire, aux leçons des chantiers et aux réactions des clients.

Voici comment Maurice Darbin raconte les insuffisances qu'il fallait corriger en 1969, à son arrivée à la Terre Armée :

« La publicité, le marketing et les relations commerciales, ont toujours attiré Vidal. Il avait pris soin de maintenir son film à jour, introduisant, au fur et à mesure, de nouvelles séquences présentant chaque ouvrage réalisé, ainsi que les essais effectués en laboratoire ou en vraie grandeur par l'administration. Ce film, de près d'une heure, qui exposait très bien la théorie de La Terre Armée, les essais, les ouvrages réalisés, les applications possibles, était un remarquable outil de promotion. Pour trouver des affaires, nous avons organisé une série de conférences (projection du film suivi d'un débat) dans les bureaux de nos clients potentiels: Directions départementales et services centraux des Ponts et Chaussées, services de l'équipement, de l'EdF et de la SNCF, services techniques de l'armée, bureaux d'études, entrepreneurs...

« A cette époque, nos ouvrages comportaient une peau, constituée d'éléments en acier galvanisé ou en alliage d'aluminium obtenus par profilage à froid, et des armatures métalliques lisses, boulonnées sur les éléments de peau. Leur fabrication, confiée à la Société Profilafroid, était bien rodée mais il fallait améliorer, de toute urgence, cette technologie qui avait deux défauts majeurs :

« *L'aspect médiocre des ouvrages*: la peau métallique, acceptable en zone rurale ou industrielle, n'était pas adaptée au milieu urbain. Or, en cette fin des années 60, les contournements et voies d'accès rapides des villes commençaient à se développer et à constituer un marché important pour les murs de soutènement. Le respect de l'environnement et la recherche de l'esthétique prenaient, en même temps, de plus en plus d'importance.

« *Le prix des ouvrages*: il restait trop élevé, comparé à celui des ouvrages traditionnels, en raison du coût de cette peau métallique. L'économie n'était significative que pour les murs de grande hauteur (hélas peu nombreux !) et pour ceux fondés sur des sols compressibles ou sur des pentes peu stables.

« Ces 2 points faibles entravaient notre développement. Il devenait donc très urgent, de modifier la technologie de La Terre Armée, pour améliorer l'aspect et réduire le coût des ouvrages, sans pour autant relâcher l'effort commercial.

« Dès le début de l'été 69, j'étais en mesure de proposer à Henri une peau, formée de panneaux en béton, qui étaient articulés les uns aux autres et séparés par des joints compressibles. Cette peau, suffisamment souple pour s'adapter aux tassements du remblai et du sous-sol, ne nécessitait aucun étalement pendant la construction des ouvrages. Avec ses talents d'architecte, Henri modifia un peu la forme des panneaux pour en améliorer l'aspect, puis déposa un nouveau brevet en Août 1969. »

## La nouvelle peau.

Voici des extraits de ce brevet :

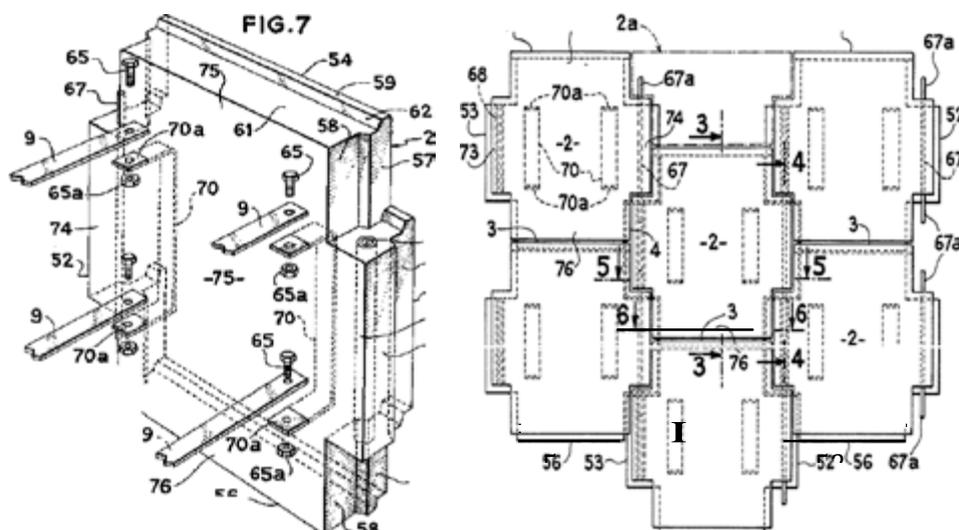
« La présente invention a pour objet une peau composée d'éléments en forme de plaque pour l'habillage de la surface libre de la masse de particules d'un ouvrage en Terre Armée comportant des armatures noyées dans la masse.

« Dans sa structure type un ouvrage en Terre Armée comporte une masse de particules normalement extraites du sol naturel dans laquelle sont noyées des armatures qui, par frottement avec les grains, assurent la stabilité de l'ouvrage dont la surface libre est habillée d'une peau, dépourvue de rigidité, pour la retenue des particules voisines de la surface libre, qui, de ce fait, sont peu sensibles à l'action de frottement des armatures.

« Dans les ouvrages les plus usuels en Terre Armée la peau est constituée par des éléments profilés en forme de U empilés les uns sur les autres par contact de leurs ailes adjacentes.

« La peau faisant l'objet de l'invention est caractérisée en ce qu'un certain nombre au moins des éléments sont fixés à l'extrémité d'armatures, et en ce que, entre les bords des éléments adjacents, sont formés des joints comportant des moyens destinés à assurer l'étanchéité à l'égard des particules et tels que les éléments puissent subir des déplacements relatifs pour que la peau ait une certaine souplesse.

Nota : les armatures portent le n° 9 ; les tringles qui relient les plaques portent le n° 67.

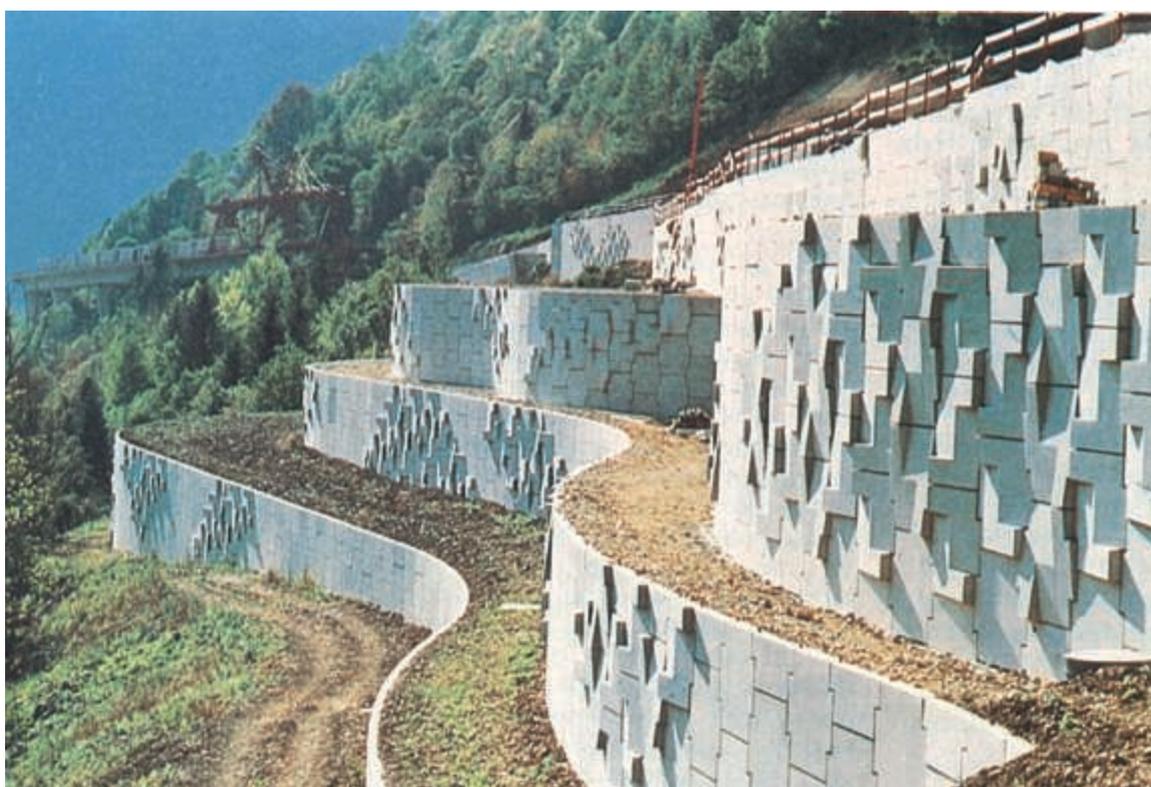


« Les moyens d'étanchéité peuvent être obtenus grâce à une forme appropriée des bords adjacents des plaques. Ils peuvent aussi comporter des bandes ou profils qui sont, soit disposés directement dans l'épaisseur des joints, soit insérés dans des rainures ou feuillures des plaques.

