

MANUEL DE L'ÉQUIPEMENT LOURD DE CONSTRUCTION

Terrassement, compactage, nivellation et levage



MANUEL DE L'ÉQUIPEMENT LOURD DE CONSTRUCTION

Terrassement, compactage, nivellation et levage

Edition 01

Jérémie M. N'TAKPE

Ingénieur Civil

Illustration de couverture :

composition à partir de photos de [Michal Pech](#), [Jonny Caspari](#), [Luke Besley](#), [Shane McLendon](#),
[Jamar Penny](#), [贝莉儿 NG](#), [gaspar manuel zaldo](#), [Alan J. Hendry](#), sur [Unsplash](#)

AVERTISSEMENT

Ce livre et son contenu sont simplement destinés à l'éducation et à des fins d'information générale uniquement. Il est vendu avec la compréhension du fait que l'auteur ne s'engage pas à fournir des services techniques, juridiques, ou autres services professionnels.

Tous les efforts ont été déployés pour que le contenu de ce livre soit exact et utile pour le lecteur au moment de la publication. Cependant, ce travail ne constitue pas un traitement exhaustif du sujet. Aussi, l'auteur ne fait-il aucune déclaration, expresse ou implicite, quant à l'exhaustivité et la complétude des informations contenues dans ce livre et ne peut accepter aucune responsabilité légale ou omissions qui peuvent être faites.

L'auteur n'a aucun contrôle sur ce que vous pouvez faire ou ne pas faire avec ce livre et ne peut donc accepter la responsabilité des résultats. Vous êtes le seul à pouvoir initier l'action afin de récolter vos propres récompenses.

En appliquant les idées contenues dans ce livre, vous assumez l'entièvre responsabilité de vos choix, actions et résultats.

“Que celui qui apprend enseigne, que celui qui enseigne apprend.”

Sagesse d’Ethiopie.

TABLE DES MATIÈRES

PRÉFACE	6
INTRODUCTION	7
CHAPITRE 1 : ÉQUIPEMENT LOURD DANS LA CONSTRUCTION	9
Evolution historique de l'équipement lourd	10
Ère des énergies humaines et animales.	10
Ère de la vapeur, le rail et le fer	10
Ère du moteur à explosion	13
Ère de l'électronique	17
Perspective pour l'industrie de l'équipement lourd	17
Rôle de l'équipement lourd de chantier	20
CHAPITRE 2 : TERRASSEMENTS GÉNÉRAUX	22
Pelle hydraulique (Shovel)	23
Anatomie de pelle hydraulique	23
Variante de pelle hydraulique	24
Photographies de pelle hydraulique	25
Tractopelle (Backhoe)	26
Anatomie de tractopelle	26
Applications courantes de tractopelle	26
Photographies de tractopelle	27
Dragline ou pelle à benne traînante (Dragline)	28
Anatomie de dragline	28
Applications courantes de dragline	29
Photographies de dragline	30
Bulldozer (Bulldozer)	31
Anatomie de bulldozer	31
Applications courantes des bulldozers	32
Photographies de bulldozer	33
Décapeuse (Scraper)	34
Anatomie de décapeuse	34
Applications courantes des décapeuses	34
Photographies de décapeuse	35
Trancheuse (Trencher)	36
Anatomie de trancheuse	36
Applications courantes de trancheuse	36
Photographies de trancheuse	38
Chargeuse (Loader)	39
Anatomie de chargeuse	39
Applications courantes de chargeuse	40
Photographies de chargeuse	41

Tombereau (Dump truck)	42
Anatomie de tombereau	42
Applications courantes de tombereau	43
Photographies de tombereau	44
CHAPITRE 3: COMPACTAGE	45
Compacteur à pieds dameurs (Tamping roller compactor)	46
Anatomie d'un compacteur à pieds dameurs	46
Applications courantes de compacteur à pieds dameurs	47
Photographies de compacteur à rouleau à pieds dameurs	48
Compacteur à rouleau lisse vibrant (vibratory steel smooth roller compactor)	49
Anatomie du compacteur à rouleau lisse vibrant	49
Applications courantes du compacteur à rouleau lisse vibrant	50
Photographies du compacteur vibrant	51
Compacteur à pneumatiques	52
Anatomie du compacteur à pneumatiques	52
Applications courantes du compacteur à pneumatiques	53
Photographies du compacteur à pneumatiques	54
CHAPITRE 4 : NIVELLEMENT ET FINITION	55
Niveleuse (Grader)	56
Anatomie de niveleuse	56
Applications courantes de niveleuse	56
Photographies de grader	57
Raboteuse ou fraiseuse à froid (Grade trimmer)	58
Anatomie de raboteuse	58
Applications courantes de raboteuse	59
Photographies de raboteuse	60
CHAPITRE 5 : LEVAGE	61
Grue mobile	62
Anatomie de grue mobile	62
Applications courantes de grue mobile	63
Photographies de grue mobile	64
Grue à tour	65
Anatomie de grue à tour	66
Applications courantes de grue à tour	66
Photographies de grue à tour	68
Nacelle élévatrice	69
Anatomie de nacelle élévatrice	69
Applications courantes de nacelle élévatrice	70
Photographies de nacelle élévatrice	71
CHAPITRE 5: CHOISIR L'ÉQUIPEMENT LOURD	72

