



Modalités de calcul et de planification

Table des matières

1.	PHASES DE TERRASSEMENT	3
1.1	découpage.....	3
1.2	Enchaînement des phases : graphe.....	3
2.	CALCULS : RENDEMENTS, COUTS ET QSE	8
2.1	Coûts.....	8
2.2	Rendements	9
2.2.1	Préparation / (Traitement).....	9
2.2.2	Extraction.....	10
2.2.3	Transformation.....	11
2.2.4	Transport (hors couple Pousseur / Scrapeur).....	11
2.2.5	Régalage.....	12
2.2.6	Compactage.....	12
2.2.7	Traitement.....	12
2.2.8	Réglage.....	12
2.3	QSE.....	13
2.3.1	Qualité.....	13
2.3.2	Sécurité.....	13
2.3.3	Environnement.....	13
3.	REMONTEE DES RESULTATS	14
3.1	Coûts.....	14
3.1.1	Coût du Chantier.....	14
3.1.2	Coût des mouvements.....	14
3.1.3	Coût d'un mouvement.....	14
3.1.4	Coût d'un échelon.....	14
3.1.5	Coût d'un matériel.....	14
3.1.6	Coûts d'installation (équipements et prestations).....	14
3.2	Rendements.....	15
3.2.1	Rendement du Chantier (m3/j).....	15
3.2.2	Rendement d'un mouvement (m3/j).....	15
3.2.3	Rendement d'un échelon (m3/j)	15

1 PHASES DE TERRASSEMENT

1.1 DÉCOUPAGE

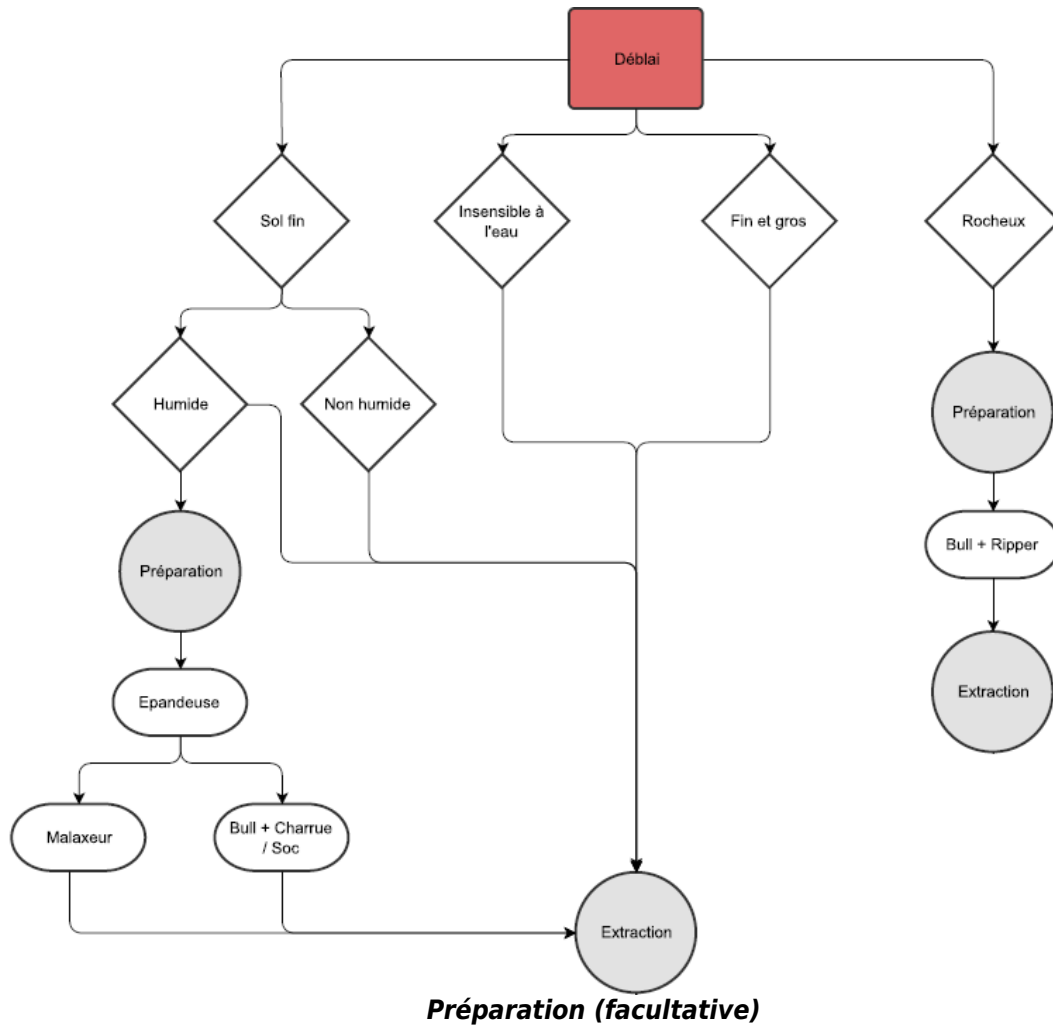
Afin de comprendre le rôle de chaque engins et l'enchaînement réel des tâches réalisées sur un chantier de terrassement, Terrassor s'appuie sur des **phases** (ou fonctions) qui correspondent au séquençage des opérations de terrassement en déblai puis en remblai.