« La forme donnée aux éléments de peau a l'avantage de permettre une exécution plus légère et une plus grande facilité de manutention. De plus, les éléments peuvent être exécutés sur place en béton ou en béton armé, ce qui, dans certains cas, peut donner lieu à une exécution plus économique.

« On peut ajouter qu'en l'absence de dimension prédominante, les éléments se prêtent mieux à l'habillage d'une surface complexe, par exemple une surface à courbure multiple. Enfin, les éléments peuvent créer des effets architecturaux en raison de leur exécution dans le style d'une mosaïque. »

La photo ci-après montre un ouvrage réalisé beaucoup plus tard mais qui illustre bien ce qu'Henri Vidal avait en tête lorsqu'il écrivait cette phrase du brevet relative aux effets architecturaux.



*Autoroute A 40*

### **Quelques « aventures » hors de France.**

Comme indiqué déjà plus haut, Henri Vidal ne pouvait concevoir que son invention soit limitée à la France, il avait mesuré l'importance prise dès les années 1960' par la coopération internationale dans beaucoup de domaines et avait bien compris que se limiter à la France aurait ouvert un boulevard à la concurrence et aurait ruiné son initiative. Il prit donc ses brevets dans de nombreux pays dès le premier de ses brevets. Et permettez-moi d'ajouter pour l'anecdote que j'ai pris le texte du brevet sur la nouvelle peau en plaques sur le texte suisse, plus facilement accessible par internet à l'INPI que le brevet français !

Mais, je dois dire que j'ai toujours eu l'impression qu'Henri Vidal était guidé par un motif bien plus profond que la précaution de protéger ses brevets : c'était sa conviction que son activité se déroulait dans le monde perçu comme une seule entité, sans distinguer la France d'un côté et l'international de l'autre, même si chaque pays avait ses « traditions » propres, auxquelles il fallait s'adapter.

## Le développement vu par le gestionnaire

L'usage de la Terre Armée s'est beaucoup développé en France à partir de 1971, selon Maurice Darbin, du fait que le Président Pompidou avait décidé d'accélérer la construction des autoroutes de liaison et des voies rapides en zone urbaine. La technique était prête et les commandes atteignirent rapidement le chiffre annuel de 80.000 m<sup>2</sup> de parement.

Dans cette évolution, M. Darbin évoque plus particulièrement le cas de la voie rapide entre Saint Denis et le port, dans l'île de la Réunion, qui présente effectivement des conditions de conception technique particulières, et permet en outre une vision des difficultés financières que peuvent rencontrer des entreprises débutantes.

« La route existante, étroite et sinueuse, était coincée entre la mer et des falaises abruptes, d'où se détachaient des blocs qui causaient régulièrement de graves accidents. Le projet prévoyait une nouvelle route, plus large et plus rapide, dont le tracé restait à l'écart des falaises, pour éviter ce risque.

« Ce faisant, la plate forme de la chaussée empiétait dans la mer et se trouvait ainsi exposée à des tempêtes redoutables pendant la saison des cyclones. Il fallait donc protéger la route, à l'aide d'une carapace en tétrapodes. Comme le fond de la mer a une pente relativement forte dans cette zone, nous avons proposé de limiter l'emprise des remblais sur la mer, par un massif en Terre Armée. Cette disposition permettait de réduire sensiblement le volume des tétrapodes et donc le coût total de l'ouvrage.

« Le massif en Terre Armée n'était pas très haut (7 mètres environ), mais il avait onze kilomètres de longueur!!! Nous avons trouvé un sous-traitant pour fabriquer les plaques dans l'île. Par contre, les coffrages, les accessoires spéciaux des plaques et les armatures devaient être fabriqués en métropole et transportés à La Réunion par bateau. Le contrat prévoyait la fourniture d'armatures crénelées constituées par un alliage d'aluminium et de magnésium, spécialement mis au point par Pechiney pour les environnements marins. Un de nos ingénieurs, détaché sur le chantier pendant les travaux, assurait le contrôle de la fabrication des plaques et l'assistance technique pour le montage. »

Tout s'est bien passé, comme on peut le voir sur la photo page 70 ci-après.

Mais le chantier a failli ne pas voir le jour à cause du refus des grandes banques françaises d'ouvrir la ligne de crédit de 5 millions de francs de l'époque qui était indispensable pour lancer les fabrications. Heureusement la filiale française à Paris de la Banque Canadienne Nationale, informée par les correspondants canadiens de la Terre Armée, a bien voulu ouvrir cette ligne à des conditions somme toute raisonnables, mais qui comportaient la signature de garanties personnelles basées sur les deux appartements de Vidal et de Darbin ! Rien n'est simple pour les inventeurs créateurs !

En fin de compte on peut dire que le développement rapide des activités en France dans ces années 1970, a permis à la Terre Armée de se financer correctement et de se développer à l'étranger.

### L'Amérique du Nord.

Comme nous l'avions déjà évoqué plus haut, Henri Vidal avait demandé dès le milieu des années 1960, à son camarade de promotion Gérard Godet, de prospecter les États-Unis et le Québec, pays qu'il connaissait bien. Il a pu ainsi rencontrer des responsables des services publics américains et canadiens, leur parler de la Terre Armée et faire venir Henri Vidal pour aller plus avant dans la recherche d'occasions de contrats.

Et l'une des premières possibilités de contrat s'est offerte au Québec, en Gaspésie, sur la péninsule qui constitue la rive sud du fleuve Saint Laurent. Il s'agissait de deux murs de soutènement, fondés sur des remblais récents, où la Terre Armée était bien adaptée. La solution proposée intéressait le client sur le plan technique et financier, mais était trop complexe pour lui d'un point de vue administratif et juridique. En effet la Terre Armée ne disposait pas encore de société dans ce pays alors que le client exigeait de n'avoir à passer qu'une seule commande à une société de droit canadien. Et M. Darbin précise: « Comme le client devait prendre une décision très rapidement, il me laissait trois jours pour résoudre ce problème! Il faut se rappeler qu'à cette époque les sorties de capitaux étaient soumises en France à un contrôle rigoureux. Créer une société à l'étranger à capitaux français était difficile et très long. Sur le conseil d'un ami local de Gérard Godet, j'allais voir Maître Raymond Lettes, avocat d'affaires à Montréal, qui m'indiqua qu'il pouvait enregistrer pour le lendemain une société commerciale canadienne avec un capital de 20 dollars que je pouvais verser en liquide » Ainsi fut fait. La « Société Terre Armée Inc. » fut créée et le premier ouvrage en Terre Armée en Amérique du Nord put être réalisé.

Le démarrage aux États-Unis ne fut pas non plus exempt de péripéties diverses. Sur le fond, les premiers contacts pris par G. Godet montraient les possibilités qui s'offraient aux solutions proposées par la Terre Armée et également l'intérêt porté à ces solutions par un certain nombre de responsables des services publics des différents États. Il lui apparut cependant que la Californie était peut-être celui où il était le plus intéressant de consacrer les premiers efforts et c'est là qu'il commença à chercher dès 1969 un représentant permanent pas trop onéreux. Comme Henri Vidal me le raconta plus tard, ils trouvèrent avec G. Godet un homme qui leur parut dynamique et actif, et ils passèrent un contrat de représentation avec lui. Et quelque temps plus tard, ils reçurent de ce représentant une facture couvrant le déplacement de Californie à New York, non seulement de lui-même, invité à une rencontre professionnelle, mais aussi de sa femme, et même de son cheval, emmené pour participer à une course!!!

Plus efficaces, heureusement, furent deux autres rencontres :

D'abord celle avec un avocat qui avait monté une petite société, DGA, très dynamique, spécialisée dans l'introduction de produits ou sociétés étrangères aux États-Unis. Un accord fut conclu avec elle et se révéla très positif. A noter que la société DGA fut chargée plus tard d'aider Air France pour l'atterrissage du Concorde à New York. Mais il fallait aussi à la Terre Armée un représentant dédié et après quelques recherches le choix tomba sur M. David Mac Kittrick qui se montra actif et efficace.

Ensuite celle qui eut lieu lors de la présentation du film sur la Terre Armée dans les bureaux de l'administration fédérale des autoroutes. Davis Getney, directeur du service géotechnique et fondations, fut séduit par les possibilités qu'offrait la Terre Armée pour les ouvrages de soutènement sur sols compressibles et dans les zones peu stables. Henri Vidal l'invita en France visiter le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, rencontrer F. Schlosser et voir tous les résultats de leurs recherches, sans oublier les ouvrages réalisés.

