

ACQUISITION ET STRUCTURATION DES DONNEES.

1.0. INTRODUCTION.

Le fil conducteur de ce travail est de construire un outil permettant l'analyse conjointe d'une part des performances économiques (flux et coûts) d'une carrière et de la granulométrie résultant du tir et d'autre part des paramètres techniques des tirs d'abattage à l'explosif et de la granulométrie résultant du tir. Afin de répondre globalement à la question suivante : la pratique du tir a-t-elle une influence sur les performances économiques ?

Sur les carrières, les opérations étudiées seront les suivantes: **Foration, Minage, Chargement, Transport, Concassage primaire**, on se limite donc à la chaîne primaire de production.

Plutôt que de réaliser ce travail en coût réel, difficilement accessible, nous avons choisi de calculer pour chaque opération se déroulant sur la carrière, et pour chaque tir, des unités d'œuvres (heure, mètre...). Celles-ci, multipliées par un coût moyen annuel par unité d'œuvre nous donneront le coût d'une opération pour chaque tir. Les flux pour chaque opération sur un tir seront également calculés. Nous diviserons les unités d'œuvres par le volume (volume, tonnage, ...) traité. Le calcul des coûts d'exploitation et des flux dont on effectuera une analyse « statistique » sera explicité au chapitre 3.

La granulométrie d'un tir sera déterminée à partir des informations collectées par le système Fragscan-Camion (voir chapitre 2). Cette information sera complétée par la mesure de la proportion de 0-30 mm après concassage primaire (sur des convoyeurs à bande après criblage), lorsque celle-ci est disponible sur un mode tir par tir.

Les paramètres techniques de tir suivants seront recueillis: La géométrie du tir (espacement, banquette, hauteur), l'orientation du « plan » de foration par rapport aux principales discontinuités géologiques, les explosifs utilisés (Type et quantité), la séquence et la position de l'amorçage, le nombre de mine de pied, le nombre de rangées (voir chapitre 4).

On pourrait dérouler la réflexion sur la gestion des données depuis l'acquisition jusqu'aux résultats à comparer d'un point de vue statistique mais il me semble plus logique de construire la structure de la base de données à partir de ce que l'on veut étudier. Le choix de ce que l'on souhaite comparer va automatiquement générer des contraintes. Elles vont se répercuter sur l'organisation des données mais aussi sur leur mode d'acquisition. L'outil devra être le plus universel possible, et s'appliquera à toute sorte de carrière. Au cours de cette réflexion, nous chercherons les points critiques d'une telle structure. A partir de là, nous déterminerons l'interface propre à chaque carrière qui permettra de « formater » les données acquises sur chaque site.

Le fonctionnement des exploitations ALZO et DMD, qui ont servi de cadre à ce travail, sera sommairement abordé puis le choix du diagramme de comparaison des performances économiques sera explicité, il a été proposé par Ricardo Chavez de Nitro-Bickford. Suivra l'explication des différents formats composant le squelette de la base de données et la façon de transférer les informations depuis les données de terrain jusqu'aux informations sur un mode tir par tir pour les opérations indiquées ci-dessus. Sera ensuite indiqué le diagramme de comparaison de l'efficacité des tirs qui sera explicité aux chapitres 2 et 4.

1.1. DESCRIPTION DES EXPLOITATIONS.

1.1.1. LA CARRIERE DMD.

La carrière des Dolomies de Marches les Dames (DMD), groupe Lhoist, est située à une dizaine de kilomètres de Namur en Belgique en bordure de la Meuse. C'est un gisement de

dolomie à pendage faible et chimie très variable dont les usages industriels et agricoles sont divers. Pour répondre aux besoins de leurs différents clients, les exploitants sont obligés à un suivi rigoureux des teneurs en plusieurs éléments (Mg, Fe principalement). Cette obligation de qualité impose qu'aucun mélange ne soit effectué entre les tirs avant le concassage primaire : ce qui est un atout très appréciable pour ce travail. La carrière est exploitée sur deux postes, mais l'installation de concassage fonctionne 24h/24h. Deux machines sont utilisées pour la foration, la première exclusivement pour la foration verticale. Les conducteurs de foreuse ne participent pas à l'opération de minage. L'équipe de minage réalise deux à trois tirs par semaine, elle est également chargée de la purge manuelle des talus. Le chargement est réalisé par deux chargeuses. Quatre tombereaux de 75 tonnes, un tombereau de 50 tonnes et un tombereau de 35 tonnes constitue la flotte de transport. Ils ont pour charge l'alimentation du concasseur primaire pour les matériaux destinés à un usage industriel (celui dont nous effectuerons l'étude). Ils sont aussi chargés de l'alimentation de l'installation de production de granulats et de l'alimentation d'un « stock de nuit ». La nuit le concasseur est alimenté par une chargeuse. Au poste de concassage primaire, un opérateur surveille en permanence la chaîne de production et note l'arrivée de chaque tombereau. Une entreprise sous traitante est employée pour le décapage des terres et pour l'alimentation d'un trommel, production de « petits » enrochements.

1.1.2. LA CARRIERE ALZO.

La carrière ALZO, Calcinor SA, est située en Espagne, au pays basque, au sud de San Sébastien. C'est un gisement de calcaire probablement récifal à fort pendage dont l'utilisation principale est la production de chaux. Cette exploitation, dont les réserves sont limitées, a besoin de réduire au maximum la production de fine (0-30 mm) car les débouchés ne sont pas satisfaisants et de plus la mise en décharge pose des problèmes d'environnement. La carrière compte 15 employés répartis sur deux postes, deux chefs de poste ; un chef de carrière et un ingénieur de production qui s'occupe également des autres installations de la carrière (usine de préparation de la chaux, unité de préparation des granulats). Le poste du matin est consacré à la foration avec trois machines, une foreuse hydraulique à marteau fond de trou pour les mines verticales, deux crawls pneumatiques pour les mines horizontales. Lorsqu'il y a un tir sur la carrière, une fois par semaine environ, l'équipe de foreur, le chef de poste et le chef de carrière sont chargés de sa réalisation. Pour le chargement en carrière, deux chargeuses identiques sont utilisées : il peut donc y avoir mélange entre tir dans la trémie d'alimentation du concasseur primaire. Le transport vers le concasseur primaire est réalisé avec trois tombereaux de 60 tonnes et un tombereau de 35 tonnes. Au niveau du concasseur primaire, un agent est chargé de la surveillance de l'installation et de son bon fonctionnement. Sur le poste de l'après midi, une seule chargeuse est utilisée et le concasseur primaire est alimenté par deux tombereaux.

1.2. LES ELEMENTS ECONOMIQUES.

L'approche habituelle que l'on retrouve par exemple dans Peck (A.01) et Michaud (C.09) pour la comparaison des tirs sur l'ensemble des opérations sur le cycle de production est de comparer les coûts. Il est vrai que cette préoccupation de maîtriser les coûts de production est très importante sur toutes les carrières.

Mais dans certains cas la préoccupation principale du carrier est de maîtriser ces flux pour satisfaire les besoins de ses clients. Ces deux préoccupations sont donc à prendre en compte de manière conjointe. De plus, si l'on travaille comme nous, à partir de coûts moyens théoriques par unité d'œuvre, une amélioration des flux va se traduire par une diminution des coûts moyens réels. Il est donc bien nécessaire de raisonner tant en terme de coûts qu'en terme de flux. La figure 1.2.a nous montre comment on améliore de manière certaine les performances économiques d'une carrière à partir de l'étude d'un diagramme Flux - Coût.