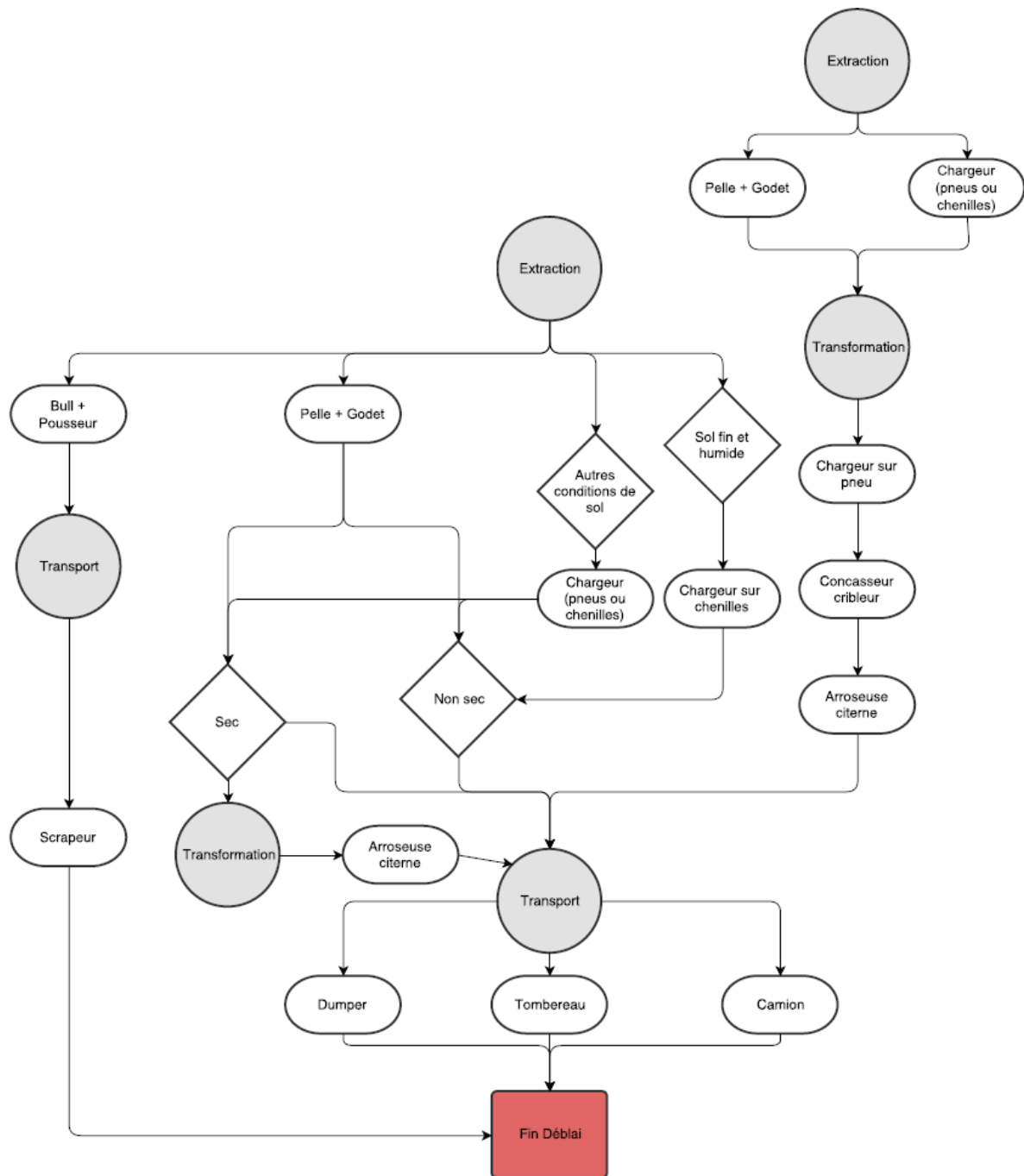
Fonctions (phases)
➤ Préparation ➤ Extraction ➤ Transformation ➤ Transport ➤ Régilage ➤ Traitement ➤ Compactage ➤ Réglage