Peu après, D. Getney a obtenu l'accord de l'Administration Fédérale des Autoroutes pour financer un programme de démonstration concernant la Terre Armée. Ce programme prévoyait d'utiliser la Terre Armée pour remplacer certains ouvrages traditionnels dans des projets en cours ou à réaliser rapidement. Ce programme expérimental s'est terminé en 1976. Les ouvrages de démonstration s'étaient bien comportés et la Terre Armée fut désormais acceptée sans restriction pour la réalisation d'ouvrages publics.

Entre temps la société The Reinforced Earth Company (RECO) avait été créée. Et le dynamisme de Mac Kittrick, le soutien de l'Administration, l'appui de DGA et l'appui de Paris permirent un développement rapide de la Terre Armée, qui ouvrit progressivement une dizaine de bureaux régionaux et devint la plus grosse société du groupe. Un vrai succès, même si, comme le souligne M. Darbin, «entre les premiers contacts de

G. Godet en 1968 et les premiers gains aux USA en 1975, il s'était passé sept années et il avait fallu beaucoup d'efforts et d'argent. »

### **L'Espagne.**

J'avais déjeuné un jour en plein cœur de Madrid avec Henri et Jacques Deschamps, le patron de Tierra Armada, mais je préfère laisser la parole à Maurice DARBIN, qui vécut cette aventure dès son début.

« Notre implantation en Espagne, dit-il, nous fut apportée sur un plateau, sans effort de prospection de notre part. Elle allait, en outre, nous servir de point de départ pour prospecter les autres grands pays de langues espagnole et portugaise.

« Tout commença par une visite de Jacques Deschamps dans nos bureaux au printemps 1971. Ingénieur français il vivait depuis 7 OU 8 ans à Madrid, où il dirigeait la filiale espagnole d'Intrafor Cofor. L'administration espagnole venait de lancer un appel d'offres pour la construction d'un mur de soutènement aux Canaries sur des pentes peu stables. Ayant assisté récemment à la présentation de notre film au cours d'une conférence donnée à Madrid, Jacques avait immédiatement pensé que La Terre Armée était bien adaptée à ce projet. Il venait donc nous consulter à Paris. Effectivement, notre variante s'avérait très avantageuse. Notre proposition, appuyée par Jacques Deschamps auprès de l'Administration espagnole, fut retenue et l'ouvrage réalisé dans le courant de l'année.

« Jacques était parfaitement intégré en Espagne, où il se sentait chez lui. Il avait une bonne réputation auprès de l'administration, qu'il connaissait bien. Au cours de cette année 71, nous avons pu apprécier ses qualités et, notamment, son énergie exceptionnelle pour lancer les affaires, ouvrir les portes, trouver des opportunités. Comme il était très enthousiaste à l'idée de lancer la Terre Armée en Espagne, un accord fut rapidement trouvé entre nous pour qu'il nous rejoigne en qualité de Directeur de la nouvelle société que nous allions créer en Espagne dès son arrivée.

« J. Deschamps nous a rejoints au début du printemps 72. Nous avons immédiatement créé la société espagnole - Tierra Armada S.A.- et J. Deschamps a commencé, avec l'aide de sa femme, à préparer des brochures et des documents en espagnol, à prendre des contacts commerciaux et à signer les premiers contrats. Dans les premières années, les services techniques (études, assistance technique) étaient assurés depuis la France, puis rapidement la société locale s'étouffa et devint autonome. La réussite fut si rapide, que cette filiale équilibra ses comptes en 72 et commença à faire des bénéfices dès 1973.

« Favorisée par le lancement des premières autoroutes à péage dans le Pays Basque, par la volonté du gouvernement espagnol de rattraper un retard énorme en matière d'équipement routier, par le relief accidenté du pays, notre activité en Espagne allait connaître un essor rapide et durable. L'énergie inlassable de Jacques, son habileté et sa connaissance du pays faisaient merveille. Lancée avec des capitaux insignifiants, cette filiale allait rapidement aider la société française à financer les recherches et les investissements liés au développement international.

« La transition entre l'ère de Franco et l'établissement de la République, la dévaluation de la peseta allaient bien occasionner quelques passages difficiles. Mais, dès le retour au calme, la volonté générale de moderniser l'Espagne et de rattraper les retards accumulés depuis la guerre civile, allait transformer ce pays en un immense chantier de construction de routes et autoroutes. »

Et la Terre Armée, magnifique invention, servie par un homme actif, allait vite se développer dans ce pays aussi.

## Le Japon

Vers 1970, le Japon était dans une phase de développement très rapide mais le niveau de vie de la population était encore loin de celui des pays occidentaux. Les besoins en infrastructures publiques (routes, voies ferrées, aménagements urbains...) étaient considérables.

Comme on l'a vu plus haut, la société Kawasaki Steel Corporation, un des plus gros aciéristes du Japon, avait fait savoir à Henri Vidal qu'elle était très intéressée par la fabrication des peaux métalliques et des armatures pour la Terre Armée au Japon. Ils avaient en outre réussi à convaincre les Chemins de Fer Japonais de construire un mur d'essai pour analyser le comportement de la Terre Armée sous l'effet des vibrations et des secousses sismiques, et de réaliser quelques premiers ouvrages sous voie ferrée à titre expérimental. Il fallait réagir rapidement pour ne pas être débordés.

Nous avons envisagé d'abord de créer notre propre société d'exploitation au Japon, mais nous avons eu droit à trois déconvenues :

- première déconvenue : tous les ingénieurs, même les plus médiocres, étaient employés à vie par d'importantes sociétés japonaises et n'envisageaient pas une minute de changer d'employeur
- deuxième déconvenue : bien que leur pays soit déjà bien lancé dans le commerce international, nous allions vite découvrir que la très grande majorité des Japonais ne comprenait pas l'anglais (encore moins le français, bien sur) et ceci, aussi bien dans l'administration que dans les entreprises privées, fussent-elles internationales.
- troisième déconvenue : pour les premiers ouvrages, nous souhaitions pouvoir importer de l'acier depuis la France, pour éviter les prix exorbitants que nous proposait localement Kawasaki Steel ou du moins, pour être en mesure de discuter leur prix. Nous avons donc pris contact avec le service japonais des douanes pour connaître les droits à payer. La réponse fut catégorique, réitérée avec le même sourire à chacune de nos questions : il n'est pas possible d'importer de l'acier au Japon !

Encouragés par un conseiller français, Monsieur Dolle, qui connaissait bien le milieu d'affaires japonais, nous avons pu lancer, malgré tout, notre petite société et construire quelques ouvrages en utilisant l'acier de Kawasaki Steel.

Mais il devint rapidement évident que notre organisation n'était pas à l'échelle du Japon et que nous n'étions pas crédibles vis à vis de l'administration. Celle-ci a l'habitude de travailler avec de grosses sociétés locales qui offrent toutes les garanties financières souhaitables. Après en avoir débattu avec Monsieur Dolle, nous avons décidé d'abandonner cette approche et de prendre un licencié local. C'était faire une exception à la règle que nous nous étions fixée, de garder le contrôle direct de l'exploitation du procédé. Avec le recul, il est évident que ce fut une de nos décisions les plus sages.

Nous avons rapidement préparé un dossier d'appel d'offres pour choisir le licencié qui nous paraissait le mieux adapté.

Et nous nous sommes retrouvés avec 2 offres excellentes, celle de Sumitomo et celle d'une filiale de Kawasaki. Henri et moi avions tendance à donner la préférence à Kawasaki, qui avait été la première société japonaise à s'intéresser à la Terre Armée.

L'offre de Sumitomo n'en demeurait pas moins excellente et démontrait de leur part un très grand intérêt pour notre procédé. Monsieur Dolle nous fit remarquer qu'en rejetant leur offre, nous allions faire perdre

la face, sinon à Sumitomo, du moins à toute l'équipe qui avait réalisé ce très bon travail : « Au Japon, ça ne se fait pas ! ». Finalement, nous avons décidé avec Henri, et ce avec l'accord des intéressés, de conserver 2 licenciés en adaptant les conditions de l'accord à cette nouvelle donne. Avec le recul, il s'est avéré que cette décision, prise pour se conformer aux coutumes japonaises, a été extrêmement bénéfique pour nous.

Ces accords de licence ont été signés en 1974. Comme pour la plupart des grands marchés, le développement de la Terre Armée au Japon a été relativement lent mais régulier. Une dizaine d'années après la signature de l'accord, les ventes de Terre Armée au Japon étaient, en volume, 2 fois plus importantes qu'en France !