Sélection de l'équipement en fonction de la nature de l'activité	73
Sélection du système de mobilité en fonction des conditions du site	76
CONCLUSION	77
BIBLIOGRAPHIE	79

PRÉFACE

Ce bouquin constitue une synthèse de recherches élaborées à partir de notes que j'ai prises dans le cadre d'un travail professionnel. La raison principale pour laquelle je pense que ces notes seront utiles à d'autres personnes est de les avoir trouvées indispensables pour ma propre pratique, mais non disponibles sous une telle forme.

Identifier les besoins en machines et prendre des décisions en vue de l'acquisition d'équipement dans le cadre d'un projet ou d'un programme est une compétence critique attendue de tout personnel cadre de la construction en général et du project manager, du conducteur de travaux ou de l'économiste de la construction en particulier. Force est de constater cependant que telle compétence n'est pas suffisamment développée par le système d'enseignement professionnel en Côte d'Ivoire pour diverses raisons.

Ce livre constitue une introduction au vaste sujet qu'est la gestion de l'équipement. Il est consacré à la machinerie lourde entrant dans le cadre des travaux impliquant du terrassement, du compactage de sol ou le levage de personnes ou de matériaux.

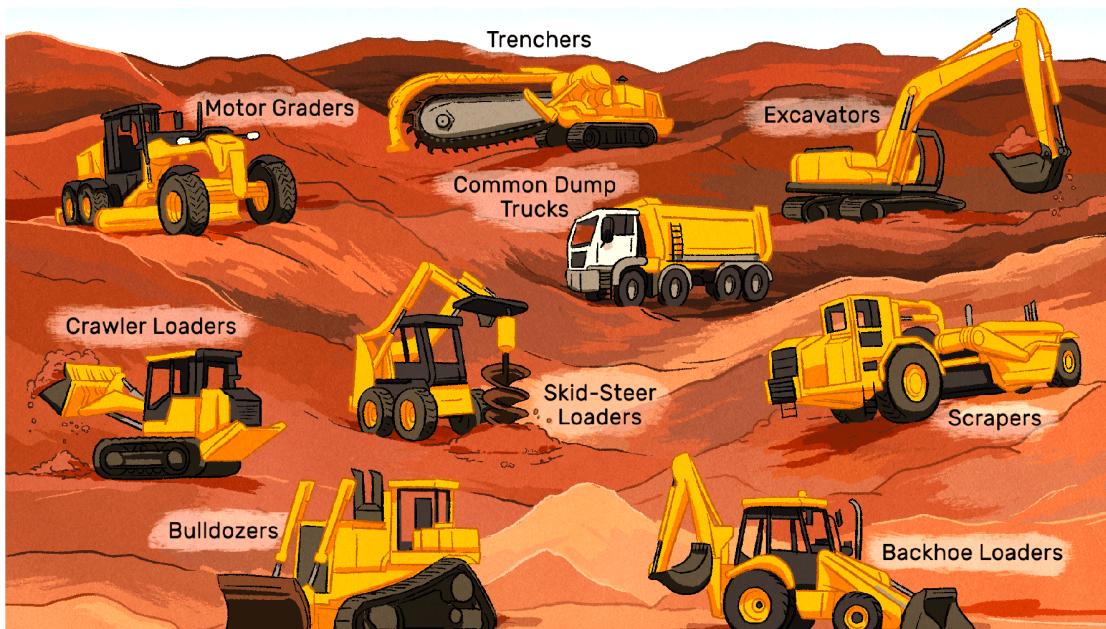
J'ai mis un point d'honneur à assembler les matériaux du livre de façon à en faire un document pratique, qui permettrait à tous ceux et celles qui le souhaitent, de se familiariser avec la gestion de l'équipement lourd en usage dans les travaux de construction.

Enfin, j'ambitionne que cet ouvrage constitue une référence précieuse pour un large éventail d'individus et d'organisations du secteur de l'architecture, de l'ingénierie et de la construction.

E-mail de l'auteur : jm.ntakpe@gmail.com

© Jérémie N'takpé 2019

INTRODUCTION



Par équipement de construction, on entend tous ces véhicules et ces machines, destinés à la construction de nos cadres de vies. Ces outils caractérisent l'affranchissement de l'Humain sur les forces brutes de la Nature. Ils ont décuplé de façon spectaculaire la force de travail humaine et permettent d'effectuer des tâches, autrefois ingérables ou difficiles à accomplir pour les humains seuls. Bâtiments et autres structures artificielles, qui peuplent notre cadre de vie contemporain, impliquent dans leur réalisation, l'intervention de l'équipement de construction.