1.2 ENCHAÎNEMENT DES PHASES : GRAPHE

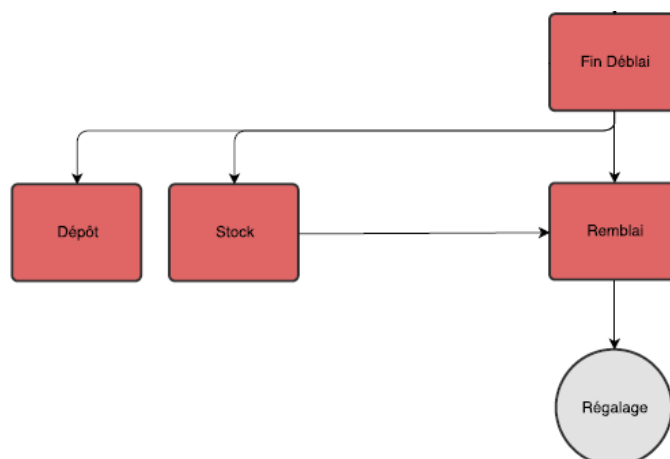
Les phases listées ci-dessus peuvent être opérées par différents engins, notamment en fonction des conditions d'humidité du chantier.

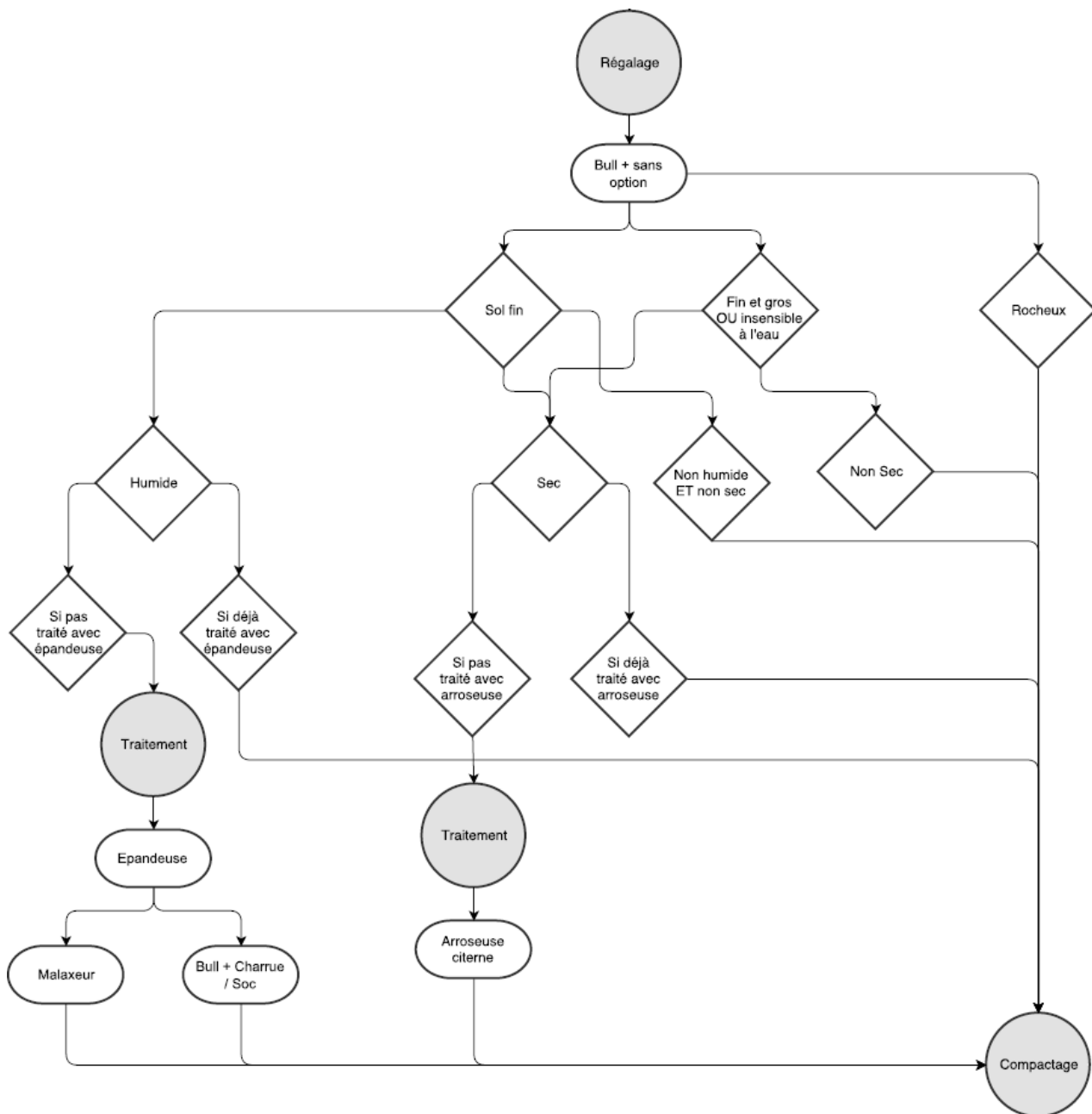
Le graphe (découpé pour les besoins de ce document) **résume les choix possibles sur le chantier. Il sert de base à la conception du simulateur.**