### **La Grande Bretagne et la défense des brevets**

Henri Vidal avait bien entendu pris les brevets en Grande Bretagne et il fut tout surpris de constater en 1974 qu'un ingénieur régional du Département des Transports britannique avait réalisé un petit ouvrage en Terre Armée, qui entraînait manifestement dans le domaine des brevets déposés. Après des tentatives multiples d'aboutir à un arrangement amiable, Henri dut se résoudre à saisir la justice anglaise et, ce faisant, à « porter plainte contre la Couronne », comme on dit là bas.

Les habitudes judiciaires anglaises sont très différentes des nôtres et je me souviens de l'impression ressentie par Henri Vidal au cours de l'instruction et des procès... Maurice Darbin évoque longuement cette expérience dans ses souvenirs dont je trouve intéressant de citer ici l'extrait suivant :

« Témoigner dans un procès anglais est une expérience marquante. L'ambiance, la solennité des débats, l'interrogatoire au cours duquel vous êtes livré au « barrister » adverse, l'importance de l'enjeu, tous ces éléments se combinent pour créer une tension extrême. De la part d'un témoin, la cour attend la vérité, toute la vérité, rien que la vérité, suivant la formule consacrée. En Grande Bretagne, nous entrons là dans le domaine, si difficile à comprendre pour nous, du fair-play anglais. Qu'un témoin dévoile des comportements ou des actes inélegants et répréhensibles ne provoque aucun émoi dans le prétoire ; par contre, essayer de les dissimuler au tribunal, serait considéré comme parfaitement scandaleux de l'autre côté de la Manche.

« C'est ainsi que dans notre procès contre la couronne, il est apparu que le Directeur des Routes de Grande Bretagne était venu visiter les ouvrages en Terre Armée de l'autoroute Nice – Menton en 1970 ou 71. Il en était revenu très intéressé et avait fait une note manuscrite, distribuée à ses adjoints directs pour les pousser à essayer cette technique. Il y indiquait en outre que l'administration anglaise devait pouvoir se dispenser de verser des redevances à l'inventeur français ! Or, pendant la préparation du procès, une copie de ce document nous a été remise par les services de ce même Directeur des Routes, qui était toujours en fonction ! Une telle pièce, conservée dans les archives, ne pouvait être ni détruite, ni cachée ; c'est contraire à l'éthique anglaise !!! »

Et M. Darbin de se demander si, au cas où l'affaire se serait déroulée en France, une telle note aurait été remise par l'administration française à la partie adverse ? !

« En pratique, peu de temps avant l'ouverture du procès contre la couronne, un accord a pu être trouvé avec le Directeur des Routes de Grande Bretagne. Moyennant paiement d'une somme forfaitaire assez modeste, l'Administration anglaise obtenait une licence d'utilisation de la Terre Armée pour tous les ouvrages financés par la Couronne. Cela nous a évité une confrontation avec notre plus gros client et nous a effectivement permis de relancer l'activité dans le pays. Le procès contre la couronne fut remplacé par une demande d'extension de la validité des brevets principaux. Cette démarche était désormais possible car la Grande Bre-

tagne venait d'adopter les règles internationales concernant la durée des brevets, avec possibilité d'application rétroactive aux brevets récents accordés sous l'ancien système. L'attitude de l'administration anglaise qui avait retardé de 5 ou 6 ans notre développement local nous donnait un bon argument pour demander une telle extension. Là encore, ce fut à la justice de décider en statuant sur la validité des brevets et sur le bien fondé d'une telle demande. Et nous obtînmes gain de cause. »

### **Henri Vidal, l'architecte**

Il ne faut pas oublier non plus le fait que pendant toutes ces années, Henri Vidal consacrait beaucoup de son temps à l'architecture, en association dans deux ou trois cabinets. Je ne décrirai que deux réalisations, toutes deux menées en commun avec son associé Yves Bayard et toutes deux implantées à Nice :

1. Les « jardins suspendus » du Paillon est le surnom attribué à la couverture du Paillon, rivière qui traverse la ville de Nice, conçue par Bayard et Vidal, et réalisée à partir de 1973. La structure mixte, faite de poutrelles et de poteaux en acier, soutient des planchers et surtout des jardinières extérieures en béton, en général inclinées. Au premier étage du bâtiment du parking, on trouve des bureaux cachés dans la structure, dévolus à la municipalité, à des associations et même au tribunal des prud'hommes. Le toit relié par une large passerelle couvre aussi bien le parking que la gare routière attenante : terrains de basket-ball, de handball et d'athlétisme sont entourés d'arbres et de plantes. Ces jardins viennent d'être remplacés par la « coulée verte ».



2. Le Musée d'Art Moderne et d'Art Contemporain de Nice, conçu également par Bayard et Vidal a été construit en 1990 dans le prolongement de la couverture du Paillon, entre la gare routière et le palais des congrès Acropolis. Le bâtiment fait partie d'un ensemble appelé «Promenade des Arts», constitué d'un théâtre, d'un musée et d'une bibliothèque. Sorte d'arc tétrapode à cheval sur le cours du Paillon, il relie à la foi le quartier du port et la vieille ville aux quartiers qui se sont développés au-delà du Paillon aux XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles ainsi que le musée au théâtre et à la bibliothèque.



Mais n'oublions pas quand même ses projets menés en région parisienne avec l'architecte Jenkins et ceux menés jusqu'en Arabie Saoudite avec son associé franco-américain, l'architecte Richard Ferrer.

En novembre 1986, Henri Vidal publia dans la « Revue générale des routes et des aérodromes » un article qui s'intitulait : la petite histoire de la Terre Armée dans laquelle il décrivait en détail le chemin parcouru. Je ne puis faire mieux que de lui laisser la parole, tellement cet article décrit bien les difficultés et les réussites de son invention.

## La petite histoire de la Terre Armée

*Par Henri Vidal*

Le chemin parcouru, c'est d'abord la construction depuis 1968 de plus de dix mille ouvrages représentant plus de cinq millions de mètres carrés de parements. Actuellement trois ouvrages en Terre Armée entrent en service chaque jour quelque part dans le monde. L'une des principales caractéristiques du succès de la Terre Armée est en effet son expansion mondiale : si la Terre Armée s'était limitée au marché français, elle serait relativement petite ; en s'étendant au marché mondial, elle est devenue vingt fois plus grande, avec un chiffre d'affaires de l'ordre de 100 millions de dollars et sa force réside dans le dynamisme de ses équipes, dans ses implantations et dans sa haute technicité.

Trente sociétés ont été créées dans le monde, des sociétés présentes dans tous les pays industrialisés avec une excellente pénétration du marché : leur activité est approximativement proportionnelle au produit national brut de ces pays : ainsi les États-Unis viennent en tête avec un tiers du chiffre d'affaires total, puis le Japon, les pays d'Europe, le Canada, l'Australie, l'Amérique latine, etc.

### La théorie, les calculs et leur vérification

Le temps est révolu où un expert mondialement connu en mécanique des sols prétendait que la Terre armée ne pouvait pas marcher. En réalité, la théorie élaborée il y a trente ans s'est parfaitement bien confirmée, et il est remarquable de constater que sur dix mille ouvrages exécutés, il n'y ait pas eu un seul incident ou accident qui provienne d'une erreur théorique sur le fonctionnement de la Terre Armée.

Les principes appliqués au début restent parfaitement valables aujourd'hui. Les calculs se sont par contre un peu compliqués au cours des années. Seules les expérimentations sur modèles réduits ont été décevantes, même si elles ont permis au début une vérification d'ensemble des phénomènes.

En réalité, des données et des lois précises n'ont pu être obtenues qu'en instrumentant de nombreux ouvrages réels ; ce que nous avons fait un peu partout dans le monde. Ce sont ces résultats, regroupés, comparés et analysés qui sont à la base des calculs de dimensionnement des ouvrages. En même temps, nous avons bâti des modèles de calcul, basés sur les éléments finis, à partir du programme Rosalie du Laboratoire central des Ponts et Chaussées (LCPC). Nous avons veillé constamment pendant l'élaboration des programmes adaptés au cas de la Terre Armée à vérifier qu'on retrouvait bien les résultats expérimentaux obtenus sur les ouvrages réels. Une de nos équipes internationales d'informaticiens a travaillé pendant quatre ans sur la mise au point de ces modèles aux éléments finis, ainsi que sur les calculs et l'interprétation des résultats de plus de cinquante modèles différents, testés souvent sous quatre ou cinq cas de charge successifs.