L'acte de construire a vu la gestion de l'équipement et de la machinerie de chantier passer du statut d'une fonction marginale à celui d'un des facteurs critiques du succès d'un projet. Dorénavant, à toutes les tâches qui sont traditionnellement dévolues, au project manager, au planificateur de projet, à l'estimateur, ou au chef de chantier, s'ajoute désormais celle du choix optimal de l'équipement ou de la combinaison de machines appropriées au travail à exécuter.

Quoique plusieurs personnes les aient déjà vues, elles toutes ne peuvent pas les classer correctement et seule une niche d'entre elles connaissent de près, les types courants de machines de construction utilisés dans les projets et leurs caractéristiques essentielles.

Avec cet ouvrage, nous tentons de changer ce constat par une vulgarisation technologique autour de la question spécifique de l'équipement lourd. Les machines et technologies qui y sont décrites sont celles couramment utilisées dans la plupart des travaux de construction. Il est rédigé en six chapitres, dont le premier traite de généralités. Ce chapitre porte sur l'histoire et le rôle de l'équipement lourd dans la transformation de l'industrie de la construction et son impact sur notre société. Il est suivi du second chapitre qui aborde le processus de terrassement général et les machines qui y sont impliquées. Le troisième chapitre aborde le processus de compactage et ses équipements. Le quatrième chapitre éclaire le nivellement, la finition et les machines-outils concernées. Le cinquième chapitre regroupe les moyens de levage de matériaux, de matériel et de personnel. Enfin le dernier chapitre du livre donne des tableaux et astuces pour la sélection de modèles de machines et la mise en place d'un flotte de machines lourdes dans le cadre d'un projet.

CHAPITRE 1 : ÉQUIPEMENT LOURD DANS LA CONSTRUCTION

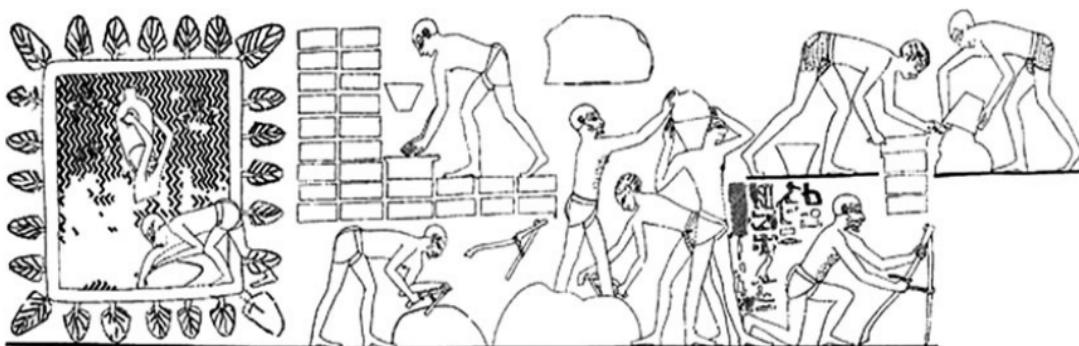
L'équipement lourd s'inscrit dans une longue tradition d'évolution technologique dont l'origine remonte aux premiers outils inventés par l'Homme. Ces outils permettent aux hommes de se nourrir et aussi de construire des abris. Avec le temps, les Hommes acquièrent du savoir qui permettent d'améliorer leurs outils. Ces outils en s'améliorant, permettent d'augmenter la quantité et la rapidité avec lesquelles les travaux de construction sont effectués, augmentant dans la foulée l'ampleur et la complexité des projets de construction.

Evolution historique de l'équipement lourd

L'observateur attentif se rendra compte que l'évolution historique connue par l'équipement lourd peut être formalisée au travers d'une succession d'ères technologiques qu'a connu le monde. Ces ères technologiques correspondent à des périodes d'innovation qui ont porté soit sur la source d'énergie, le mode de déplacement ou sur l'architecture générale de la machine.

Ère des énergies humaines et animales.