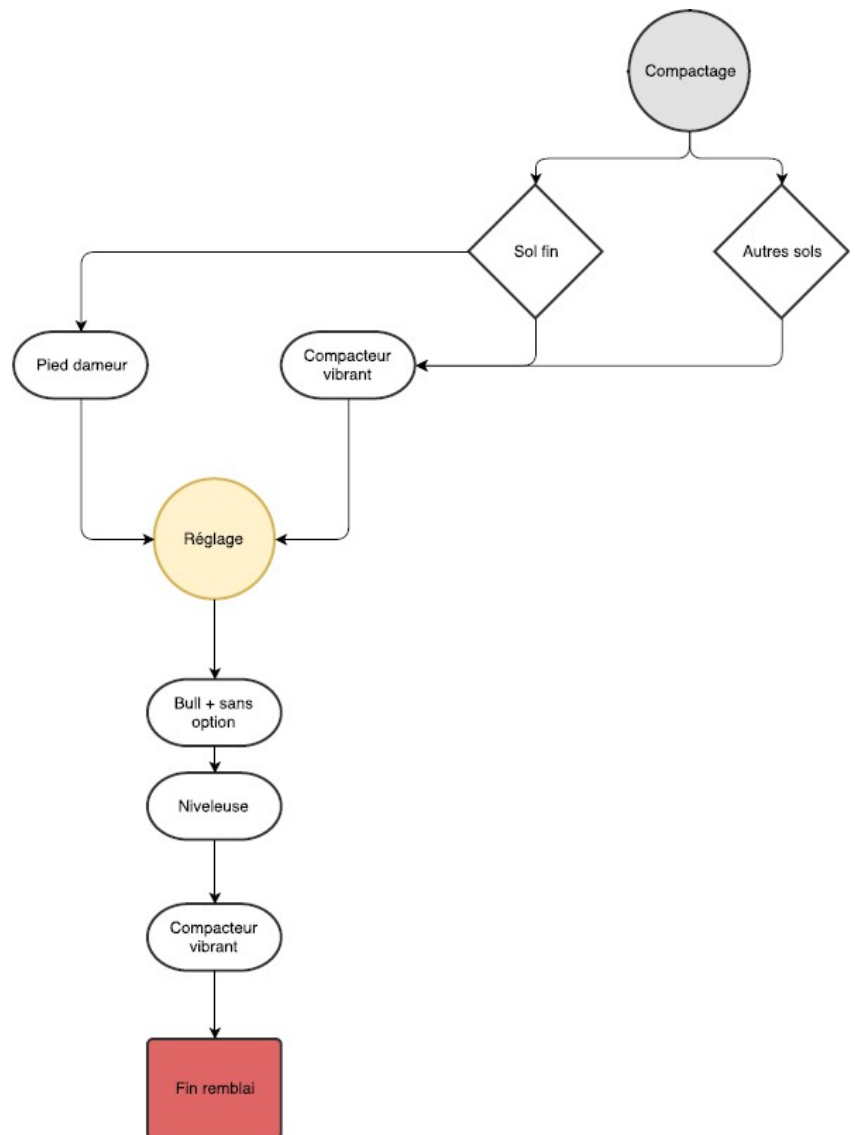




De l'extraction au transport



Déblai, dépôt, Stock et Remblai**Régalage et traitement**

**Compactage et réglage**

2 CALCULS : RENDEMENTS, COUTS ET QSE

L'évaluation de l'élève par le simulateur induit le calcul d'un certain nombre d'indicateurs de « performance » (délais, coûts, QSE).

La tenue de ces indicateurs nécessite, pour chaque engin, des calculs de rendements et de coûts. La définition des formules de calcul nous permettra d'établir la liste des paramètres nécessaires et suffisants à la bonne marche du simulateur.

2.1 COÛTS

Pour chaque engin, nous différencions des coûts fixes, les coûts d'usage et les coûts d'inactivité. De cette façon, il sera possible de calculer précisément les coûts globaux en fonction des usages.

Coûts fixes

Coût fixe = Coût de transfert

Coûts d'inactivité

Coût d'inactivité = Amortissement à la journée ou location

Coûts d'usage

Coût d'usage = Amortissement à la journée ou location + Conso carburant + Coût d'entretien + Coût main d'œuvre

Pour chaque engin, les paramètres de coûts requis sont donc :

- Coût de transfert (€)
- Amortissement à la journée ou location (€/j)
- Conso carburant (l/h)
- Coût d'entretien (€/h)
- Coût main d'œuvre (€/h)

2.2 RENDEMENTS

Les rendements sont calculés engin par engin. Chaque engin peut posséder un rendement différent selon la fonction qu'il remplit. On va donc lister les rendements des engins pour chaque fonction (phase).