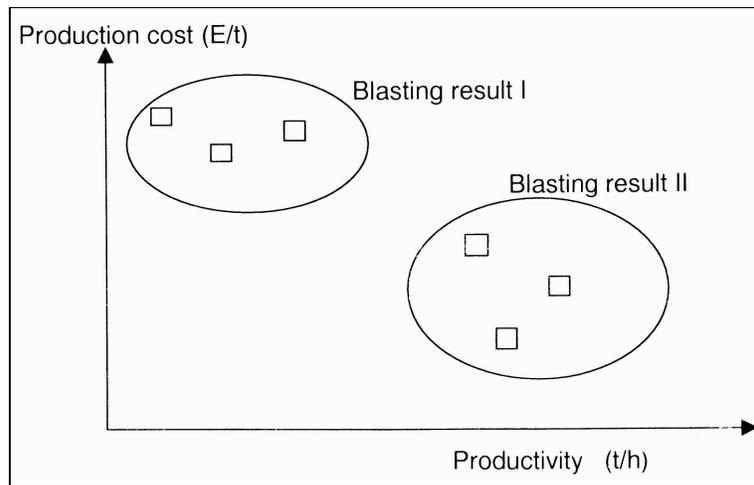


Figure 1.2.a.

On peut ensuite considérer qu'un fragment de dimension Φ_1 a plus d'intérêt qu'un fragment de dimension Φ_2 en fonction de l'usage qui pourra en être fait. Nous envisagerons donc de calculer une valeur du matériau en fonction de la courbe granulométrique de celui-ci, figure 1.2.b, et de sa « position » dans le cycle de production - Un fragment de diamètre Φ_1 ayant plus d'intérêt dans un stock calibré que dans un mélange.

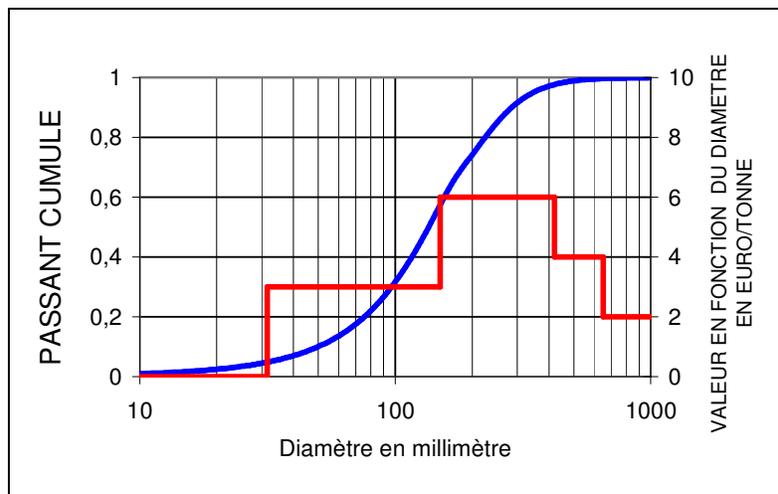


Figure 1.2.b.

Nous obtenons donc un troisième axe de comparaison des tirs, la granulométrie que nous traduirons par une valeur moyenne du stock traité, figure 1.2.b. Il est évident que d'autres paramètres (distance, organisation du transport, ...) vont interférer dans cette représentation, le traitement de ces « interférences » sera pour partie l'objet du chapitre 3.

1.3. INTEGRITE DE L'INFORMATION PAR TIR.

Pour calculer et comparer des coûts et des flux de production, nous devons être à même de déterminer des unités d'œuvres (dans la plupart des cas se sont des heures de fonctionnement) et des volumes traités par tir pour chaque opération à étudier. Nous pouvons donc par exemple recueillir les heures de tombereau affecté à un tir et d'un autre côté le volume du tir que nous retrouvons dans la fiche de tir. Cette approche est a priori très alléchante car elle ne nécessite pas un système d'acquisition de données très complexe. Cette méthode que l'on

peut appliquer dans de nombreux cas se heurte pourtant à deux difficultés : l'exhaustivité des masses et celle des heures.

L'exhaustivité des masses: Peut-on être certain que tout le matériau d'un tir sera transporté vers le concasseur primaire? Cela n'est en général pas le cas puisque les plus gros blocs ayant un débouché en travaux hydrauliques sont triés au chargement et donc soustraits au flux classique vers le concasseur primaire. Si l'on prend le cas de la carrière DMD, figure 1.3.a, on voit que les « fuites » sont encore plus nombreuses, tri des blocs, création d'un stock tampon pour la nuit, flux vers une deuxième installation de concassage ...

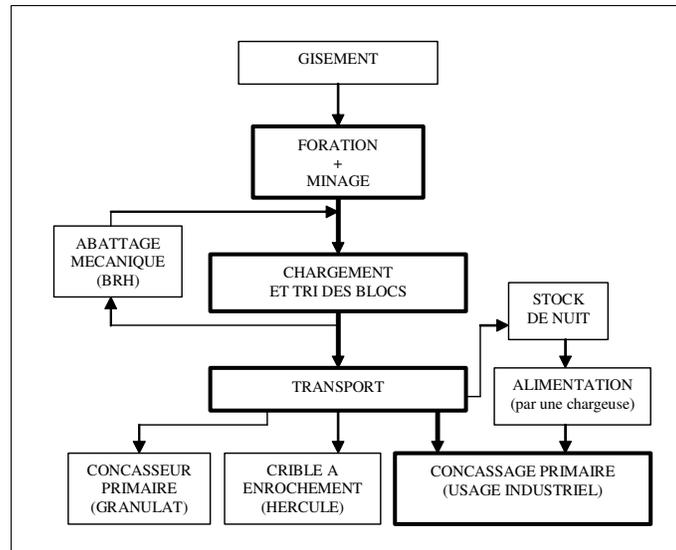


Figure 1.3.a.

L'exhaustivité des heures: Dans le cadre d'un auto-pointage, on peut supposer que le sérieux des chauffeurs dans cette opération de pointage va permettre une connaissance exhaustive des heures affectées à chaque tir. Dans le cadre d'un pointage automatique ou semi-automatique la fiabilité du capteur devra être totale pour garantir cette exhaustivité.

Ces difficultés nous montrent qu'il n'est pas possible de travailler de manière séparée sur les unités d'œuvres (heures en général) et sur les volumes traités. C'est à dire qu'il est nécessaire pour chaque opération, avant de calculer le total des unités d'œuvres et des volumes, de vérifier qu'à chaque séquence de travail correspond effectivement un volume traité. On entend par séquence de travail ou séquence de production une période de temps continue où l'on va clairement identifier à la fois la durée effective de travail, la quantité de matériau traité, la provenance du matériau et la personne, le groupe de personne ou l'engin qui travaille.

On arrive donc à une étape essentielle dans la structure d'acquisition et de traitement des données avec une séquence de production comprenant :

Le type d'opération : chargement, transport...

L'affectation (à un tir).

Le type, le numéro et la configuration du véhicule (et/ou de l'équipe).

Le type et le nombre d'unité d'œuvre

Le type (unité) et le volume traité.

La sommation par opération, par véhicule va nous permettre d'obtenir les unités d'œuvres et les volumes traités sur un mode tir par tir.