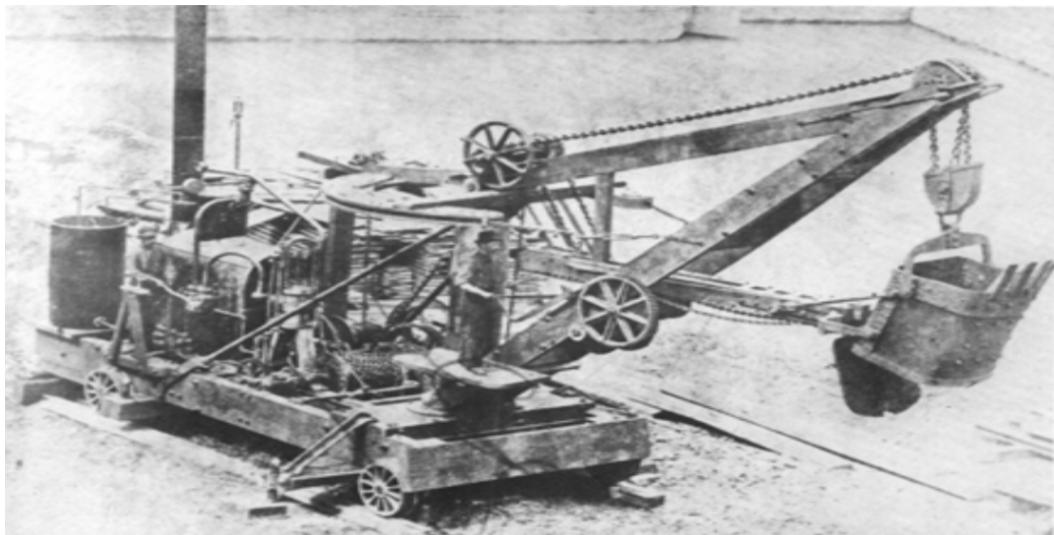
Les débuts de la machinerie en construction furent modestes. Les premières sociétés bâtisseuses de l'humanité telle que l'Egypte antique ont initié les travaux de génie civil en faisant usage d'outils, tels que les charrettes ou les poulies, alimentés par les seules énergies humaines et animales associées avec deux ou trois principes physiques de base comme le principe de levier. Pourtant il est fondé de considérer que l'évolution des machines de génie civil n'est rien d'autre qu'une simple amélioration de l'utilisation de ces pratiques de l'époque auquel on a accolé une source d'énergie pour la motricité.



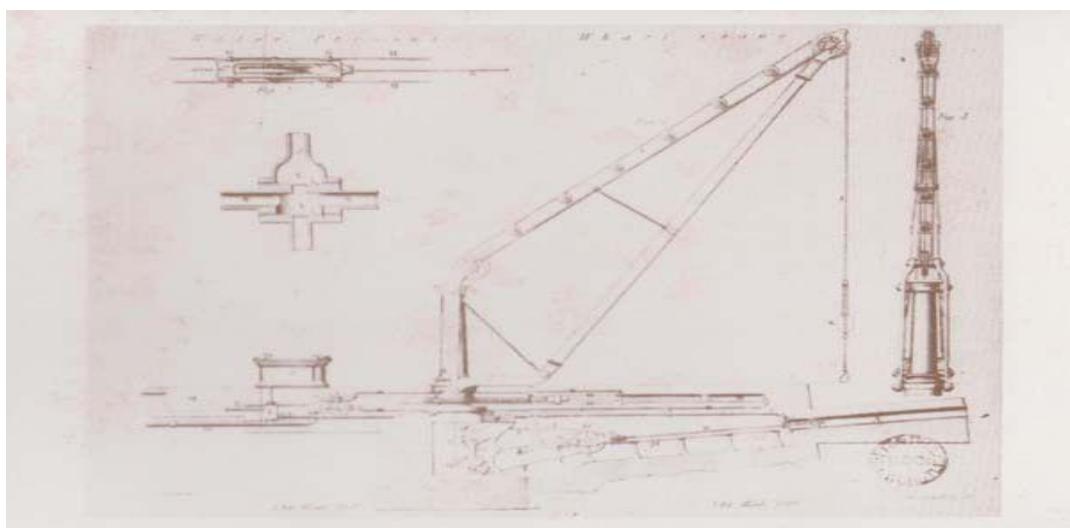
Ère de la vapeur, le rail et le fer

Les premières machines à vapeur de travaux publics (et leur rail qui fut probablement d'un rôle au moins aussi important que la vapeur dans la mutation de l'outil de travaux publics en machine) furent lancées durant la première partie du 19ème siècle.