Les rendements sont corrigés en fonction du paramètre d'efficacité chantier. Pour chaque engin, on peut connaître son rendement « direct » ou le calculer à partir de ses paramètres et des conditions de chantier (sols, environnement ...).

IMPORTANT : les paramètres nécessaires au simulateur sont indiqués en **bleu (engins) ou **vert** (chantier)**

2.2.1 Préparation / (Traitement)

Par convention, nous appelons « Préparation » les opérations de traitement du sol faites avant extraction et « Traitement » celles qui sont faites après extraction et transport.

Selon les conditions de sol et les indications données par le simulateur, une préparation peut être nécessaire. Cette préparation est faite par le couple « Bull / Ripper » ou par une Épandeur associé à un Malaxeur ou à un couple « Bull / Charrue Soc ».

Préparation	Préparation et traitement	Traitement
Bull + Ripper Rendement moyen en m3/h	Épandeur Rendement moyen en m3/h Bull + Charrue soc Rendement moyen en m3/h Malaxeur Rendement moyen en m3/h (selon type de sol) Le rendement total est le minimum de celui de l'épandeur ET de celui (du Bull OU du Malaxeur)	Arroseuse citerne Rendement moyen en m3/h

2.2.2 Extraction

Il faut distinguer deux filières de production : une filière que nous qualifierons de « standard » (extraction PUIS transport) ainsi qu'une filière spécifique « pousseur / scrapeur » (extraction ET transport liés).