En principe il est tout à fait possible d'adjoindre à l'information par séquence une composante de type granulométrique ou une autre caractéristique du matériau (couleur, radioactivité, ...), mais l'extrapolation de la courbe granulométrique dans le but de quantifier le pourcentage de fines n'est possible qu'avec un nombre suffisant d'images qu'on ne retrouve pas si l'on considère uniquement les données granulométriques correspondant à une séquence de production (voir chapitre 2).

Dans le cadre d'une analyse des données par séquence et non plus tir par tir (voir chapitre 3), on peut être amené à s'intéresser à la position de la séquence dans l'échelle du temps. Dans ce cas on peut adjoindre à l'information par séquence les dates et heures de début et fin de celle ci ; ceci étant facultatif pour le calcul des coûts et des flux.

1.4. OBTENTION DE L'INFORMATION PAR SEQUENCE.

Il est maintenant question d'obtenir à partir des données collectées sur le terrain une information par séquence de production. Pour chaque opération, foration, minage, chargement, transport, concassage primaire, nous devons donc définir qu'elles seront nos unités d'œuvres, le type de volume traité et le moyen de les collecter.

1.4.1. LA FORATION.

Le calcul des coûts réels de foration nécessite la prise en compte de nombreux paramètres: consommation en gas-oil, outil de foration, consommables, entretien, amortissement de la machine, main d'œuvre... Il est rare, et également impossible, que cette information soit recueillie sur un mode tir par tir. Nous devons donc définir nos unités d'œuvres de manière plus simple. Il est certain qu'une affectation des heures de foration par machine et par tir est tout à fait envisageable ce qui correspondrait aux séquences de production suivantes:

FORATION, affectation (n° du tir), type et numéro de la machine, durée de la séquence, volume total du tir. Il pourrait y avoir plusieurs séquences par tir si le travail est fractionné et/ou effectué par plusieurs machines. Cette affectation des heures doit être totalement rigoureuse et l'on doit exclure par exemple les heures de transfert pour effectuer une comparaison objective des tirs.

Dans le cas des carrières ALZO et DMD, cette information n'est pas collectée. Nous devons donc nous contenter des informations contenues dans les fiches de tir, c'est à dire le linéaire de foration hors sur-profondeur. Cette donnée est très objective mais a tout de même l'inconvénient de ne pas tenir compte des caractéristiques locales du matériau (altération, faille,...). Pour être également plus objectif dans notre comparaison des tirs, il faudra distinguer pour chaque tir les différents diamètres de foration utilisés mais aussi la foration sub-horizontale et la foration sub-verticale où les rendements sont différents.

La séquence de production de foration sera donc la suivante:

FORATION.

Affectation (n° du tir).

Numéro et type de la machine.

Type de foration (verticale/horizontale) et diamètre de foration.

Linéaire correspondant de foration (unité d'œuvre).

Volume du tir.

Le volume du tir est celui calculé par le responsable du tir et il nous est transmis sur la fiche de tir. Même si ce calcul de volume n'est pas toujours aussi précis que nous le souhaitons, il est toujours réalisé par la même personne et de la même façon.

Lors du calcul final des coûts et des flux tir par tir, il faudra noter que le volume total du tir est affecté à chaque séquence de production. Ainsi il est nécessaire de savoir qu'on se rapporte toujours au volume total du tir. C'est pourquoi il faut ajouter un index montrant qu'il s'agit bien du volume total du tir. En effet, il est pratique de rapporter le linéaire de foration horizontale, le linéaire de foration verticale au volume total du tir pour mieux apprécier la part relative de chacun des types de foration. Les coûts unitaires par unité d'œuvre correspondront donc à chaque ensemble type de machine, type de foration et diamètre de foration. On peut bien sûr adjoindre une information pour situer la séquence dans le temps mais cela ne représente pas un caractère obligatoire.

1.4.2. LE MINAGE.

Là encore, il serait souhaitable de recueillir les heures de main d'œuvre pour la mise en œuvre des explosifs (et pourquoi pas pour la conception des tirs). Mais cette information est rarement disponible et, de plus, les temps incompressibles, par exemple de mise en sécurité avant le tir, sont difficiles à estimer et à inclure dans un comparatif. C'est pourquoi on peut faire le choix de ne retenir comme unité d'œuvre que les quantités de consommables (explosifs, détonateurs ...). Mais la part de main d'œuvre est loin d'être négligeable dans cette opération. De plus le coût de mise en œuvre des explosifs est totalement différent pour un tir de relevage et un tir classique. Le mode de conditionnement des explosifs est également à prendre en compte. Je propose donc, en plus des unités d'œuvres par consommables, de travailler sur des rendements moyens pour différents modes de mise en œuvre: Mine de pied et tir de relevage = 100 Kg/heure, mine sub-verticale = 300 Kg/heure, chargement par camion citerne = 600 kg/heure (Rendements approximatifs observés sur les deux carrières).

Le but n'est pas de calculer de manière exacte les coûts mais plutôt de se fixer des ordres de grandeur pour faciliter la comparaison entre tirs. Le volume est le volume total du tir.

La séquence de production de minage à la forme suivante:

MINAGE.

Affectation (n° du tir).

Type d'unité d'œuvre (type d'explosif, de consommable ou main d'œuvre).

Nombre d'unité d'œuvre (quantité ou heure).

Volume total du tir.

Le volume du tir est celui calculé par le responsable du tir et il nous est transmis sur la fiche de tir. Même si ce calcul de volume n'est pas toujours aussi précis que nous le souhaitons, il est toujours réalisé par la même personne et de la même façon.

1.4.3 LE TRANSPORT.

Les deux opérations chargement et transport sont dépendantes et nous verrons par la suite que les séquences de chargement seront calculées dans les cas de figures traitées ici à partir des cycles de transport. C'est pourquoi nous commencerons par décrire le mode d'acquisition et de calcul des séquences de production de transport.

Pour le transport, la séquence de production générique choisie est la suivante:

TRANSPORT.

Numéro et type du véhicule,

Type et nombre d'unité d'œuvre.

Type de volume et nombre de volume transporté (nombre de cycle de transport ou tonnage).

On ne tient pas compte des coûts réels en particulier le gasoil à cause de la difficulté de l'affecter sur un mode tir par tir. Les unités d'œuvres sont bien entendues des heures mais on peut tout à fait envisager une autre façon de comptabiliser le travail, par exemple, les kilomètres parcourus. L'unité en général la plus appropriée pour dénombrer le volume traité est le nombre de cycle de transport. Mais là aussi, c'est une question de convention, et l'on peut envisager de comptabiliser les masses transportées si elles sont mesurées lors du transport, juste avant ou juste après.

Dans le cas de nos deux carrières ALZO et DMD, c'est bien la connaissance du cycle de transport qui est nécessaire. La durée d'un cycle peut être mesurée entre deux passages sur un point fixe : le concasseur primaire, si l'on ne dispose pas d'un positionnement GPS. C'est le choix qui a été fait sur les deux carrières. Le pointage est manuel sur la carrière DMD où un opérateur note l'arrivée de chaque camion avec une précision de 15 minutes environ. Il n'y a pas alors d'affectation à un tir. Dans le cas de la carrière ALZO, le chauffeur, à l'aide d'un boîtier, prévient l'automate qui gère l'ensemble de l'installation de concassage primaire, de son arrivée sur l'aire de déchargement. Son départ est automatiquement enregistré par l'automate. Là, non plus, il n'y a pas directement d'affectation à un tir.