Les mesures en vraie grandeur, complétées et prolongées par ces modèles théoriques, ont permis de préparer des programmes de calcul courants qui s'appliquent aux différents types d'ouvrages : massifs de soutènement, culées de pont, murs inclinés, radiers, etc. et qui sont utilisés de façon homogène par toutes les sociétés dans le monde.

Citons également, comme exemple d'études réparties entre plusieurs pays, les recherches concernant l'effet des séismes sur la Terre Armée, effectuées d'abord par les sociétés française et américaine (murs soumis à des vibrations et à des explosions). Elles ont été complétées au Japon (massifs construits sur table vibrante...) et enfin sanctionnées par l'excellent comportement de tous les ouvrages qui ont effectivement subi des tremblements de terre (Japon, Italie du Nord...). Ces recherches sont actuellement précisées par une étude aux éléments finis en phase dynamique grâce au programme américain « Superflush ». On voit ainsi tout l'intérêt de cette coopération internationale entre les diverses sociétés Terre Armée aussi bien pour les recherches théoriques que pour les recherches technologiques dont je parlerai plus loin. La société Terre Armée Internationale organise la coopération entre les différentes sociétés, répartit les tâches suivant les besoins, les moyens et les compétences et redistribue l'ensemble des informations et des résultats à tous les pays du monde.

## La Technologie – Les matériaux utilisés

### La terre

Au cours des années, les caractéristiques mécaniques de la terre utilisable dans les conditions pratiques courantes ont peu évolué. La proportion d'argile ne dépasse pas certaines limites, même s'il reste possible de faire des études plus précises, cas par cas, quand les limites classiques sont dépassées.



Il y a lieu d'être très prudent dans ce domaine et de ne pas suivre ceux qui prétendent, par exemple, qu'on peut utiliser des argiles avec des renforcements en nappes. Dans les conditions usuelles de chantier, la mise en œuvre, le compactage et la stabilité des remblais de matériaux fins, renforcés ou non, reste toujours critique.

Par contre, de gros progrès ont été faits dans la définition des critères chimiques et électrochimiques des sols de façon à éviter aux armatures des corrosions qui dépasseraient les normes fixées.

Ainsi les remblais de Terre Armée sont ils systématiquement analysés, suivant une procédure bien précise, établie en collaboration étroite avec le LCP.

## Les armatures en acier galvanisé

Dès le début, nous avons utilisé des armatures en acier galvanisé, en général sous forme de plats, éventuellement sous forme de grillages (le deuxième ouvrage réalisé en 1965 était armé de grillages).

Au début, ces plats étaient lisses. A partir de 1976, à la suite d'un programme de vérification en grandeur nature dans notre station d'essais de Madrid, nous avons adopté les armatures nervurées, à haute adhérence, qui ont eu pour conséquence de doubler les coefficients de frottement terre-armature. Cela a permis de s'orienter vers des armatures un peu moins larges, mais relativement épaisses, adoptées maintenant dans le monde entier.



Plus récemment, nos recherches ont abouti à la possibilité de fabriquer industriellement des armatures d'épaisseur variable, sans aucune soudure, qui peuvent être percées à leur extrémité sans aucun affaiblissement de la section utile au point d'accrochage du parement. La durabilité des aciers galvanisés enterrés était déjà bien connue, grâce en particulier aux essais et aux contrôles effectués aux États-Unis sur des durées de l'ordre de quarante ans. C'est pourquoi nous les avons adoptés tout de suite.

Ces essais, qui précèdent de loin la Terre Armée, en particulier dans le cas des buses métalliques, avaient conduit à des lois concernant l'évolution de la corrosion des aciers galvanisés enterrés en fonction du temps. Ils avaient montré que cette corrosion s'effectuait lentement, de façon assez uniforme, et que sa vitesse s'atténuait avec le temps. On pouvait donc en faire une prévision réaliste.



Tous les ouvrages sont construits pour une certaine durée de service. Pour les travaux publics, les règlements imposent des limites variant entre soixante et cent vingt ans suivant les pays et les types et demandent de démontrer cette pérennité d'ouvrages ; pour les ouvrages industriels, la durée de service est de l'ordre de trente ans, parfois moins. Toutes les constructions doivent respecter ces durées de service. Avec un matériau nouveau comme la Terre Armée, il était indispensable d'assurer et de démontrer cette pérennité.

Cette question de la pérennité des ouvrages était si importante qu'après diverses séries d'essais réalisées par le Laboratoire central des Ponts et Chaussées (Département des bétons et métaux) entre 1970 et 1974, nous avons décidé de poursuivre et d'intensifier cet effort en lançant nous-mêmes une campagne de recherches de très longue durée et de très grande envergure sur la durabilité des aciers galvanisés enterrés. Cette recherche, mise au point avec le LCPC, comportait des essais électrochimiques de laboratoire sur une cinquantaine de sols pour trois teneurs en eau différentes, avec contrôle des résultats par la méthode pondérale classique sur des échantillons enterrés dans cinq sols témoins. Cette recherche se poursuit maintenant depuis plus de dix ans et a été complétée par une bonne centaine de visites d'ouvrages anciens avec prélèvement et analyse d'échantillons chaque fois que cela était possible.

Les résultats obtenus par ces trois méthodes d'investigation sont très cohérents. Ils ont permis de définir l'évolution maximale de la corrosion en fonction du temps, d'établir une corrélation fiable entre perte de résistance et perte de poids des armatures, de choisir et de vérifier sur de longues périodes les critères chimiques et électrochimiques de sélection des remblais. Les détails de cette recherche et des résultats obtenus font l'objet de publications régulières.

Cette campagne a été complétée par différents essais et notamment un essai de corrosion accélérée dans un ouvrage expérimental en vraie grandeur conduit jusqu'à la rupture, et par différents programmes d'analyse et d'évaluation du comportement à long terme de différentes familles de plastiques et des aciers protégés par des revêtements organiques (époxy en particulier) ou métalliques. Au total le groupe Terre Armée a investi 1,5 million de dollars pour les recherches concernant la durabilité des matériaux enterrés.

Ces recherches ont servi de base dans la détermination des surépaisseurs d'acier nécessaires pour garantir les durées de service requis ; ces surépaisseurs sont maintenant codifiées dans la plupart des pays. Elles ont également permis de classer les sols en fonction de leur agressivité et d'établir des spécifications précises concernant les caractéristiques chimiques et électrochimiques des sols utilisables. Ainsi, dans le monde entier, les sols utilisés font l'objet de contrôles systématiques sur le plan de l'agressivité.

Notons de plus que pour les ouvrages où les risques sont les plus importants, barrages, culées de pont par exemple, nous enterrons dans l'ouvrage de façon systématique des échantillons d'armatures qui pourront être prélevés tous les dix ans.

Toutes ces précautions et tous les règlements permettent de garantir les ouvrages en Terre Armée aussi bien, si ce n'est mieux, que les ouvrages en béton, armé ou précontraint.

### **Les armatures en métaux dits passivables**

Parmi les matériaux que l'on pouvait envisager d'utiliser pour les armatures, il y avait les métaux dits passivables, notamment l'alliage d'aluminium dans les remblais contenant des chlorures (travaux maritimes), et les aciers inoxydables dans les autres milieux. J'en parlais dans ma brochure de 1965. Au début de la Terre Armée et par précaution, j'ai utilisé le seul acier galvanisé dont le comportement dans les sols était, comme nous l'avons vu, déjà relativement bien connu.

A l'occasion de la réalisation d'un premier ouvrage maritime, encouragés par Pechiney et le LCPC, nous avons envisagé l'utilisation de l'alliage d'aluminium AG 4 MC. La tenue de l'AG 4 MC aux chlorures était déjà bien connue et il fallait vérifier que cette caractéristique était conservée si on enterrait le métal dans un remblai. Une étude conjointe Pechiney-LCPC-Terre Armée réalisée dans les laboratoires de Pechiney a permis de faire une première comparaison du comportement de plusieurs métaux enfouis (AG 4 - acier noir - acier galvanisé) dans des sols sélectionnés par le LCPC. Les résultats des essais étaient satisfaisants, ce qui nous a conduits à réaliser une dizaine d'ouvrages avec des armatures en AG 4. Certains ont un comportement jusqu'à maintenant satisfaisant. Par contre un petit mur de quai au cap d'Agde s'est en partie effondré, en 1974, par corrosion des armatures. Et nous avons bien entendu aussitôt arrêté l'utilisation de l'AG 4.

Parallèlement aux essais comparatifs en caisse entre le comportement de l'AG4MC et des aciers noirs ou galvanisés, nous avons mené avec Ugine Gueugnon, dans les mêmes caisses, des essais comparatifs avec des aciers inoxydables F 12 T et F 17. Les résultats de ces essais ont montré un excellent comportement de l'acier F 17, en comparaison avec les aciers noirs et galvanisés. C'est pourquoi au cours de l'année 1974, et essentiellement en France, nous avons construit des ouvrages comportant des armatures en acier inoxydable F 17.