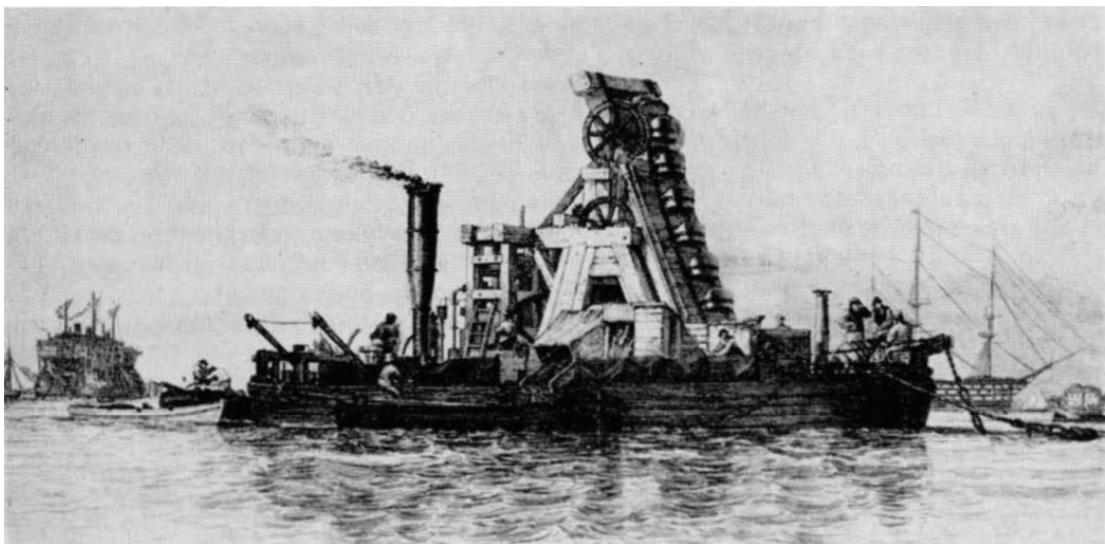
En 1835, William S. Otis conçoit la pelle mécanique à simple godet afin de réduire les coûts d'excavation pour la construction de voies ferrées. Elle est équipée d'un moteur à vapeur comme source d'énergie. Typiquement, la machine est constituée d'un bras monté sur un wagon de rail comme mode de déplacement. Un godet suspendu à un câble, pouvant s'enrouler à travers un système de poulies attachées au bras, permet de lever le matériau.



En 1845, William Armstrong, développe la première grue hydraulique pour le chargement de charbon sur des barges de Quayside en Angleterre.



Les dragues à godets à vapeur apparaissent aux Pays-Bas vers 1860. Il faudra attendre une vingtaine d'années supplémentaires pour que se généralisent véritablement les pelles mécaniques à vapeur et les grues mobiles à vapeur



En 1868, le Garrett 4CD à moteur à vapeur, premier tracteur à moteur, est inventé en Angleterre. Il est monté sur des routes. Le développement de ce tracteur lance la course des manufacturiers aux machines lourdes pour la construction. Beaucoup d'engins seront développés en association avec le tracteur qui assurera la mobilité.

En 1886, Benjamin Holt invente sa première moissonneuse batteuse. Ces moissonneuses-batteuses étaient des combinaisons coûteuses d'engrenages, de courroies et de manches nécessitant jusqu'à 40 chevaux pour fonctionner. Même une légère provocation, telle que le bruit d'un engrenage ou une piqûre d'abeille, pouvait causer un affolement des bêtes qui endommagaient alors les pièces et ce qui engendrait des réparations coûteuses. Ce problème et la difficulté de contrôler autant d'animaux ont mis en évidence la nécessité d'une source d'énergie plus compacte.



Malgré tout ces premières machines restent peu convaincantes et difficiles à opérer ou sont facilement endommageables. Les outils traditionnels basés sur l'homme ou l'animal restent dominants pour la majeure partie du siècle, n'entamant leur repli que vers les années 1870.

Ère du moteur à explosion

Les premiers moteurs puis le diesel permirent un allégement et une plus grande autonomie des machines. On adapte alors quelques systèmes restés jusqu'alors hippomobiles tels que la lame de nivellement.

En 1885, Karl F. Benz invente le moteur à combustion à essence avec la première automobile. Cette nouvelle source d'énergie est intégrée dix ans plus tard aux tombereaux, qui étaient essentiellement conçus comme des versions motorisées élargies de la brouette. Ainsi, Gottlieb Daimler invente le premier camion motorisé de l'histoire en 1896.

