

HENRI VIDAL & LA TERRE ARMEE

Par **Laura Kerner**, membre jeune du Comité Français de Mécanique des Sols et de Géotechnique (CFMS Jeunes), avril 2022

Dans ce rapport, l'invention de la *Terre Armée* par Henri Vidal ainsi que le développement de son entreprise internationale sont introduits. Un chantier remarquable d'ouvrage en sol renforcé en Inde ainsi qu'un entretien avec Nicolas Freitag, manager de la zone Europe pour *Terre Armée* sont aussi présentés.

Henri Vidal et les murs de soutènement en sol renforcé

L'inventeur, Henri Vidal



Henri Vidal (1924 – 2007) est un ingénieur et architecte français, diplômé de l'Ecole Polytechnique (1944), de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées (1949) ainsi que de l'Ecole des Beaux-Arts de Paris.

Henri Vidal a démarré sa carrière à l'EDF qu'il poursuit à Fougerolle où il a participé à la construction de barrages et de

ponts. Il quitte Fougerolle en 1962 pour se concentrer à temps plein sur son invention, un nouveau matériau appelé *Terre Armée*.

En 1957, Henri Vidal invente la *Terre Armée* sur une plage à Ibiza en utilisant un mélange de sable et de aiguilles de pin qui présente de bien meilleures propriétés mécaniques que le sable seul. Il travaille sur ce projet seul pendant plusieurs années en faisant des modèles réduits dans sa cuisine avec du sable et du papier. Il étudie les propriétés de ce matériau, développe des méthodes pratiques de dimensionnement et construit des structures en *Terre Armée*... le tout en secret !

Henri Vidal dépense beaucoup de temps et d'effort dans le développement de cette technique, son brevet ainsi qu'une campagne expérimentale sur des murs en grandeur réelle pour valider son travail. Les recherches ont démarré en 1966 avec le département de mécanique des sols du LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris) sous la direction enthousiaste de François Schlosser. Avec l'aide de Maurice Darbin, il a en même temps développé une entreprise mondiale.

Selon François Schlosser, Henri Vidal fut un inventeur génial, ayant conçu la *Terre Armée* à partir de très peu de résultats expérimentaux. Son invention constitue un élément majeur parmi les différents apports faits dans le génie civil au 20^{ème} siècle.

La technique

La *Terre Armée* est un matériau composite constitué de la combinaison d'un massif de terre remblayée et d'armatures. La stabilité des structures est assurée par le frottement entre les armatures et les terres. Ainsi, le sol contribue à sa propre stabilité.

Au départ, la mise en œuvre d'une structure consistait à alterner une couche d'armatures et une couche de remblai, jusqu'à atteindre la hauteur voulue. Le principe a ensuite évolué en rattachant les armatures à une peau faite d'écailles de béton aussi appelées parement modulaire. Ce dernier a permis d'améliorer l'esthétique du mur tout en consolidant sa structure. Grâce à sa légèreté et son faible coût, la *Terre Armée* est une solution souvent retenue pour les murs de soutènement. Les avantages majeurs de cette technique est qu'elle nécessite un faible entretien et est très esthétique.

Les éléments constitutifs de la *Terre Armée* sont :

- **Le remblai granulaire**

Remblayer consiste à remplir une excavation à l'aide de matériaux de construction ou de déchets inertes. Pour les murs en sol renforcé, un matériau granulaire est en général utilisé.



- **Les armatures**

Les premières armatures étaient rondes et lisses. D'autres formes ont été considérées par la suite : des formes plus complexes telles que de l'acier plat galvanisé et nervuré. Aujourd'hui, ce sont des armatures métalliques haute adhérence qui sont principalement utilisées. Des armatures synthétiques peuvent aussi être choisies.

- **Le parement modulaire**

Le parement est généralement en béton préfabriqué et/ou en métal. L'écaille de béton est constituée des éléments suivants :

- un parement, la face visite de l'écaille,
- des amorces destinées à recevoir les armatures,
- des manchons dans lesquels seront ancrés des goujons pour l'assemblage des écailles,
- des butées pour pallier tout déplacement des écailles.