La gestion des affectations à un tir est différente pour les deux installations. Pour la carrière DMD, le brigadier (chef d'équipe) note sur un agenda les plages de temps où l'installation de concassage primaire reçoit tel ou tel tir (il n'y a jamais de mélange de tir). Pour la carrière ALZO, le conducteur de l'installation de concassage primaire a une table d'affectation dynamique des camions aux tirs qui est automatiquement et immédiatement transmise à l'automate qui croise instantanément les informations de pointage et d'affectation.

Dans les deux cas, l'acquisition du cycle de transport, début et fin, et son affectation à un tir ne sont pas réalisées sur le même support. Cette situation nous éclaire sur la nécessité de laisser aux exploitants la possibilité de gérer de manière distincte le pointage des cycles de transport (et plus généralement tout cycle élémentaire de production) et l'affectation à un tir (et d'ailleurs à tout autre mode d'affectation). Le pointage est à réaliser obligatoirement en direct alors que l'affectation à un tir qui doit néanmoins être la plus précise possible, n'a pas nécessairement à être réalisée en temps réel.

Il est, de plus, souhaitable de prévoir dans la structure d'acquisition et de traitement des données une étape où l'on retrouve d'un côté l'affectation du véhicule et d'un autre côté, les caractéristiques du cycle de transport, par exemple n° de camion, début du cycle, fin du cycle.

Nous obtenons donc deux niveaux supplémentaires dans la structure d'acquisition et de traitement des données. C'est en premier lieu, d'une part, la table d'affectation des véhicules aux tirs et d'autre part, le cycle de production élémentaire non affecté à un tir. Puis pour remonter à l'information par séquence de production, il nous suffit de croiser les cycles de production élémentaires et les plages d'affectation : ce qui nous permet d'obtenir des séquences de transport élémentaires. Il faut ensuite sommer les séquences élémentaires directement consécutives appartenant à la même affectation (même tir) et au même camion pour obtenir les séquences de production de transport. Notons que cette information par séquence de production de transport peut être associée à une information sur sa position dans le temps (début et fin) de manière facultative.

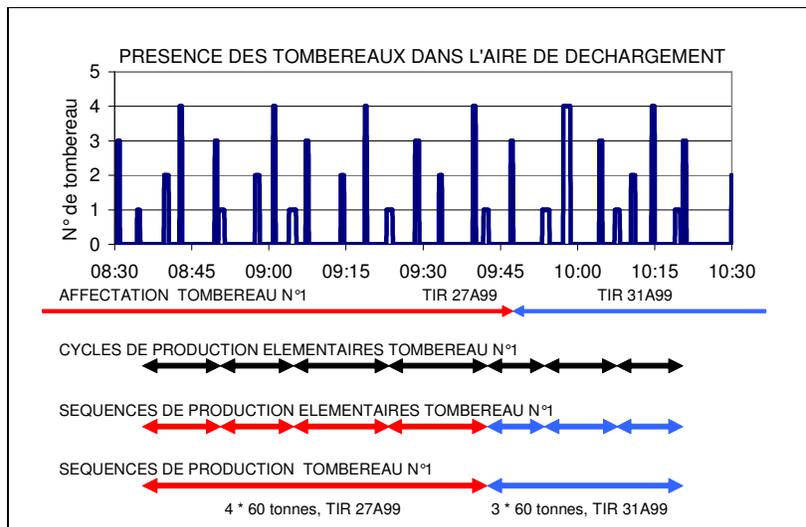


Figure 1.4.3.a.

La forme de ces informations sera la suivante:

Affectation: N° de tir, n° du véhicule, bornes extrêmes de l'affectation (basée sur l'heure de déchargement du tombereau).

Cycle de production élémentaire: N° du véhicule, début et fin du cycle de production.

Séquence de production élémentaire de transport:

Affectation.

Numéro du véhicule.

Nombre d'unité d'œuvre de la séquence élémentaire (en général durée du cycle)

Début et fin de la séquence élémentaire.

Type et volume traité (un cycle en général).

La notion de type de volume et la nécessité de l'indiquer n'est pas évidente mais elle permettrait par exemple de différencier deux matériaux ayant des masses volumiques différentes.

Séquence de production de transport:

TRANSPORT.

Affectation (n° de tir).

Numéro, type de véhicule et configuration.

Type et nombre d'unité d'œuvre.

Type et volume traité.

Début et fin de la séquence.

1.4.4. LE CHARGEMENT.

Sur les carrières DMD et ALZO, nous ne disposons d'aucune information directement collectée concernant les volumes traités pour l'opération chargement. Nous devons donc utiliser l'information contenue dans les séquences de production élémentaires de transport, pour calculer les séquences de production de chargement. Par contre, nous savons qu'il est *improbable* que deux chargeuses travaillent en même temps sur un même tir.

La méthode de calcul des séquences de production de chargement est la suivante: Prenons toutes les séquences de production élémentaires de transport affectées à un même tir et qui se chevauchent. La séquence de production de chargement calculée aura alors comme bornes extrêmes, les bornes extrêmes de toutes ces séquences de production élémentaires de transport, figure 1.4.4.a. En ce qui concerne le volume traité nous devons distinguer tous les types de camions chargés. C'est à dire que l'on obtiendra plusieurs séquences de production de chargement ayant les mêmes bornes (et même durée) mais concernant chacune un type de volume chargé.

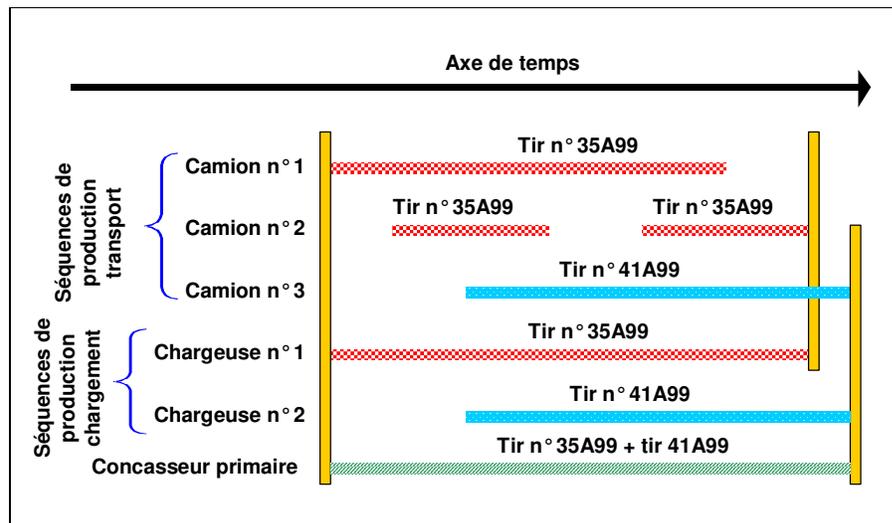


Figure 1.4.4.a.

Nous devons donc faire attention lors de la sommation finale des unités d'œuvres. Ceci implique la mise en place d'un index qui permettra de reconnaître les séquences de production de chargement simultanée dont on ne peut sommer les unités d'œuvres (heures). On voit bien ici l'intérêt de conserver l'information sur les bornes de la séquence de production pour éviter d'additionner des plages de temps simultanées.

La séquence de production de chargement aura donc la forme suivante:

CHARGEMENT.

Affectation (n° de tir).

Numéro, type du véhicule et configuration (Cette information nécessitera d'obtenir la configuration et l'affectation de chaque chargeuse sur la période considérée).