Pelle + Godet	Chargeur sur chenilles	Chargeur sur pneus
Le rendement en m3/h est calculé par la formule suivante : $(60 / \text{Durée du cycle}) * (\text{Capacité} * \text{Coef remplissage} / \text{Coef foisonnement})$ La durée du cycle est celle de l'engin. La capacité est celle de l'engin ou pour la pelle, celle du godet qui lui est associé. Le coefficient de remplissage est lié à la nature du sol.		

Pousseur (bull) ET Scrapeur (décapeuse)														
Le rendement en m3/h est calculé par la formule suivante : $(60 / \text{Durée du cycle}) * \text{Charge utile} * \text{Nombre de décapeuses}$														
La durée de cycle est égale à : Temps fixes + Durée « parcours Peine charge » + Durée « parcours à Vide » - Les temps fixes sont donnés par le tableau ci-dessous en fonction de la vitesse moyenne du Pousseur, cette moyenne est celle de la Vitesse en charge et de la Vitesse à vide. <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Temps fixes (en minutes)</th><th colspan="3">Vitesse moyenne</th></tr> <tr> <th>Jusqu'à 15 km/h</th><th>Jusqu'à 25 km/h</th><th>Jusqu'à 100 km/h</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td><td>1,9</td><td>2,3</td><td>3</td></tr> </tbody> </table> - La Durée « parcours Peine charge » est égale à : $\text{Distance} / \text{Vitesse en charge} * 60$ - La Durée « parcours à Vide » est égale à : $\text{Distance} / \text{Vitesse à vide} * 60$				Temps fixes (en minutes)	Vitesse moyenne			Jusqu'à 15 km/h	Jusqu'à 25 km/h	Jusqu'à 100 km/h		1,9	2,3	3
Temps fixes (en minutes)	Vitesse moyenne													
	Jusqu'à 15 km/h	Jusqu'à 25 km/h	Jusqu'à 100 km/h											
	1,9	2,3	3											
La charge utile est égale au minimum des capacités du Scrapeur en Volume et Poids : $\min(\text{Capacité volume} / \text{Coef foisonnement}, \text{Capacité poids})$ Le poids dépend de la Masse volumique du sol.														
Le Nombre de décapeuses est égal au minimum du nombre de décapeuse choisi par l'élève et du nombre maximum de décapeuses (dMax) qui peuvent être poussées par le Bull. Ce nombre est fonction de la durée du cycle et de la constante (pMax) adoptée sur les chantiers : « Un pousseur pousse 50 décapeuses par heure », soit pMax = 50. La formule est : $dMax = \text{ENT}(\text{Durée du cycle} * pMax / 60)$														
NB : le rendement obtenu est un rendement pour une phase « Extraction / Transport » indissociables.														

2.2.3 Transformation

La transformation éventuelle se fait par un Concasseur cribleur alimenté par un chargeur sur pneus. Le produit du concassage est humidifié à l'aide d'une Arroseuse citerne. Il est possible que seule l'Arroseuse citerne soit utilisée.

Chargeur sur pneus Le rendement en m3/h est calculé par la formule suivante : $(60 / \text{Durée du cycle}) * (\text{Capacité} * \text{Coef remplissage})$ La durée du cycle est celle de l'engin. La capacité est celle de l'engin ou pour la pelle, celle du godet qui lui est associé. Le coefficient de remplissage est lié à la nature du sol.	Arroseuse citerne Rendement moyen en m3/h
Concasseur cribleur Le rendement en m3/h est calculé par la formule suivante : Rendement en m3/h = Rendement moyen (en t/h) / Masse volumique du sol	
Arroseuse citerne Rendement moyen en m3/h	
Le rendement total est le minimum de ceux du chargeur, du concasseur et de l'arroseuse	

2.2.4 Transport (hors couple Pousseur / Scrapeur)

Le rendement du transport est à lié aux engins de transport ET à l'engin d'extraction. L'idée est de trouver le nombre d'engins de transport qui « couvriront » la production de l'engin d'extraction. Au delà de ce nombre, les engins de transport surnuméraires seront inutiles.