Mais, en 1975, à la suite d'un incident sur un chantier et devant l'impossibilité pour les experts en corrosion d'expliquer de façon satisfaisante le comportement anormal de l'acier F 17, nous avons décidé d'arrêter l'utilisation des métaux passivables et notamment l'acier F 17 employé pour les ouvrages terrestres. Bien nous en a pris puisque, onze ans plus tard, un effondrement localisé s'est produit sur un ouvrage à armatures inoxydables de la région parisienne. L'examen en cours des ouvrages du même type a révélé pour certains des corrosions importantes. Une campagne de clouage est en cours pour leur assurer leur solidité même si les armatures en acier inoxydable étaient complètement corrodées. (Cela revient, sans toucher aux écailles du parement, à remplacer, à partir de l'extérieur, les anciennes armatures par de nouvelles armatures en acier.)

De cette expérience, je retire personnellement une leçon fondamentale concernant la durabilité des matériaux dans les sols : aucun essai de laboratoire, aussi bien conçu soit-il, n'est de nature à garantir une bonne connaissance de la corrosion des métaux enterrés dans des remblais. Seule une très longue expérience en vraie grandeur dans différents remblais, forcément hétérogènes, permet d'édicter des lois générales sur la nature et la vitesse des corrosions.

Cette bonne leçon vaut également pour d'autres matériaux dont la durabilité est affectée non par la corrosion à proprement parler mais par d'autres phénomènes de dégradation. C'est le cas des plastiques. Les armatures en plastiques.

Depuis le début de la Terre Armée j'ai voulu savoir si l'on pouvait utiliser sans danger des armatures en plastique. J'ai d'abord étudié le comportement de toutes les familles de plastiques susceptibles d'être utilisés et encore maintenant je finance des équipes qui suivent les évolutions de ces matériaux.

C'était il y a plus de vingt ans, aux alentours de 1965. Le problème qui me préoccupait était le fluage des matières plastiques sous contrainte dans la terre et dans l'eau ; et il n'existait alors aucune expérience à ce sujet, si ce n'est quelques mesures rapides qui ne pouvaient donner qu'une première indication. Les polyesters semblaient se comporter mieux, j'ai demandé à Rhône-Poulenc de mettre des fils en tension dans l'eau. L'expérience a duré trois ans et les résultats étaient encourageants (fluage relativement limité). J'ai donc examiné avec cette société sous quelle forme les renforcements pouvaient être réalisés. Elle m'a proposé le Bidim (non tissé) qu'elle venait juste de mettre au point, et c'est la première fois qu'ont été mis des tissus dans la terre avec un objectif bien précis de renforcement du sol. L'expérience a montré que la couche était drainante et anti polluante et que l'on pouvait rouler dessus. C'était la naissance des géoplastiques.

Mais les non-tissés ne me convenaient pas car trop déformables ; les tissus bidirectionnels étant peu adaptés, je me suis orienté vers des sangles de fils de polyester. Des essais ayant montré que leur coefficient de frottement sur le sol était suffisant, j'ai alors décidé de les utiliser sur un ouvrage provisoire à Poitiers. Après dix ans d'utilisation, nous avons fait des prélèvements et constaté que la résistance à la traction de ces sangles avait diminué de moitié. L'ouvrage a été épaulé par un talus de remblai et l'expérience, trop dangereuse, n'a pas été renouvelée.

D'autre part, tous les géotextiles déterrés et essayés après dix ans d'âge ont montré des réductions importantes de leur résistance à la traction dépassant souvent 50 % aussi bien pour le polyester que pour le polypropylène. Il semble que ce phénomène soit dû aux ruptures progressives des longues chaînes des polymères s'ajoutant à des détériorations à la mise en place (il en serait de même pour des armatures de polyester supposées protégées par une fine couche de polyéthylène : elles ne sont pas suffisamment protégées, cette couche devenant avec le temps poreuse à la vapeur d'eau ; de plus elle est souvent endommagée au moment de la mise en place). Il est probable qu'avec le temps la chute de tension serait brutale et exponentielle au lieu d'être seulement linéaire comme on aurait pu le croire. Cela exclut toute prévision sérieuse et nous a conduits de façon catégorique à ne pas utiliser de plastique dans l'état actuel de nos connaissances. Ce serait beaucoup trop dangereux.

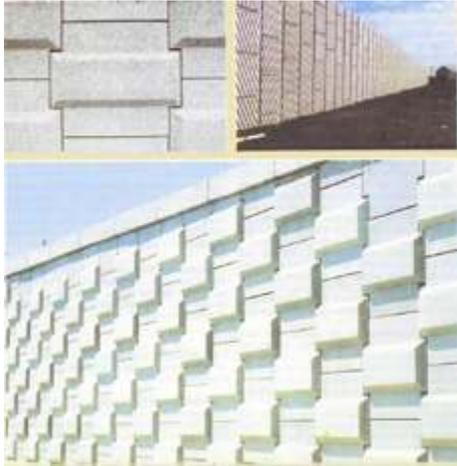
Dans l'état actuel des essais sur les plastiques, il n'est pas raisonnable d'extrapoler à plus de dix ans et les fabricants ne sont pas prêts de donner des garanties financières réelles de durée notable.

N'oublions pas que la catastrophe de la navette spatiale a été provoquée par un joint réalisé avec du plastique dont la résistance mécanique n'a pas été celle que l'on escomptait.

### **Le parement**

Au début, le parement était en acier galvanisé ; il se présentait sous la forme de tôles cylindriques dont la partie vue avait une section demi-elliptique. Cette « peau », qui supporte facilement des déformations dans le sens vertical, a donné toute satisfaction et est encore utilisée pour des chantiers d'accès difficile compte tenu de sa légèreté ou pour des chantiers industriels. Dès la construction du premier ouvrage, j'avais essayé également des peaux de même forme en matière plastique, certaines en thermoplastiques, d'autres en stratifié polyester verre. Ces essais ont été très décevants (grande fragilité), c'est pourquoi j'ai abandonné par la suite l'utilisation des plastiques pour la peau.

En 1970, nous avons lancé les parements en écailles de béton. Dans notre station expérimentale de Madrid, nous avons testé jusqu'à la rupture quatre cents écailles avant d'aboutir à leur dimensionnement optimum actuel. Ces écailles, dont les joints permettent de grandes déformations sous l'effet de tassements éventuels, se mettent en place facilement sans échafaudage, conduisent à des réalisations très esthétiques avec toutes sortes d'effets architecturaux et sont plus économiques que les peaux métalliques. Leur succès a été et reste toujours très grand ; elles sont fabriquées en série dans les usines de la Terre Armée (cinq usines aux USA par exemple) ou chez des sous traitants qui utilisent les moules spéciaux appartenant à la Terre Armée. Ces écailles sont utilisées dans quatre-vingt-quinze sur cent de nos ouvrages.



Ci-contre, trois types de parement.

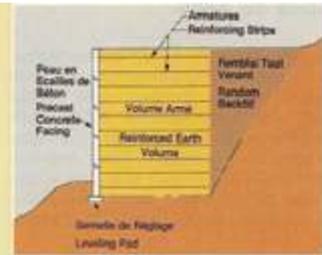
Pour d'autres applications, nous avons fait différentes recherches qui nous ont conduits à avoir une gamme de parements adaptée aux utilisations ; par exemple : des parements inclinés à contreforts pour les parois inclinées des silos de stockage de pondéreux ; des parements spéciaux pour « murs verts ; et même des parements en grillages d'acier galvanisé pour les soutènements de routes forestières aux USA et en Australie.

## Les applications aux ouvrages

### Les murs de soutènement routiers



C'est l'application la plus fréquente, soit pour des routes ou autoroutes de montagne, soit en ville par manque de place. Jusqu'à maintenant ils sont essentiellement dans des situations de routes en remblai, mais une extension importante aux situations en déblai est attendue grâce aux murs étroits (largeur de l'ordre de 0,5 fois la hauteur). Ces massifs se retrouvent sur toutes les autoroutes du monde.