Type et nombre d'unité d'œuvre.

Type de volume et volume traité.

Début et fin de la séquence.

1.4.5. LE CONCASSAGE PRIMAIRE.

Comme nous l'avons dit, sur la carrière DMD il n'y a pas de mélange de tir au niveau du concasseur primaire. Par contre, sur la carrière ALZO, plusieurs tirs sont mélangés à l'entrée de la trémie d'alimentation du concasseur primaire et il n'est donc pas possible de les distinguer lors du concassage primaire. Deux conceptions différentes ont donc été proposées pour définir les unités d'œuvres et les volumes traités selon les cas :

Cas de la carrière ALZO: On procède de la même manière que pour le passage des données de transport aux données de chargement. L'information de base est la séquence de production élémentaire de transport. Prenons toutes les séquences de production élémentaires de transport qui se chevauchent mais qui n'ont pas nécessairement la même affectation (n° de tir). Alors la séquence de production de concassage primaire calculée aura comme bornes les bornes extrêmes de toutes ces séquences de production élémentaires de transport. De plus il y aura une séquence par affectation (n° de tir) et par type de volume (type de camion), figure 1.4.4.a.

Le volume par type de volume sera sommé sur la séquence attribué à une même affectation (n° de tir) même si les volumes ne proviennent pas nécessairement de l'affectation en question.

Il n'y a pas de ventilation des masses et des heures au prorata des masses provenant des différents tirs mais fusion des flux. On voit donc apparaître un biais dans la comparaison des tirs mais il paraît inévitable dès qu'il y a mélange dans la provenance des flux.

La séquence de production de concassage primaire pour la carrière ALZO aura donc la forme suivante:

CONCASSAGE PRIMAIRE.

Affectation (n° de tir).

Numéro, type de concasseur et configuration.

Type et nombre d'unité d'œuvre.

Type de volume et volume traité.

Début et fin de la séquence.

Cas de la carrière DMD: Sur cette carrière comme il est possible de distinguer les plages d'affectation propre à un tir, il est proposé, en plus, de distinguer les périodes où le concasseur concasse effectivement des périodes où il y a fonctionnement à vide.

Ce choix est réalisé dans l'optique de montrer de manière plus lisible l'influence de la granulométrie sur le concassage primaire. Dans ce cas, le capteur utilisé est un capteur d'intensité du courant électrique dont nous récupérons, à l'aide d'un automate, une information moyennée sur cinq secondes. Le fonctionnement à vide est caractérisé par une valeur nettement inférieure au fonctionnement en charge. Nous pouvons donc transformer ce signal (intensité en fonction du temps) en un signal carré distinguant les plages de fonctionnement des autres.

Pour les volumes traités, nous disposons de mesures sur des bascules dynamiques en sortie de concassage et criblage primaire, (0-31,5) ; (31,5 - 300), ce qui nous donne par ailleurs une information de la granulométrie en sortie de concasseur primaire. La séquence de production de concassage primaire est donc obtenue de la manière suivante:

Sur la plage d'affectation à un tir, on cumule les plages de travail effectif de concassage et également les volumes transportés par les bandes transporteuses.

La séquence de production de concassage primaire pour la carrière DMD aura donc la forme suivante:

CONCASSAGE PRIMAIRE.

Affectation (n° de tir).

Numéro, type de concasseur et configuration.

Type et nombre d'unité d'œuvre (heures de travail effectif).

Type de volume et volume traité.

Début et fin de la séquence.

Là encore, on peut noter, dans la structure d'acquisition et de traitement des données, deux niveaux inférieurs aux séquences de production de concassage primaire. Ceci concerne en premier lieu les plages d'affectation à un tir (qui n'ont pas pour vocation de respecter les bornes réelles de concassage) et les plages de travail effectif continu. Et en une deuxième étape, ces plages de travail effectif sont affectées individuellement à un tir. Dans le cas des séquences de production de concassage primaire (cas de la carrière DMD uniquement) il n'y a pas de bornes de début et de fin de séquence de production de concassage primaire ou plutôt elles sont facultatives et ne représentent pas la durée (nombre d'unité d'œuvre) de la séquence de production. On voit donc qu'il faut prévoir de distinguer les bornes d'une séquence de travail, de la durée effective de travail même si, dans de nombreux cas, la durée de travail correspond à la différence entre les deux bornes.

1.5. RECAPITULATIF.

Trois sources d'informations sont donc utilisées pour l'étude du cycle de Chargement - Transport - Concassage primaire. Il s'agit:

Du signal de présence des dumpers dans l'aire de déchargement.

Du signal d'intensité du concasseur primaire.

Des flux enregistrés sur les bascules dynamiques après concassage primaire.

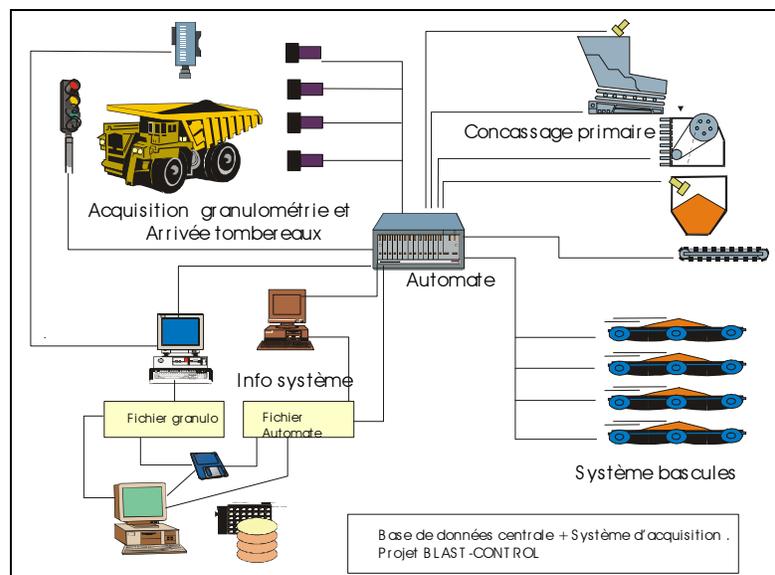


Figure 1.5.a.

L'ensemble de ces informations est collecté manuellement ou par l'automate qui gère l'installation de concassage primaire, figure 1.5.a. Cet automate génère un fichier quotidien. Pour le projet Blast-Control, ce fichier a été prénommé « CRUSHER FILE ». D'autres informations ont été collectées sur ce fichier, en particulier les hauteurs de trémies avant concassage primaire pour la carrière ALZO, pour répondre au besoin des carriers.

Dans le cas de la carrière DMD, ce fichier ne porte pas d'affectation au tir. Dans le cas de la carrière ALZO, cette information est transmise à l'automate à l'aide d'un tableau d'affectation dynamique (n° de camion \Leftrightarrow n° de tir).

D'un point de vue conceptuel, nous pouvons donc considérer que dans les deux cas, nous avons, d'un côté une table d'affectation : tableau d'affectation du brigadier pour la carrière DMD et une table d'affectation dynamique pour la carrière ALZO, et d'un autre côté, un fichier de production non affecté à un tir. Pour dégager l'information essentielle contenue dans les « Crusher files » nous pouvons extraire:

Les plages de présence camion, début et fin.

Les plages de travail continu du concasseur primaire, début et fin.

Les plages de marche continue des bascules dynamiques, début, fin et tonnage.