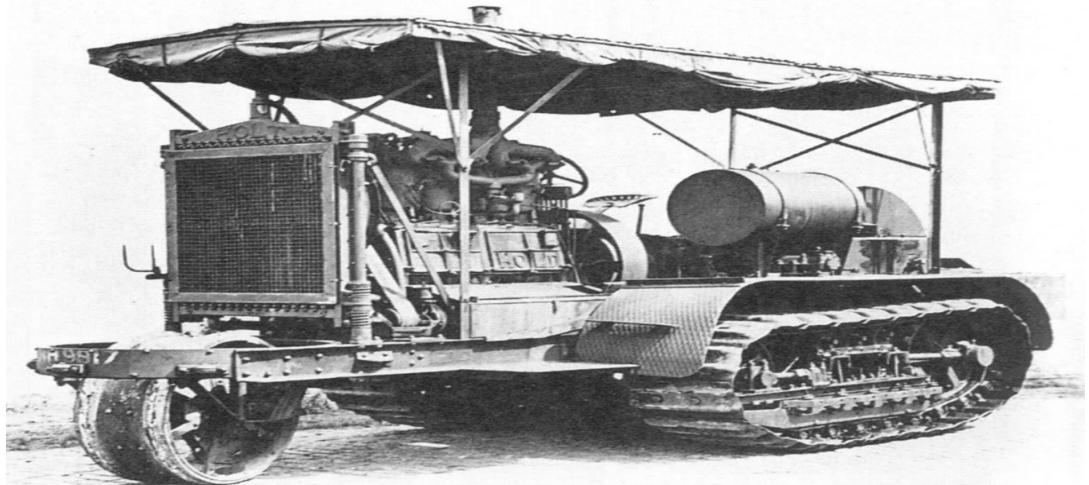


En 1892, John Froelich invente le tracteur où le moteur à essence remplace avec succès la traction animale.



Au cours de cette même année 1892, Rudolf C. K. Diesel ajoute une nouvelle branche à l'arbre de l'Histoire de la technologie en inventant le moteur diesel, moteur à allumage par compression nommé en son honneur, qui est depuis devenu le principal type de puissance pour les machines de construction.

En 1904, Benjamin Holt invente le premier tracteur à vapeur sur chenilles. Une nouvelle direction pour l'industrie se dessine car les roues arrières sont remplacées par des chenilles. La roue avant, appelée alors la barre, sera remplacée dans les années qui suivent.



Dans les années 1920, la première chargeuse est fabriquée et comprend un godet à câble fixé à l'avant. Les matériaux sont chargés dans le godet en propulsant la machine dans le tas de terre. D'autres machines de construction, telles que le bulldozer et la pelle hydraulique, sont également inventées.



En 1932, R. G. LeTourneau développe la première décapeuse sur pneus en caoutchouc. Elle est actionnée par des câbles attachés à un tracteur qui la remorque. Ces améliorations deviennent la norme de l'industrie.



Les années 1950 - 1970 voient également le lancement de nombreux projets urbains de reconstruction dans les pays occidentaux, au lendemain de la 2ème guerre mondiale, qui engendrent une forte demande en équipement. Ce sont les années de plein essor de l'industrie de l'équipement.

Les années 1970 annoncent la décennie des gratte-ciel à ossature d'acier dans les zones métropolitaines occidentales. Les efforts de développement de l'industrie des machines sont concentrés sur la construction de grues mécanisées avec des systèmes de contrôle plus sûrs et plus fiables pouvant desservir des hauteurs et des capacités supérieures.



Ère de l'électronique

En 1963 apparaît sur une nivelleuse un équipement électronique. Jusqu'à aujourd'hui, l'électronique est le principal moteur de l'innovation dans le domaine de l'équipement. Elle a introduit de nouveaux usages grâce aux capteurs, aux sondes, au laser etc... qui permettent des applications intéressantes telles que : contrôle des machines, assistance au pilotage ou au positionnement, optimisation de la puissance utilisée, sécurité par exemple pour les dispositifs anti-collision des grues, mesures des différents paramètres relatifs aux matériaux transportés ou mélangés.

Des technologies comme le guidage par GPS, le Universal Machine Control de Case qui fournit un système de guidage et de frein universel au marché, le INTElligent User Interface de Liebher qui repose sur l'internet des objets, ou encore le moteur électrique pour les bulldozers de Caterpillar sont des évolutions récentes pour l'industrie de l'équipement lourd.

Perspective pour l'industrie de l'équipement lourd

En 2019, Zion Market Research a publié un nouveau rapport intitulé "Perspective mondiale de l'industrie, analyse complète et prévision, pour 2018-2025". Selon le

rapport, le marché mondial de l'équipement lourd de construction était évalué à 145 milliards USD en 2018 et devrait atteindre 231,3 milliards USD en 2025, avec un TCAC de 6,9% entre 2019 et 2025.

Dans ce rapport, le marché mondial de l'équipement lourd de construction est classé en fonction du type, de l'application et du secteur de l'utilisateur final. Selon le classement par type, le marché mondial de matériel lourd de construction comprend la manutention, les véhicules lourds de construction, les travaux de terrassement et autres. Le segment des engins de terrassement détient la plus grande part de marché en 2018, en raison de la demande croissante en engins de terrassement dans divers secteurs tels que les mines, la construction, le pétrole et le gaz. De plus, le segment de la manutention devrait connaître la croissance la plus rapide des prochaines années.

Selon le classement par application, le marché est segmenté en levage lourd, excavation et démolition, transport, recyclage et gestion des déchets, construction de tunnels et manutention. Le secteur de l'excavation et de la démolition a contribué pour la plus grande part au marché mondial de l'équipement lourd de construction en 2018 et devrait également dominer dans les années à venir.