Cette combinaison idéale crée une structure de soutènement durable. Cette technique peut être adaptée à des murs de soutènement de toute hauteur.

Maurice Darbin et l'entreprise

Maurice Darbin est un ingénieur français, diplômé de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées (1955).

En juillet 1955, le jour de son mariage, il rencontre Henri Vidal pour la première fois. Après deux ans de service militaire entre l'Algérie et le Maroc, il commence à travailler pour l'entreprise *Fougerolle*, où Henri Vidal était aussi employé.

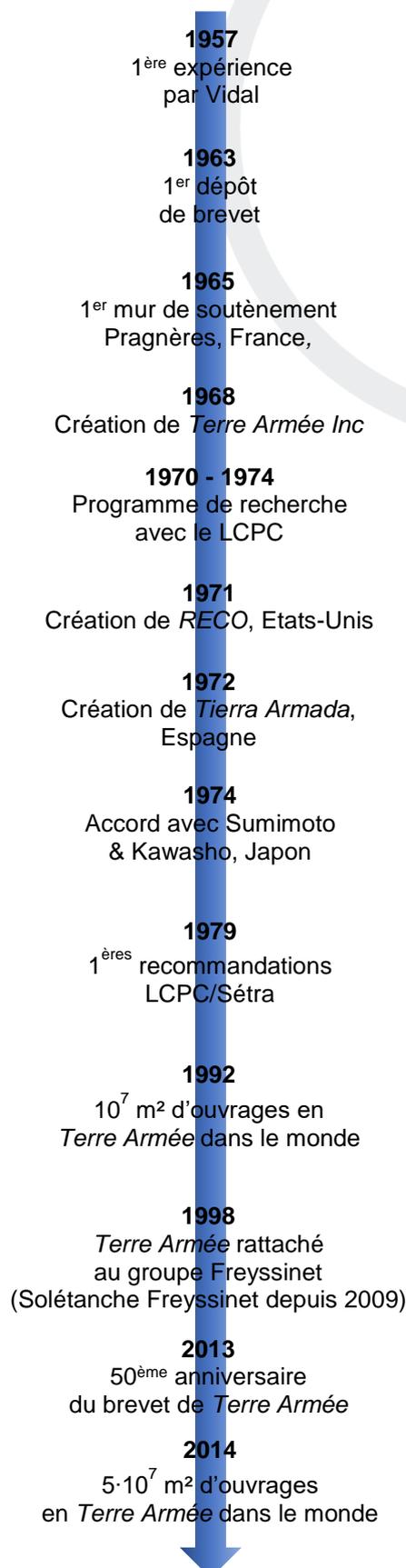
En 1968, Henri Vidal veut démarrer sa propre entreprise et demande à Maurice Darbin de le rejoindre dans cette aventure. Il quitte alors un emploi stable et intéressant pour un futur incertain mais palpitant. Il prit cette décision délicate en janvier 1969. L'entreprise est alors installée dans un bureau de 60 m² à la Défense sans table ni chaise. Cette première année a été un défi majeur pour Maurice Darbin. Il a dû gérer de front :

- deux problématiques majeures de l'invention : son esthétique discutable et son coût élevé,
- le financement à court terme pour payer la construction des premiers murs de soutènement,
- le développement de l'entreprise à l'étranger.

Cette première année se termine bien : il n'y a plus assez de places au bureau pour les nouvelles recrues !

Le charismatique, charmant et brillant Henri Vidal était peu économe. Comme dans la fable, la *Terre Armée* était gérée par la cigale et la fourmi, et la fourmi était en charge du compte en banque !

Maurice Darbin était le PDG de *Terre Armée* jusqu'à 1991, travaillant ainsi 23 ans pour l'entreprise.



Selon Pierre Segrestin (ancien PDG de *Terre Armée*), Maurice Darbin a toujours apporté constance et sérénité. Sa façon d'être a aidé les gens à garder la conviction que le groupe resterait en sécurité. Résistant à toutes les difficultés, il personnifiait la notion la plus capitale d'entre toutes : la durabilité.