Soit:

Pour le TRANSPORT :

N° de camion, arrivée au concasseur primaire, départ du concasseur primaire.

Nous devons ensuite rechercher le début de cycle de transport de la « ligne » précédente de présence du camion dans l'aire de déchargement pour obtenir un cycle complet de production, soit :

N° de camion, début du cycle de transport, fin du cycle de transport.

Pour le CONCASSAGE :

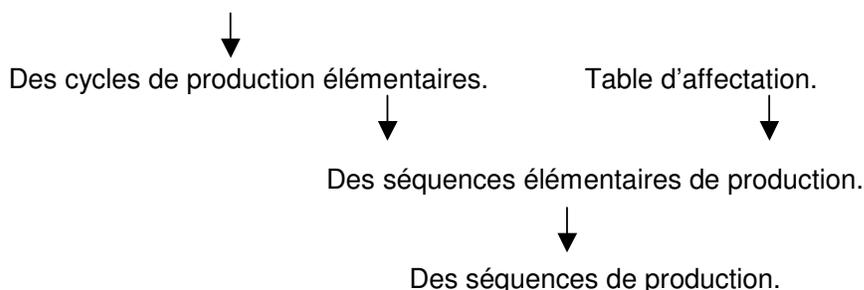
N° du concasseur, début de concassage, fin de concassage.

Pour les BASCULES DYNAMIQUES :

N° de la bascule, début de passage de matériau, fin de passage de matériau, tonnage.

Nous devons ensuite croiser ces informations avec les plages d'affectation pour obtenir les séquences de production. Ceci nous montre que pour toute opération, nous pouvons définir plusieurs niveaux de données:

Des plages d'information continues.



Récapitulatif sur les séquences de production.

Il y a donc sept points à définir pour caractériser une séquence de production:

Le type d'opération. Transport, Chargement ...

L'affectation à un stock de matériau, le tir en règle général.

La machine (et/ou l'équipe) et sa configuration et la configuration de l'opération. La configuration de la machine c'est le diamètre de foration pour une foreuse mais aussi taille du godet pour une chargeuse... La configuration de l'opération permet de différencier les spécificités de l'opération

(foration horizontale/verticale, chargement de bloc/tout venant ...). Ceci permettant de choisir le coût unitaire par unité d'œuvre.

Le type, le nombre d'unité d'œuvre et leur « sommabilité ». Par exemple pour une chargeuse, il n'est pas possible d'additionner deux fois les mêmes heures (même début et fin de séquence de production).

Le type de volume, le volume et sa « sommabilité ». Par exemple le nombre de détonateur est à rapporter au volume du tir, de même pour la quantité d'explosif et pourtant on n'additionne pas les volumes des deux séquences de production car c'est le volume **total** du tir.

La position de la séquence sur l'échelle du temps. Début et fin de la séquence.

1.6. QUALITE - EXHAUSTIVITE.

Nous supposons que l'ensemble des informations collectées manuellement est aussi exhaustive et précise que possible. Ceci concerne les fiches de tir, les plages d'affectation des différents engins, concasseurs, les pointages de camion sur la carrière DMD. Par contre au cours du projet Blast Control, nous nous sommes aperçus de certains dysfonctionnements des différents capteurs qu'il est bon de souligner.

Carrière ALZO, capteur de présence camion: Comme nous l'avons dit précédemment le conducteur de dumper indique sa présence dans l'aire de déchargement à l'aide d'un boîtier. Cette action est volontaire et un oubli intentionnel ou non est tout à fait possible. Dans le but de vérifier l'exhaustivité des pointages, j'ai croisé les informations de pointage camion et les variations de niveau de la trémie, voir figure 1.6.a. Seuls les postes sur lesquels l'exhaustivité des pointages a pu être reconstituée ont été validés et retenus.

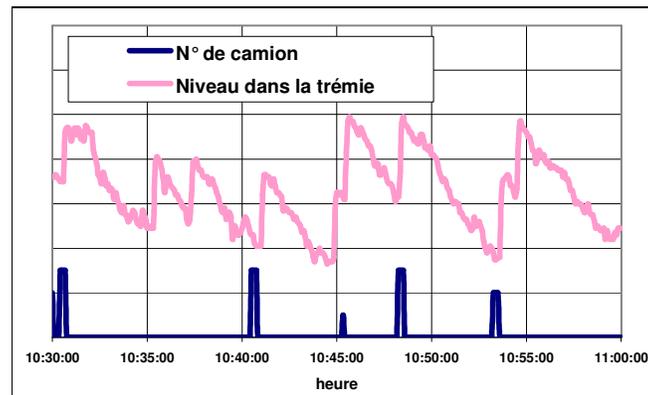


Figure 1.6.a.

Carrières DMD et ALZO, bascules dynamiques: Les documents techniques sur les bascules dynamiques indiquent des précisions de l'ordre de 1 à 2 %. Atteindre cette précision est possible mais uniquement si les bascules sont tarées très régulièrement. A l'entame du projet Blast Control toutes les bascules dynamiques sans exception ont montré des dysfonctionnements majeurs rendant inutilisables les données collectées.

En premier lieu, il y a eu un problème de saturation des bascules dynamiques, carrière DMD figure 1.6.b, entraînant une sous estimation des flux et une impossibilité de déterminer le % de fines après concassage primaire.

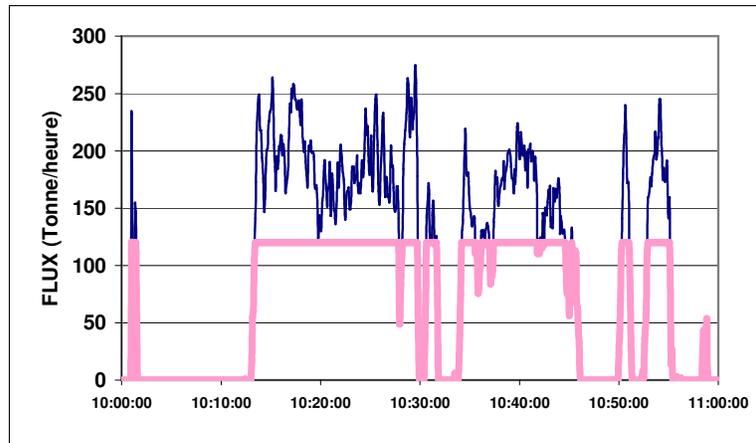


Figure 1.6.b.

Mais on peut noter aussi un problème de calage des bascules dynamiques, carrière ALZO, figure 1.6.c, avec une incohérence des données avant et après réglage. La fiabilité de tels instruments de mesure peut donc être largement remise en cause et si l'on souhaite s'en servir comme tel on peut préconiser une vérification bi-mensuelle de ces instruments.

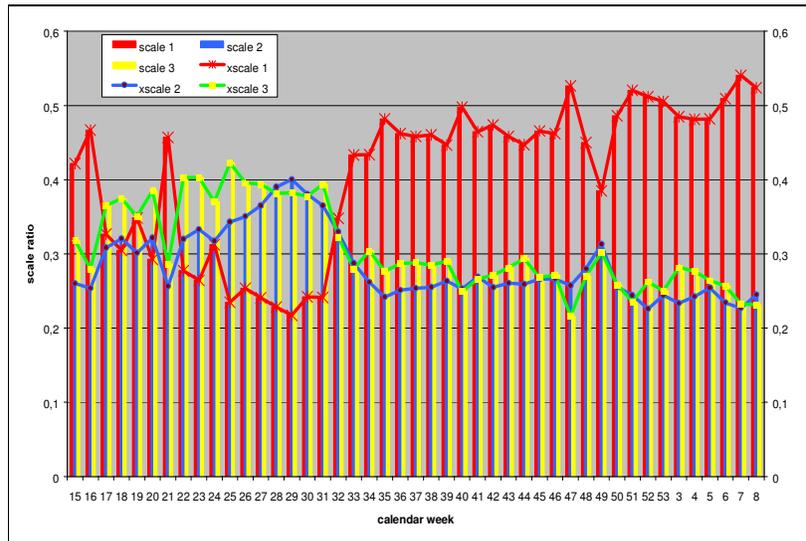


Figure 1.6.c.