Tombereau	Dumper	Camion
Le rendement de l'engin de transport est calculé de la façon suivante : $\text{Rendement} = \text{Volume transporté} * (1/\text{Total cycle})$		
Le Volume transporté (V) est fonction du sol et de l'engin : $V = \text{MIN}(\text{Capacité nominale (de l'engin)} / \text{Coef foisonnement (fonction du sol)} \text{ ET } \text{Charge utile} / \text{Masse Volumique en place})$		
La durée totale du cycle est égale à la somme des temps de Chargement, Transport aller, Déchargement et Transport retour. - Le temps de Chargement est égal au Volume transporté divisé par la Production horaire de l'engin d'extraction. - Le temps de Transport aller est égal à la Distance du mouvement divisée par la Vitesse moyenne en charge (de l'engin). - Le temps de Déchargement est celui de l'engin de transport. - Le temps de Transport retour est égal à la Distance du mouvement divisée par la Vitesse moyenne à vide (de l'engin).		
Le nombre d'engin de transport à prévoir est égal à l'arrondi supérieur entier de la Production horaire de l'engin d'extraction divisée par la Production horaire de l'engin de transport.		

2.2.5 Régalage

Bull (Sans option)
Rendement moyen en m³/h

2.2.6 Compactage

Le compactage est nécessaire sur les remblais. Il peut être réalisé via un Compacteur vibrant ou un Pied-dameur.

Compacteur vibrant	Pied-dameur
Le rendement est donné par la formule suivante : $\text{Rendement} = \text{Largeur} * N/n * Q/L * \text{Efficience des compacteurs}$ où pour le compacteur : Largeur = Largeur de compactage N/n = Nombre d'application de charge / nombre de passes Q/L = Débit par unité de largeur de compactage On note que les compacteurs possèdent des Q/L différents pour chaque types de terre.	

2.2.7 Traitement

cf. Préparation / (Traitement)

2.2.8 Réglage

Le réglage est une action obligatoire sur le chantier qui peut être exigée (ou mise de côté) lors de la simulation. C'est le concepteur de l'épure qui en décide.

Bull sans option Rendement moyen en m²/h On transforme le rendement (R2) de l'engin en m² en une valeur en m³ (R) à l'aide d'une constante chantier d'épaisseur du réglage (kE = 0,25m). $R = R2 * kE$
Niveleuse Rendement moyen en m²/h On transforme le rendement (R2) de l'engin en m² en une valeur en m³ (R) à l'aide d'une constante chantier d'épaisseur du réglage (kE = 0,25m). $R = R2 * kE$
Compacteur vibrant Le rendement est le même que pour les opérations de compactage.

2.3 QSE

2.3.1 Qualité

Les indicateurs qualités sont basés sur le **bon emploi des machines au regard des conditions de chantier** (sols et humidité) et au long des phases du déblai / remblai.

A/ Bonus

Phase (réalisée avec les bons engins)	Bonus « Q » *
Préparation	4
Transformation	4
Traitement	4
Compactage	4
Réglage **	4

* Le « bonus Qualité » est accordé pour chaque mouvement – il n'est donc pas possible de le cumuler par la multiplication des échelons sur un même mouvement. Le minimum des bonus de chaque échelon est donc accordé à un mouvement (la non qualité d'un échelon impacte l'ensemble du mouvement)

** Réglage : Le réglage est traité dans le simulateur comme un mouvement à part. On permet cependant à l'élève de lancer la simulation sans avoir planifié son réglage. Ceci pourra générer des « oublis » et donc des corrections pour expliquer à l'élève le caractère décisif de la bonne réalisation de cette opération.

B/ Malus

Chaque incohérence dans la planification du chantier – interdisant la simulation - et qui entraîne une demande de replanification engendre un malus de -2 points.

2.3.2 Sécurité

Pour chaque zone de déblai ou remblai, l'indicateur « Sécurité » est donné par la **concentration d'engins** sur la zone.

La cotation est donnée « au kilomètre », on fait donc le rapport entre la longueur de la zone et la cotation kilométrique (simple règle de 3) pour donner la valeur sur la zone de cubature.

NB : les engins de transport sont comptés sur chaque zone de déblai ou remblai traversée avec un coefficient réducteur (au ratio de la longueur des cubatures traversées).