Le développement de l'entreprise

L'entreprise qui a débuté en 1968 à la Défense, dans un petit bureau avec 4 employés, a connu un développement très important en France entre 1971 et 1975, arrivant au jalon des 100 000 m² d'ouvrages en *Terre Armée* construits en 1975.

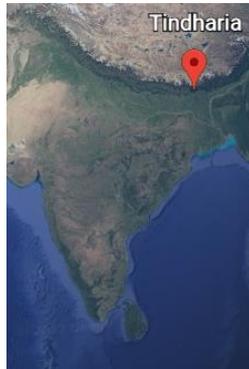
Dans les années 70, le développement mondial de l'entreprise est amorcé avec la création de *RECO* (Reinforced Earth Company) aux Etats-Unis en 1971, de *Tierra Armada* en Espagne en 1972 et avec la signature de l'accord avec Sumimoto et Kawasho au Japon en 1974. Au début des années 80, l'entreprise était installée dans 25 pays.

Dans les années 80, l'entreprise a joui d'une croissance durable dans le monde. En 1980, *Terre Armée* comptait 250 employés avec 80 % de nouveaux projets en dehors de la France. 1980 est aussi l'année de la création de *Terre Armée Internationale*.

Maurice Darbin est parti à la retraite en 1991 et Henri Vidal a eu des problèmes de santé dans les années 90. *Terre Armée Internationale* a ainsi été rattachée au groupe *Freyssinet*. Le groupe poursuit toujours son expansion dans le monde avec la création de Reinforced Earth India en 2006.

L'ouvrage d'art en sol renforcé de plus haut du monde à Tindharia en Inde

En septembre 2011, à Tindharia, une ville pittoresque située sur la route historique reliant Siliguri à Darjeeling, dans le Bengale Occidentale, un grave glissement de terrain s'est produit suite à un séisme de magnitude 6,9 et à de fortes pluies. *Terre Armée India* a pu proposer une solution pour chacun des sites (S1, S2, S3) où a eu lieu le glissement de terrain. La solution retenue pour le site S2 est présentée sur les photos ci-dessous.



Situation initiale

Après la fin des travaux

Principaux défis de ce projet

- **Une météo capricieuse** : les précipitations sont très intenses à Tindharia avec en moyenne 185 cm de pluie par an. La mousson s'étale de mai à début octobre. Les travaux ont donc été suspendus pendant cette période, seules quelques activités ont pu être maintenues durant cette période.
- **Une géologie défavorable** : les couches géologiques environnantes sont exposées à un fort risque d'érosion et de fracturation.
- **La présence d'eau souterraine** : les couches de sol étaient quasiment saturées à cause de l'infiltration en continu de l'eau pendant la mousson et de la présence de nappes aquifères naturelles.

- **La sécurité** : travailler avec ces hauteurs était un défi majeur du point de vue de la sécurité pour les hommes et les machines.

Solution retenue

- **Stabilisation du versant** : le dimensionnement de l'ouvrage a été réalisé afin de stabiliser la pente où a eu lieu le glissement de terrain mais aussi afin de permettre l'élargissement de la route.

- **Dimensionnement d'une structure en zone de forte sismicité** : le projet se situe dans la région de Darjeeling, dans les contreforts de l'Himalaya, dans une zone sismique IV. La hauteur maximale proposée pour cette structure était conséquente (102,8 m). De ce fait, le dimensionnement se devait d'être robuste afin de prendre en compte les chargements induits par un séisme de forte magnitude, les déformations locales et globales induites par une telle hauteur pendant et après construction ainsi que d'assurer la stabilité de la pente et de l'ouvrage.

- **Solution de drainage** : de multiples couches de canalisations en PVC semi perforé et enveloppées dans un géotextile non tissé ont été installées pour assurer le drainage souterrain et réduire la pression hydrostatique. Pour le drainage en surface, des drains captants, des dénivellations et guides ont été mis en place pour diriger l'eau de façon systématique afin que la structure ne soit pas sans protection lors des fortes intempéries induites par la mousson.