Carrières DMD et ALZO, Fragscan:

Trois types de dysfonctionnement de Fragscan ont pu être répertoriés (voir aussi 1.8) :

Choix inadéquat de l'algorithme de traitement de l'image.

Déclenchement intempestif de la prise de vue.

Eclairage non uniforme de la surface photographiée.

Pour repérer ces dysfonctionnements sur la donnée vectorielle, l'image n'étant pas en général conservée, j'ai calculé trois indicateurs (sur l'information Fragscan en pixels) - Taille du bloc maximum - Pente maximum entre deux classes granulométriques - Pente moyenne de la courbe granulométrique (voir aussi chapitre 2). Les dysfonctionnements de Fragscan sont identifiés lorsque la proportion d'image ayant une valeur « anormale » pour un indicateur est trop importante. Par exemple pour le bloc maximum si la valeur est inférieure à 130 mm ou supérieure à 900 mm, on peut suspecter un dysfonctionnement. La figure 1.6.d. illustre les choix réalisés au niveau des pentes moyenne et maximum pour la carrière ALZO. A noter que les

images ne sont pas éliminées individuellement sur le seul critère de ces indicateurs mais aussi par paquets sur les plages de temps où le nombre d'image erronée est trop important, figure 1.6.e. Sur le terrain, un certain nombre d'images erronées ont été repérées, les valeurs trouvées sur les trois paramètres, taille de bloc maximum, pente moyenne et pente maximum, ont permis de définir des coupures permettant de sélectionner les images à valider. Le caractère brutal de ces coupures est atténué par le fait que les images sont éliminées ou conservées sur des plages de temps continues importantes.

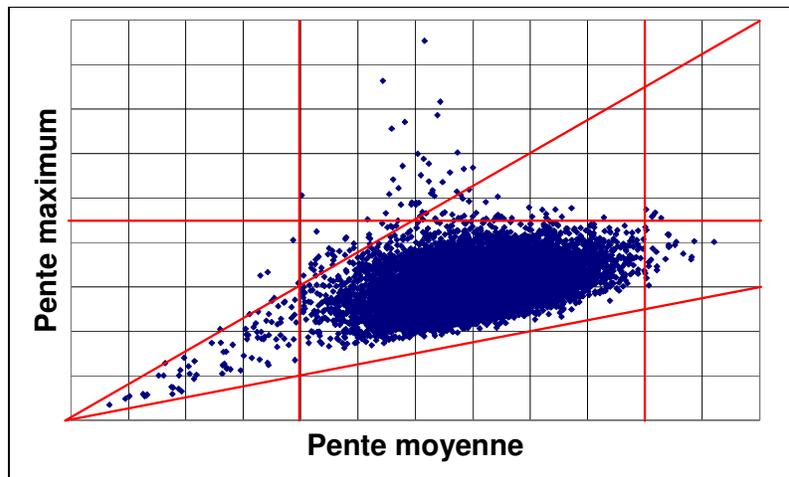


Figure 1.6.d.

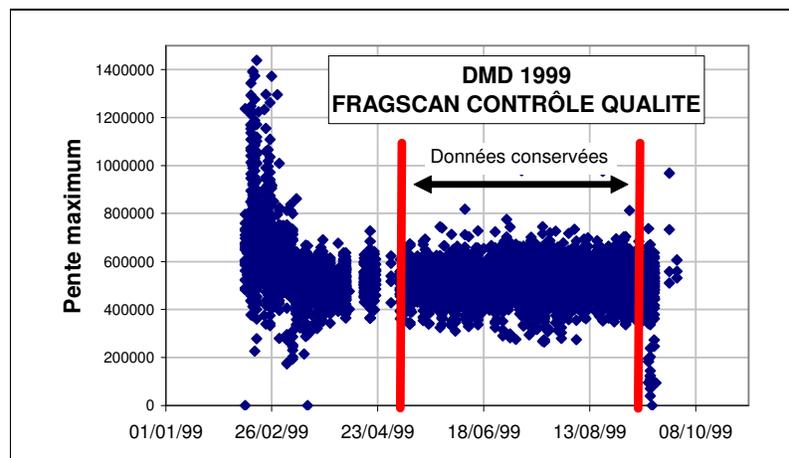


Figure 1.6.e.

Calcul des volumes : On peut aussi évoquer le problème de la précision dans le calcul des volumes. Cela peut paraître trivial mais, par le retour d'expérience du projet Blast-Control, on peut s'apercevoir que les erreurs d'estimation peuvent être très significatives (en particulier sur les fiches de tir). C'est donc un point important à prendre en compte et il sera donc prudent de ne comparer des masses que si elles procèdent du même mode d'acquisition et de calcul.

Précision de l'affectation: Une autre question peut être évoquée c'est la précision de l'affectation d'un engin à un tir. Peut-on être sûr que chaque photo Fragscan, que chaque cycle de camion est affecté au bon tir ... Là encore on supposera le sérieux du travail d'affectation des flux à un tir.

1.7. POSITIONNEMENT.

Ces informations, séquences de production, nous permettent de calculer des coûts et des flux mais nous ne pouvons réellement les comparer alors que la position des tirs varie. Il est donc nécessaire d'avoir une approche spatiale de ces séquences de production.

Pour la foration et le minage, nous pouvons nous contenter de la position du tir et de la direction du plan de foration par rapport aux divers objets géologiques.

Pour le chargement, le transport et le concassage primaire, il est nécessaire d'avoir une information sur le trajet qui conduit du tir au concasseur primaire.

Nous pouvons raisonner en considérant la position des différents stocks utilisés, la chargeuse emprunte du matériau au tir et le place sur les dumpers - Les dumpers sont chargés lors d'une séquence de production de chargement et décharge dans la trémie du concasseur primaire - Le concasseur primaire est alimenté lors de séquence de production de transport et fourni le matériau à l'installation de traitement des matériaux. On voit donc que chaque séquence de production utilise un stock amont, lié à une séquence de production amont, et produit un ou plusieurs stocks avals et ainsi de suite. Dans le cas d'une carrière on peut schématiser cela de la manière suivante, figure 1.7.a.