Selon le classement secteur d'utilisation finale, le marché comprend la construction et la fabrication, les travaux publics et les chemins de fer, le pétrole et le gaz, les mines et autres. En 2018, le secteur de la construction et de la fabrication a dominé le marché mondial et devrait continuer à dominer à l'avenir.

Sur le plan régional, l'Asie-Pacifique a représenté la plus grande part du marché mondial en 2018 et devrait également occuper une position de leader sur le marché. De plus, la Chine devrait à l'avenir dominer ce marché régional, du fait de la modernisation de son infrastructure de transport par le gouvernement chinois dans le cadre de projets tels que le chemin de fer national à grande vitesse et le réseau 7918. Ainsi, l'infrastructure ferroviaire devrait conduire le marché de l'équipement lourd de la région.

Le marché de l'équipement lourd de construction en Afrique et au Moyen-Orient devrait connaître une forte croissance en raison de la demande croissante en machines lourdes de construction dans l'industrie du pétrole et du gaz.

JC Bamford Excavators Ltd., AB Volvo, Hitachi Construction Machinery Co. Ltd., Caterpillar, Inc., Komatsu Ltd., Doosan Infracore Co. Ltd., Hyundai Heavy Industries

Co. Ltd. ., Groupe Liebherr, Terex Corporation, Sany Heavy Industries Co. Ltd., Deere & Company, Groupe Xuzhou Construction Machinery Co. Ltd., et Shandong Heavy Industry Group Co. Ltd., entre autres.

Certains acteurs clés du marché mondial des équipements de construction lourde sont actuellement JC Bamford Excavators Ltd., Volvo, Hitachi Construction Machinery Co., Caterpillar, Inc., Komatsu, Doosan Infracore Co., Ltd., Hyundai Heavy Industries, Ltd., Groupe Liebherr, Terex, Sany Heavy Industries Co. Ltd., Deere & Company, le groupe de machines de construction Xuzhou et le groupe d'industries lourdes du Shandong, entre autres.

Rôle de l'équipement lourd de chantier

Dans le cadre d'un projet de construction, le type d'équipement mobilisé dépend de la nature des travaux. Des travaux de construction lourds vont toujours de pair avec des équipements à grand volume ou à grande capacité. Le tableau ci-dessous illustre cette corrélation entre la nature de la construction et le type d'équipement couramment utilisé.

Nature de la construction	Type d'équipement	Travaux
Logement	léger	Travaux de finition du chantier, Fouilles de fondations, Travaux de déblais, Levage jusqu'à trois étages, Outils de montage pneumatiques
Commercial	Modéré	Travaux de terrassement et de finition, Stabilisation et compactage, Levage d'Hommes et de matériaux sur plusieurs étages, Divers types d'assemblage et d'équipement de support
Industriel	Lourd	Gros volume de travaux en gros oeuvre et en finition, Stabilisation et compactage, Mouvement des matériaux au sol et le long de la structure, Levage sur plusieurs étages et pose de précision, Divers types d'équipements spéciaux pour le montage et le support

Infrastructures routières	Intense	Nombreuses purges de sols Excavation et mouvement massifs de matériaux, Stabilisation et compactage, Déplacement et levage de matériaux, Pavage et finition en béton et en asphalte, Divers types d'équipements spéciaux de support.
Ouvrages particuliers	Intense	Barrage, pipeline, production électrique, ligne de transport, construction en acier, chemin de fer, offshore, battage de pieux, exploitation forestière, pompage de béton, forage et sciage, etc.

Ainsi, la nature du chantier, et les divers contraintes de temps du projet conditionnent le niveau d'équipement à mobiliser. En retour, le choix du type et de la taille appropriés d'équipement de construction aura une incidence sur le temps et les efforts requis et, partant, sur la productivité du chantier.

CHAPITRE 2 : TERRASSEMENTS GÉNÉRAUX

Le terrassement est un processus de construction qui consiste à déplacer des quantités importantes de matériaux à des fins diverses. Il modifie définitivement la topographie et le paysage du site sur lequel il est exécuté, en créant des ouvrages en terre soit en remblai soit en déblai. Le terrassement fait intervenir trois actions principales à savoir l'excavation, le chargement et le transport.

L'excavation consiste à creuser un terrain pour en extraire le plus grand volume de matériaux possible. Lorsque cette opération se fait sans se soucier des fosses qui se créent on parle de creusement. Les machines lourdes favorites pour le creusement sont les pelles hydrauliques, les tractopelles et les draglines. Lorsque par contre l'excavation requiert un aplanissement du terrain à la suite de l'intervention, on parle de décaissement ou arasement. Les machines spécialisées dans ce type de travaux sont les bulldozers et les décapeuses. Enfin, on dispose de machines spécialisées dans la réalisation de tranchées appelées les trancheuses.