Coupe type d'un mur de soutènement en Terre armée

◀ Le boulevard périphérique de Madrid, entièrement bordé d'un mur en Terre armée



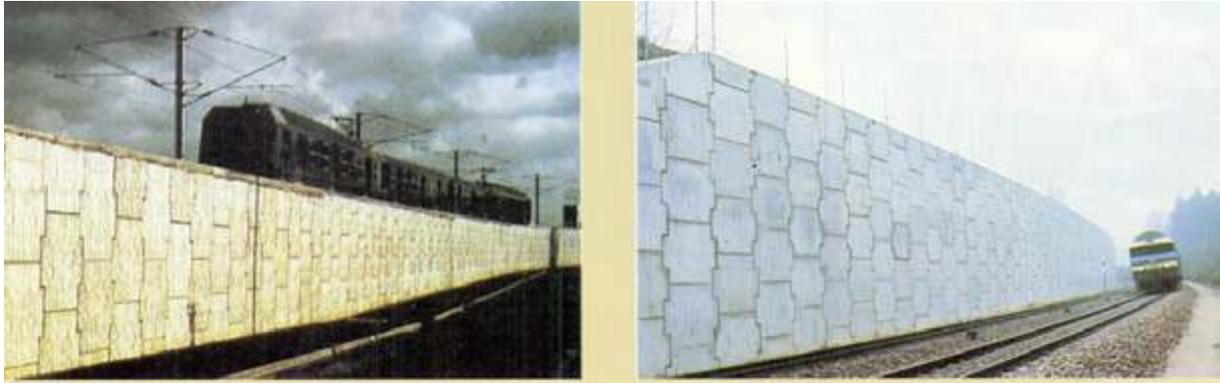
◀ Franchissement de la trouée de Saverne par l'autoroute Paris-Strasbourg



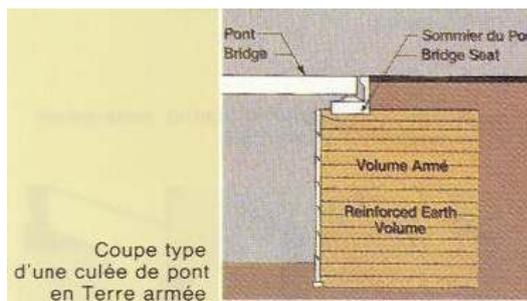
◀ Massifs de soutènement routier sur l'autoroute A 40 ▶

## Les massifs de soutènement pour chemins de fer ou métros

Ils existent un peu partout, beaucoup au Japon (Tokaido Line par exemple). Les courants alternatifs ne posent pas de problèmes et nous effectuons des recherches sur l'effet des courants vagabonds en courant continu.



## Les culées de ponts



Plus de mille deux cents ont été construites dans le monde, la plupart au-dessus de routes et voies ferrées, une seule supportant une voie ferrée. Elles sont particulièrement économiques sur des mauvais sols de fondation. Pour les cas de bons sols de fondation, nous avons mis au point des piles culées dans lesquelles le parement englobe les poteaux d'appui du tablier.



### Les ouvrages industriels

Ce sont par exemple tous les murs de soutènement des stations de criblage. En Afrique du Sud, le massif de Terre Armée le plus haut du monde, 40 m. supporte une station de criblage d'une mine de diamant. La photo présente une station de criblage en Andorre.



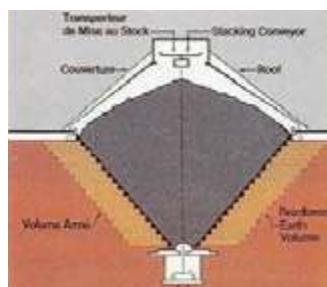
### Les silos de stockage de pondéreux

Deux massifs de 800 et 500 m de long ont été construits à Dunkerque dès 1970, mais les premiers grands développements ont pris le jour le long des Rocheuses aux USA pour réaliser de grands stockages de charbon à parois inclinées.

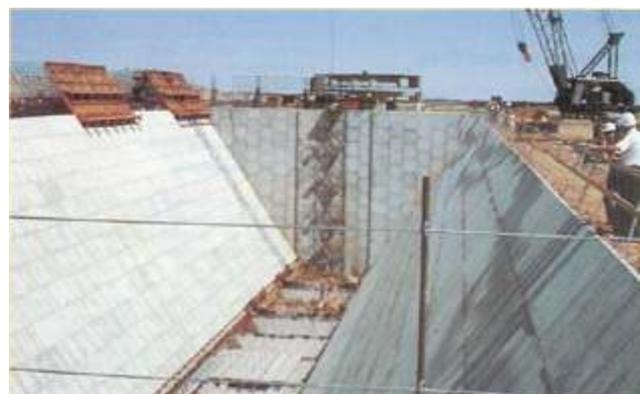
Lorsque nous avons eu connaissance de ce nouveau marché, nous avons immédiatement entrepris des essais de construction grandeur nature de parements inclinés, proposé une réalisation pour une première mine, qui s'est avérée très intéressante ; ce qui nous a permis de réaliser la plupart des grands stockages miniers de cette région. Nous en avons construit ensuite en Australie, en Afrique du Sud, au Canada et aujourd'hui nous en réalisons en Chine.

En haut, parc de stockage de charbon, en cours de couverture.

En bas, parc à charbon en construction, les deux aux USA.



*Schéma type d'un stockage*



### Les ouvrages de protection contre l'incendie ou les explosions

Ce sont tous les murs de protection réalisés autour des réservoirs de gaz liquéfié (à Montoire, en France ; à Cove Point, aux USA : à Bontang en Indonésie).

Ce sont les massifs permettant d'implanter le terminal de l'oléoduc d'Alaska à Valdez qui ont permis de gagner un an sur la mise en service de l'ouvrage. Ce sont également toutes sortes d'ouvrages militaires.



*Terminal du pipe line d'Alaska à Valdez.*



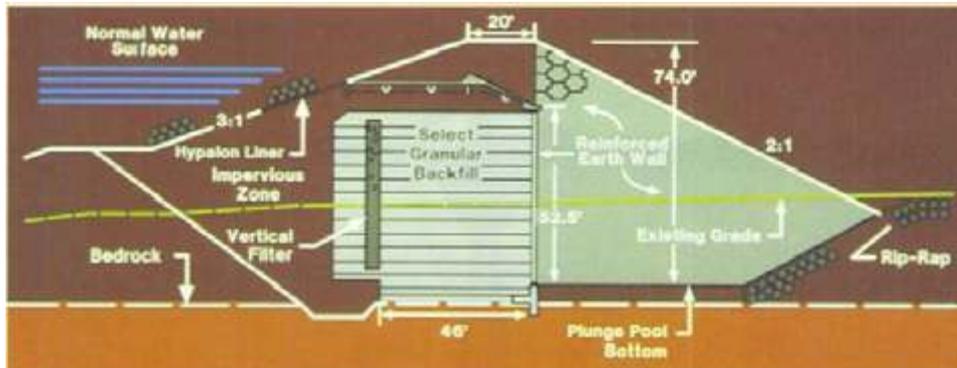
*Le massif de protection en Terre Armée a évité une catastrophe lors d'un incendie des réservoirs dominant le port de La Guaira au Venezuela.*

*Terminal de gaz liquéfié à Cove Point USA*



## Les barrages

Les barrages les plus couramment construits sont des barrages déversant en terre dont le parement aval est un massif en Terre Armée servant d'évacuateur de crues. Les premiers ont été faits en France (vallon des Simes); les plus grands aux USA: le barrage de Taylor Draw Dam dans le Montana, de 20 m de hauteur.



Plus haut, coupe en travers type d'un barrage, notez la flèche: Reinforced earth wall

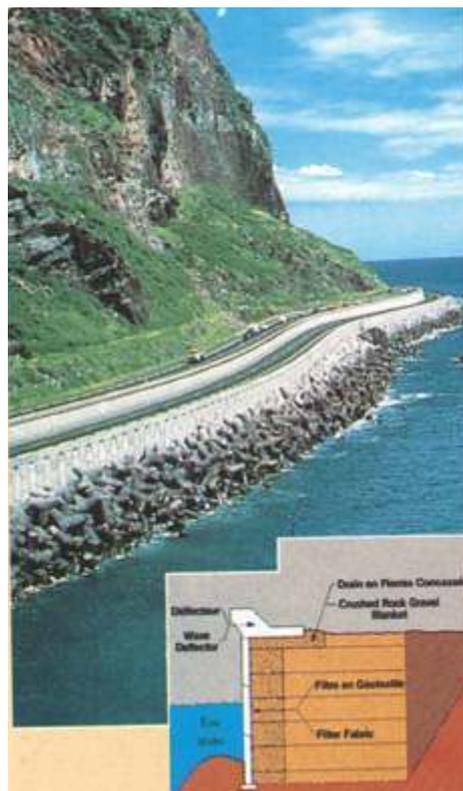


Ci-contre, vue aérienne du barrage de Taylor Draw Dam Montana.USA

## Les ouvrages dans l'eau

Les premiers ont été réalisés au Canada, le long de la péninsule de Gaspésie. Sur des dizaines de kilomètres, ces massifs de Terre Armée étaient destinés à implanter des routes en bord de mer et se sont très bien comportés, mieux que tous les autres procédés essayés. Les parements sont épais pour subir le choc des tempêtes et la poussée des glaces. Ils ont une forme de déflecteur arrondi en tête. Ils ont été construits dans moins d'un mètre d'eau en profitant de la marée. De nombreux ouvrages ont été réalisés ainsi, presque à sec, mais ils sont régulièrement immergés soit le long de rivières, soit en bordure de mer.