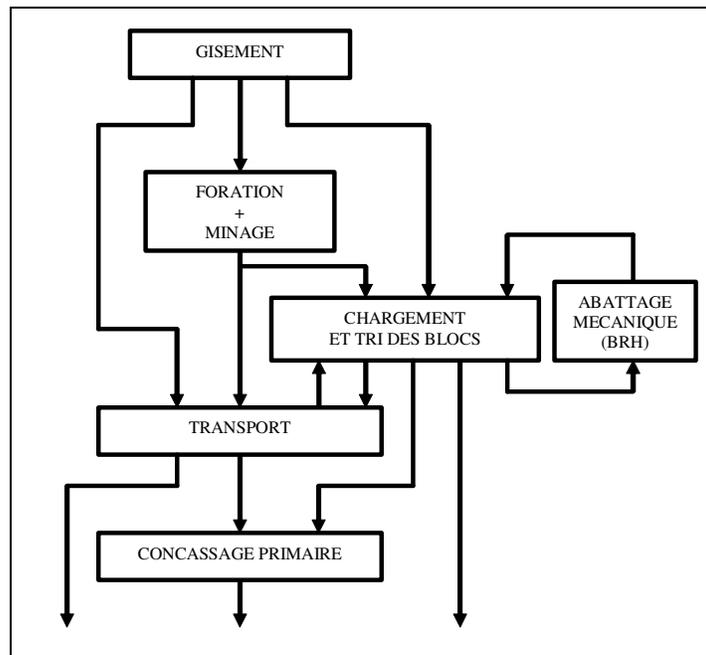


Figure 1.7.a.

Il est donc important de positionner ces stocks dans l'espace et également pour les opérations de transport de définir le trajet d'une manière ou d'une autre. Dans les deux carrières ALZO et DMD, nous disposons de l'information suivante: La position des deux trous de forage externes (approximativement pour la carrière ALZO), la hauteur du front et son inclinaison, la position du concasseur primaire, une mise à jour annuelle du plan de l'exploitation. Nous pouvons donc « positionner » l'ensemble des séquences de production. Pour réduire le nombre de paramètres à étudier au chapitre 3, le trajet de transport sera défini par la différence de dénivelé entre l'aire de chargement et l'aire de déchargement et la distance horizontale du trajet qui sera mesurée sur le plan. Il n'y a pas de trajet complexe sur ces carrières.

1.8. GESTION DES DONNEES FRAGSCAN.

L'information minimum que l'on peut attendre du système Fragscan est que, pour chaque photo prise, la date et l'heure de prise de vue soit conservées, ainsi qu'un vecteur en surface cumulé (pixels) correspondant à chaque dimension de « tamis » utilisé. Connaissant la surface totale de l'image on peut aisément transformer ce vecteur en % de surface attribué à chaque classe granulométrique préétablie. En plus de cette information, sont également conservés le vecteur des classes granulométriques et le type de camion car la distance Caméra-Surface et le rapport d'échelle peuvent varier (voir chapitre 2).

La prise de vue est déclenchée automatiquement par des capteurs (carrière ALZO) ou manuellement par un opérateur (carrière DMD).

L'affectation à un tir est tout à fait possible mais ne présente pas un caractère d'obligation. Sur la carrière DMD, le brigadier (chef d'équipe) met à jour en temps réel l'affectation des images Fragscan par contre sur la carrière ALZO les données sont enregistrées sans affectation à un tir.

Sur la carrière DMD, il n'y a donc pas de difficulté pour sommer les « images » Fragscan, après en avoir vérifié la qualité, afin d'obtenir un vecteur en % de surface en fonction des classes granulométriques et ce, pour chaque tir. Sur la carrière ALZO le problème est plus complexe par l'arrivée de matériau en provenance de plusieurs tirs à la fois. Nous avons défini, au sous-chapitre concernant le transport, des séquences de transports élémentaires. Nous allons compléter les séquences de production élémentaires par une information sur la présence du camion dans l'aire de déchargement, début et fin. Avec un peu de chance, on peut supposer que la prise de vue Fragscan est déclenchée dans cette plage de temps.

Malheureusement les horloges des PCs qui déterminent l'heure de prise de vue Fragscan et les plages de présence de camion dans l'aire de déchargement n'étaient pas toujours synchronisées et les échelles de temps se sont « dilatées » de manières différentes. Si on suppose que la « dilatation relative » des échelles de temps est faible sur une journée (quelques secondes au maximum) alors il suffit de décaler l'échelle de temps de Fragscan pour obtenir une synchronisation des plages de présence de camion dans l'aire de déchargement et des images Fragscan sur une journée.

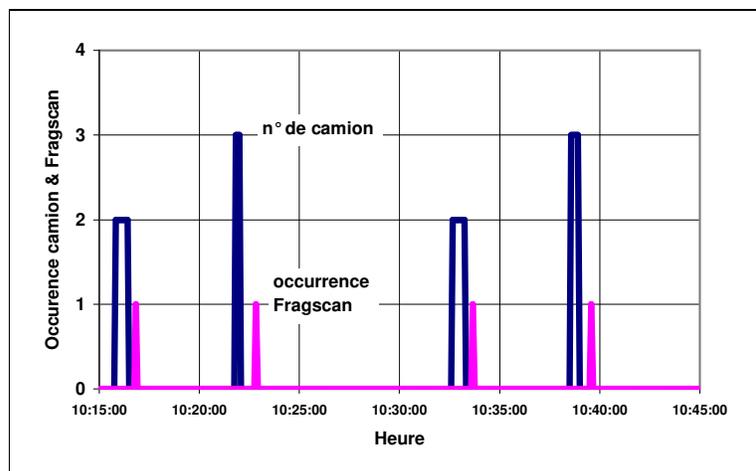


Figure 1.8.a.

D'un point de vue mathématique, si l'on considère la présence de camion comme un signal binaire en fonction du temps et les prises de vue Fragscan comme des Dirac alors il nous suffit de maximiser l'intégrale suivante:

$$\int_t \{f_1(t) * f_2(t + \Delta t)\} dt$$

$f_1(t)$ signal de présence des camions.

$f_2(t)$ signal de prise de vue Fragscan.

Le Δt qui maximise l'intégrale est proche du décalage entre les deux horloges et nous permet de réaliser l'affectation des images Fragscan tir par tir car nous connaissons maintenant pour chaque image le n° du camion auquel il se rapporte. Figure 1.8.a.

1.9. GESTION DES DONNEES TECHNIQUES DE TIR.

Les données nécessaires à une analyse économique des tirs ne sont pas identiques aux données nécessaires à une analyse technique des tirs, par exemple il importe peu dans l'analyse économique de connaître le nombre de rangée alors que cette information est primordiale dans la compréhension des tirs. Pour l'analyse technique des tirs les informations suivantes seront recueillies:

L'espacement, la banquette et la hauteur des fronts.

La charge spécifique.

L'orientation du plan de foration par rapport aux principales discontinuités géologiques.

Le nombre de mine de pied.

Le nombre de rangées.

La position de l'amorçage.

Sur la carrière ALZO, la pratique de la séquence d'amorçage étant particulière, nous devons envisager une donnée supplémentaire : le nombre de trous consécutifs sur le même retard.

D'autres informations pourtant essentielles : diamètre de foration, hauteur de bourrage ... ne sont pas recueillies dans la mesure où elles n'ont pas variées dans la pratique des tirs sur les données disponibles.

1.10. BIBLIOGRAPHIE.

A.01. Peck, Hendricks, 1995. *Total Mining System : An intelligent management, production control and planning facility* Mine planning and equipment selection. Proceedings of the 4th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection, Balkema : Calgary.

A.02. Chavez, Moser, Schleifer, 2000. *An integrated control system for blasting and production chain optimisation in open pit mining and quarrying.* Explosives and blasting technique. Proceedings of the 1st World Conference on Explosives and Blasting Technique, Balkema : Munich.

A.03. Wald, 1998. *An overview of concepts of fusion of earth data.* Future trends in remote sensing, ENSMP, pp 385-390.