Le chargement consiste en la récupération des matériaux excavés et leur déchargement dans des zones proches ou dans des unités de transport en charge de l'évacuation des matériaux. Les machines spécialisées pour ce type de travaux sont appelées les chargeuses.

Le transport durant le processus de terrassement est généralement assuré par les tombereaux qui constituent les unités de transport privilégiées de la construction.

Les lignes qui vont suivre serviront à présenter chacune de ces machines, leurs caractéristiques et leurs applications usuelles.

Pelle hydraulique (Shovel)

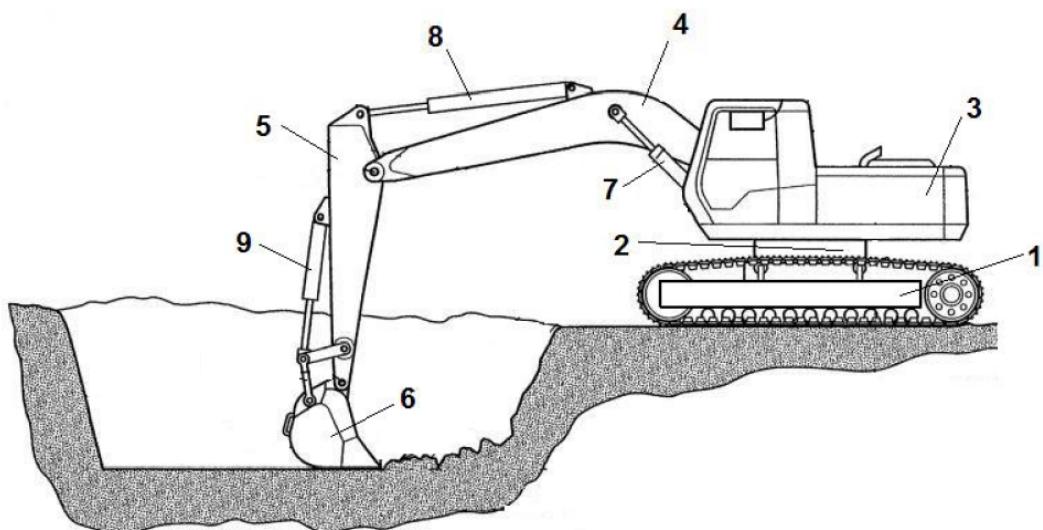
La forme la plus répandue d'excavatrice est la pelle hydraulique. Équipée d'une pelle en partie frontale, cette machine est principalement conçue pour les travaux d'excavation souterraine de masse. Les pelles conviennent au creusement de tranchées et des fosses pour les sous-sols, et dans une moindre mesure des travaux de nivellement général.

Le cycle de travail d'une pelle hydraulique comprend quatre opérations : (1) le creusement, (2) le soulèvement et rotation, (3) déchargement des matériaux, (4) remise en station.

Anatomie de pelle hydraulique

Une pelle hydraulique est constituée de trois parties essentielles :

- un châssis monté soit sur pneus, chenilles ou camion-remorque
- une tourelle qui accueille la cabine, le moteur et les organes hydrauliques
- une pelleteuse qui comprend le bras, la flèche, le balancier et le godet



1. Train de roulement à chenilles
2. Mécanisme de pivot 360°
3. Compartiment à moteur
4. Bras
5. Balancier

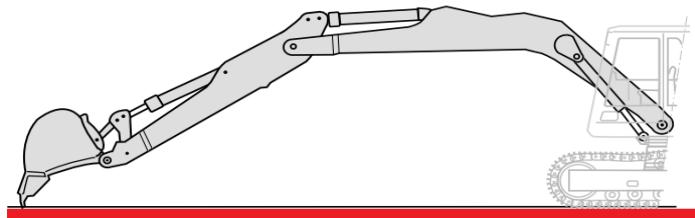
6. Godet
7. Vérin du bras
8. Vérin du balancier
9. Vérin du godet

Variante de pelle hydraulique

Selon le fonctionnement du godet, on distingue deux types courant de pelles hydrauliques.

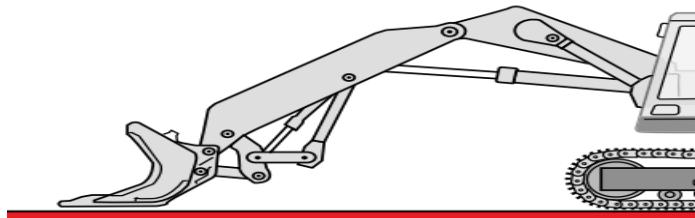
Pelleteuse retro

Monté sur le balancier, le godet retro travaille dans la direction de la machine. Il sert aux excavations souterraines.



Pelleteuse en butte

Le godet travaille dans la direction opposée à la machine. Elles servent au terrassement au dessus du sol comme les carrières.



Photographies de pelle hydraulique