- **Impact environnemental minimum** : la réduction des quantités de remblai, l'utilisation de panneaux grillagés métalliques au lieu de panneaux en béton armé ainsi qu'une utilisation limitée de machinerie lourde ont permis de réduire l'empreinte carbone de ce projet.

Chiffres-clés

Superficie	7724 m ²
Hauteur maximale	102,8 m
Charge permanente	24 kPa
Coefficient sismique	0,24 g (zone IV)
Durée de vie	100 ans

Entretien avec Nicolas Freitag, *Manager de la Zone Europe, Terre Armée*



Laura : *Quel est votre point de vue sur les débuts de Terre Armée ?*

Nicolas : *Terre Armée, c'est le nom d'une solution technique mais c'est aussi le nom d'une société et d'un groupe. A partir de ces deux usages d'un même mot, on a les deux facettes*

du développement. La Terre Armée en tant que technique, c'est une invention majeure pour les infrastructures : elle a permis de réduire les coûts et l'impact environnemental des infrastructures linéaires pour le réseau autoroutier en France puis ensuite à l'international. Le succès de cette technique, c'est Henri Vidal. La mise en place rapide de la société avec très peu d'employés, pas d'argent et le sentiment que tout est possible, c'est Maurice Darbin. Ensemble, ils vont successivement s'installer dans plein de pays : Canada, Espagne, Etats-Unis, Japon, etc. Ils ont signé dans les années 70 des partenariats qui ont toujours cours aujourd'hui, en 2022. Les années 70 ont été des années incroyables avec beaucoup d'ouverture pour l'innovation, de soif de faire des nouvelles choses, combinées avec beaucoup de besoins en Europe occidentale.

Laura : *Avez-vous eu l'occasion de rencontrer Henri Vidal et Maurice Darbin ?*

Nicolas : *Maurice Darbin est parti à la retraite au début des années 90 et Henri Vidal, je l'ai vu une fois, de loin ! Il a vendu sa société à Freyssinet en 1998 et je suis arrivé en 1999. Je suis arrivé pour une autre page de Terre Armée, après eux. Mes deux mentors ont été des gens qui ont travaillé avec eux depuis les années 70 et ont réfléchi et écrit les bases que tout le monde emploie aujourd'hui. Ils ont fait un travail extraordinaire qui n'a jamais été infirmé. Si quelqu'un veut dimensionner un mur de soutènement en sol renforcé en 2022, il peut utiliser les recommandations¹ qui ont été rédigées en 1979 ! Le travail scientifique a débouché sur des fondamentaux qui sont rentrés dans la pratique dans le monde entier. Beaucoup de gens dans le monde n'ont pas idée que c'est une technique française, c'est un rayonnement intellectuel français !*

Laura : *Quelle est la particularité de la société Terre Armée ?*

Nicolas : *C'est une entreprise dont le modèle est très particulier. Souvent dans la construction, il y a ceux qui font des études (bureaux d'études), ceux qui fournissent des matériaux et enfin ceux qui assemblent tout ça (entreprises de construction). Le modèle que Maurice Darbin a mis en place est que la société doit être bureau d'étude et fournisseur. C'était un choix visionnaire et a permis à l'entreprise de se développer, de rester légère et de pouvoir absorber des hauts et des bas sur l'activité.*

Il y a aussi un vrai réseau entre les différentes sociétés Terre Armée du groupe. Nous faisons le même métier dans des pays différents avec des cultures différentes. Une des particularités depuis le début, c'est de développer chaque société avec des équipes locales. La société RECO a démarré avec un PDG américain, un PDG brésilien au Brésil, etc. Ils n'ont pas voulu que des expatriés soient en charge de ces sociétés. Aujourd'hui encore, toutes les équipes sont complètement locales, ce qui est très malin car nos clients sont les entreprises générales du pays, nos prescripteurs, ce sont les bureaux d'études du pays.