*Ci-contre: Ile de La Réunion, autoroute de 11 km, subissant des cyclones.*



## Les ouvrages liés à l'Architecture.

Ce type d'ouvrages a débuté par des massifs d'implantation de maisons, de parkings, de centres commerciaux, d'ensembles de bureaux, d'écoles, de cave vinicole, etc. Ces ouvrages sont nombreux un peu partout. Ils nous ont conduits à étudier des parements adaptés à chaque cas. L'implantation de maisons sur des terrasses m'a donné l'idée d'aller plus loin et de faire avec la Terre Armée une véritable architecture en modelant le paysage et en se servant des massifs en Terre Armée comme murs principaux des maisons. Il en est résulté « Architerre » où les maisons sont intégrées à un paysage très végétal parce qu'il est possible de planter de grands arbres dans de la Terre Armée. Le succès n'a pas été celui que j'espérais. Pour le moment, seulement trois ensembles ont été réalisés, deux en France et un en Espagne.

Mais beaucoup d'autres possibilités s'offrent pour la réalisation d'œuvres architecturales en Terre armée. Je n'en citerai qu'une : c'est la réalisation de grands stades semi-enterrés dont les gradins sont constitués d'écaillés spéciales en Terre Armée. C'est sur ce principe que j'ai conçu le projet du stade de quatre-vingt mille places qui a été présenté pour la candidature de Paris aux Jeux Olympiques.



C'est par cet espoir de voir adopter par l'opinion publique son rêve de marier les travaux publics, la nature et la beauté que se termine l'article publié par Henri Vidal en novembre 1986.

En 1992, Maurice Darbin, le directeur général, prit sa retraite comme convenu. Il résume ainsi la vie de la Terre Armée après les difficultés du début :

« Depuis 1980, nous avons vécu une période particulièrement faste. Notre volume d'activité et notre chiffre d'affaires s'étaient développés régulièrement, année après année. Nous avons vendu 350.000 mètres carrés de Terre Armée en 1980 ; nous étions à 950.000 mètres carrés en 1991. Au cours de la même période, notre chiffre d'affaires consolidé était passé de 280 millions de francs à environ 650 millions de francs.

« Quelle différence entre les années 1970, où nous étions à court d'argent, et ces années 1980, marquées par l'opulence ! »

Après le départ à la retraite de Maurice DARBIN, Henri Vidal connut une période difficile et fut obligé de reprendre lui-même la direction de la société, pour la faire vivre et progresser. Mais quelques années plus tard son état de santé commença à décliner et il dut se résoudre en 1998 à céder sa Terre Armée. Il réussit à la vendre à l'Entreprise Freyssinet, bien connue dans le domaine des travaux publics, et qui poursuit le développement de la Terre Armée.

Sur le site internet de la société Terre Armée Internationale, on peut trouver facilement un court historique de la Terre Armée. Je prends plaisir à reproduire ci-dessous quelques lignes qui illustrent la poursuite du développement de l'invention de Henri Vidal « après » Henri Vidal :

- « 1992 Le cap des 10 millions de m<sup>2</sup> de murs en Terre Armée posés dans le Monde est dépassé.
- « 1998 Terre Armée Internationale intègre le Groupe Freyssinet et complète ainsi sa gamme avec le Freyssisol, procédé à base d'armatures géosynthétiques.
- « 2006 Création de la société « Reinforced Earth India »
- « 2010 Le cap des 40 millions de m<sup>2</sup> de murs en Terre Armée posés dans le monde est dépassé. »

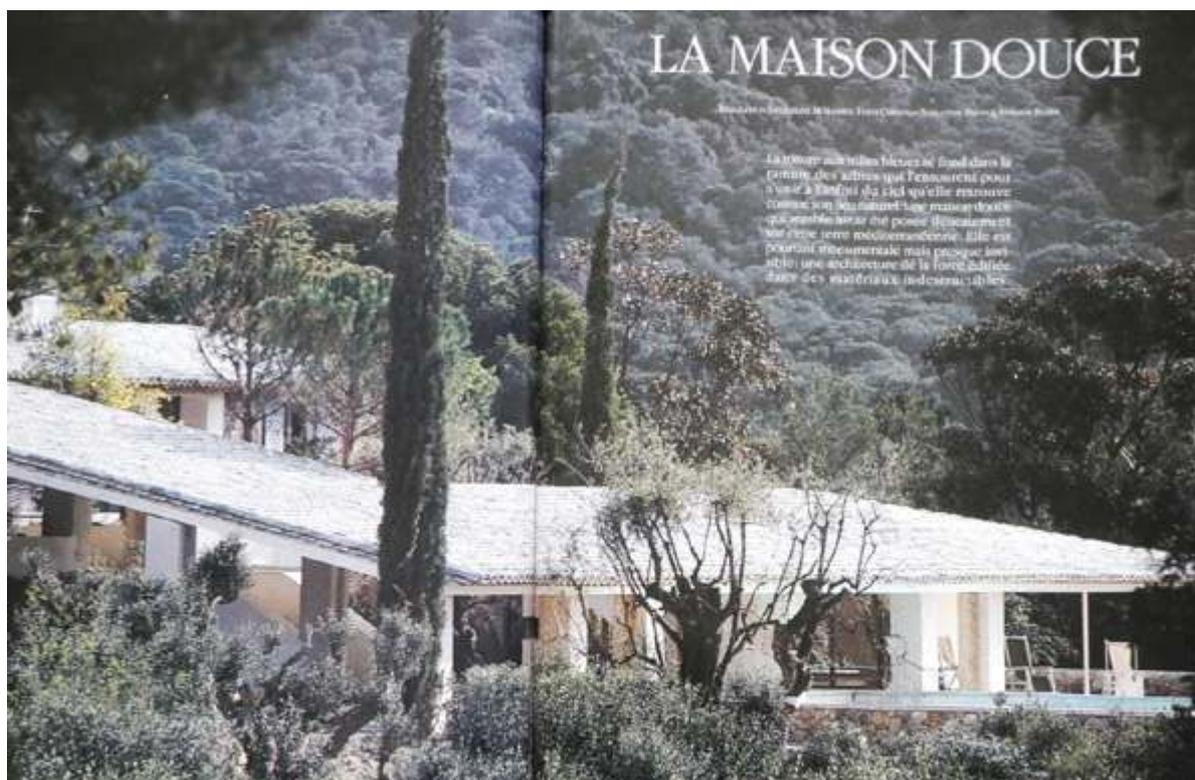
Je voudrais pour conclure, reproduire ici l'article publié par Jean Cadot X44, notre grand ami commun, dans la Jaune et la Rouge de juillet-août 2008 à l'occasion du décès de Henri Vidal :

« Moi qui n'ai jamais rien inventé, ni particulièrement cherché ni obtenu de réussite, je voudrais dire aussi, outre mon admiration pour tout ce qu'Henri a réalisé, que notre amitié s'est enrichie du fait qu'il était, peut-être avant tout, profondément un artiste. Dans sa conversation apparaissait constamment sa passion pour tout ce qui est beau, que ce soit en peinture, architecture, sculpture ou dans la splendeur de la Grèce, dont il s'est inspiré pour construire sa maison des « Stocchades » (nom grec des Iles d'Hyères) ou encore dans le charme de l'Italie où il retournait toujours. Même de sa fenêtre de Paris, il nous désignait et nous faisait admirer les chefs d'œuvre de Gustave Eiffel aussi bien que ceux de Jules Hardouin Mansart. Il aimait aussi nous citer quelques vers de Verlaine, de Baudelaire, de Mallarmé et d'autres, qu'il débitait sur un ton inimitable traduisant à la fois son admiration et l'humour face à sa propre émotion.

« Ce dernier point était d'ailleurs un trait essentiel de son caractère : les opinions péremptoires, les « explications fumeuses, les Grandes Théories éveillaient chez lui un scepticisme souriant, toujours teinté de tendresse.

« Avec le caractère si divers et complet, Henri Vidal, ami irremplaçable, aura été non seulement un « homme qui a réussi, mais un homme qui s'est réussi. ».

Et voici une photo de SA maison à Porquerolles<sup>5</sup> :



Fait à Versailles le 27 juillet 2014  
*Ivan Chéret*

---

5. Photo parue dans le magazine Décoration Internationale du mois d'août 1986.