Nombre d'engins par km	Bonus « S »
0 à 3	4
4 à 7	3
8 à 11	2
12 à 15	1
> 15	0

2.3.3 Environnement

On calcule un impact en « kg équivalent CO2 » au regard de 3 indicateurs :

- consommation de gazole sur le chantier = 3,25 « kg eq CO2 » par Litre consommé
- épandage = 700 « kg eq CO2 » par Tonne utilisée (dosage à 4 % du poids du matériau traité)

3 REMONTEE DES RESULTATS

3.1 COÛTS

3.1.1 Coût du Chantier

Le Coût du Chantier est égal à la somme des Coûts des Mouvements et des Coûts de l'Installation.

$$CC = CMs + CI$$

3.1.2 Coût des mouvements

Le Coût des mouvements est égal au total des coûts des différents mouvements (usage des matériels) qui le composent auquel on ajoute les coûts partageables engendrés par ces mouvements (livraison des matériels, coût des matériels non utilisés ...).

Ces coûts partageables peuvent être fixes (livraison des matériels) ou non (coût des matériels non utilisés = coût d'inactivité).

$$CMs = CM1 + ... + CMx + ... + CMn + \Sigma CM1-n$$

IMPORTANT : Les coûts partageables engendrés par les mouvements ne seront pas reportés sur ces derniers.

3.1.3 Coût d'un mouvement

Le Coût d'un mouvement est égal à la somme des coûts des échelons qui le composent.

Comme indiqué précédemment, les coût partagés ne sont pas pris en compte à ce niveau.

$$CMx = CMxE1 + ... + CMxEx + ... + CMxEn$$

3.1.4 Coût d'un échelon

Le Coût d'un échelon est égal au Coût « jour travaillé » de l'échelon multiplié par la durée travaillée du mouvement + le Coût « jour inactif » de l'échelon multiplié par la durée non travaillée du mouvement.

$$(CMxEx) = CE = CjEt \cdot nbjMt + CjEnt \cdot nbjMnt$$

Le Coût « jour travaillé » d'un échelon est égal au total des coûts d'usage « jour » des différents matériels qui le composent.

$$CjEt = CjMat1 + ... + CjMatx + ... + CjMatn$$

Le Coût « jour non travaillé » d'un échelon est égal au total des coûts d'inactivité « jour » des différents matériels qui le composent.

$$CjEnt = CjMatI1 + ... + CjMatIx + ... + CjMatIn$$

3.1.5 Coût d'un matériel

Les différents coûts des matériels/engins sont indiqués dans les fiches engins. Ils peuvent avoir des règles propres.

3.1.6 Coûts d'installation (équipements et prestations)

Le Coût des installations est égal au total des coûts des différents équipements / prestations.

$$CI = CEP1 + ... + CEPx + ... + CEPn$$

Le Coût d'un équipement / prestation est égal au Coût fixe de l'équipement / prestation plus le Coût « jour » de l'équipement / prestation multiplié par la durée du chantier.

Un équipement est installé du début à la fin du chantier.

3.2 RENDEMENTS

3.2.1 Rendement du Chantier (m3/j)

A t0, le rendement du chantier est égal à la somme des rendements des mouvements en cours.

$$RC = \sum RM_s$$

Le rendement global du chantier est égal au nombre total des m3 déplacés divisé par la durée du chantier.

3.2.2 Rendement d'un mouvement (m3/j)

Le rendement d'un mouvement est égal à la somme des rendements des échelons qui le composent.

$$RM_x = RE_1 + \dots + RE_x + \dots + RE_n$$

3.2.3 Rendement d'un échelon (m3/j)

Le rendement d'un échelon est égal au minimum des rendements des phases qui composent cet échelon, soient potentiellement :

- Préparation
- Extraction
- Transformation
- Transport
- Régilage
- Traitement
- Compactage

On différencie les sous-totaux déblai et remblai.

Sous-Total déblai :

- Préparation
- Extraction
- Transformation
- Transport

Sous-Total remblai :

- Régilage
- Traitement
- Compactage

Remarque : Le réglage est traité comme un mouvement à part avec un rendement propre. Les rendements des engins exprimés en m²/h sont transformés en m³/h grâce à la constante « Épaisseur réglage ».