Laura : *La durabilité de la technique Terre Armée semble avoir été remise en question ces dernières années.*

Nicolas : *Les ouvrages qui posent question ont été parfaitement identifiés depuis 20 ans. Un guide de référence², rédigé en 1994 par le Sétra, identifie les ouvrages qui nécessitent une surveillance accrue : il s'agit des ouvrages construits avant 1976. De nombreuses campagnes de sensibilisation ont été conduites pour les gestionnaires. Certains ne vont pas surveiller leurs ouvrages, c'est ainsi qu'un incident a eu lieu au pont de Gennevilliers en région parisienne en 2018. Tous les ouvrages construits après 1979 se comportent très bien à long terme. Quand les règles de conception et construction sont suivies, tout se passe bien. Des solutions ont été développées avec l'utilisation de géosynthétiques pour des ouvrages complexes. Par ailleurs, ces ouvrages étaient conçus pour une durée de vie de 50 ans et non 100 ans. Les plus vieux murs de soutènement en Terre Armée ont plus de 50 ans et nécessitent bien évidemment des renforcements et/ou une surveillance accrue. Nous*

¹ Les ouvrages en terre armée, recommandations et règles de l'art, Ministère des transports, direction générale des transports intérieurs, LCPC, 1979.

² Les ouvrages en terre armée – guide pour la surveillance spécialisée et le renforcement, Sétra, 1994

cherchons toujours à être pro-actif et à proposer les solutions techniques les plus adaptées.

Laura : De nos jours, dans quels pays le groupe Terre Armée est le plus présent ?

Nicolas : Les Etats-Unis sont de très loin notre plus grand implantation dans le monde. Le pays avec une grosse croissance depuis plusieurs années, c'est l'Inde. L'Australie et le Canada sont aussi des pays où l'activité est importante. Le groupe est toujours en croissance !

Laura : Quel est le futur de Terre Armée ?

Nicolas : En ce moment, nous sommes sur une phase de diversification pour Terre Armée. La solution technique, la Terre Armée, représente 80 % de notre

activité mais ce n'est pas notre avenir. Ce créneau d'activité est amené à croître dans les pays où il y a encore beaucoup de développement d'infrastructures. Mais pour les pays qui ont déjà un réseau bien mûr avec de nouvelles problématiques telles que les mobilités du futur, nous développons de nouvelles techniques : géosynthétiques, protection de l'environnement (vis-à-vis des risques naturels). Actuellement, nous faisons beaucoup d'ouvrages de protection contre les avalanches en Islande et d'ouvrages optimisés en sol renforcé pour résister à l'impact de chute de blocs. L'idée est de pouvoir être partie prenante de projets et d'applications différents de ce pourquoi notre groupe est essentiellement connu aujourd'hui.



Références

Les ouvrages en terre armée, recommandations et règles de l'art, Ministère des transports, Direction générale des transports intérieurs, LCPC, 1979.

La petite histoire de la Terre Armée, Henri Vidal, Revue générales des routes et des aérodromes n°635, 1986.

Les ouvrages en terre armée – Guide pour la surveillance spécialisée et le renforcement, Sétra, 1994.

Le lancement de la Terre Armée, Maurice Darbin, 2001.

Le contexte normatif français des ouvrages en sol renforcé, des origines à nos jours, Pierre Ségrestin, Journée technique du CFMS, 25 mars 2009.

Henri Vidal, inventeur de la Terre Armée et Pionnier du renforcement des sols, François Schlosser, Journée technique du CFMS, 25 mars 2009.

Henri Vidal, inventeur et créateur de la Terre Armée, Ivan Chéret, Bulletin de la Sabix, 2015.

Case study, slope protection and drainage improvement at Tindharia on National Highway 110 (previously NH-55) in Darjeeling district of West Bengal, India, Reinforced Earth India Private Limited, Terre Armée, 2021

Websites: terre-armee.fr, terre-armee.com, terrearmeeindia.com.

Remerciements

Je souhaite remercier chaleureusement Maurice Darbin pour notre échange téléphonique ainsi que ses mémoires, Nicolas Freitag pour notre entretien, pour le temps qu'il m'a accordé ainsi que pour les suggestions qu'il m'a faites. Enfin, je remercie Pierre Delage pour ses idées, ses contacts et ses conseils pour améliorer le présent document.