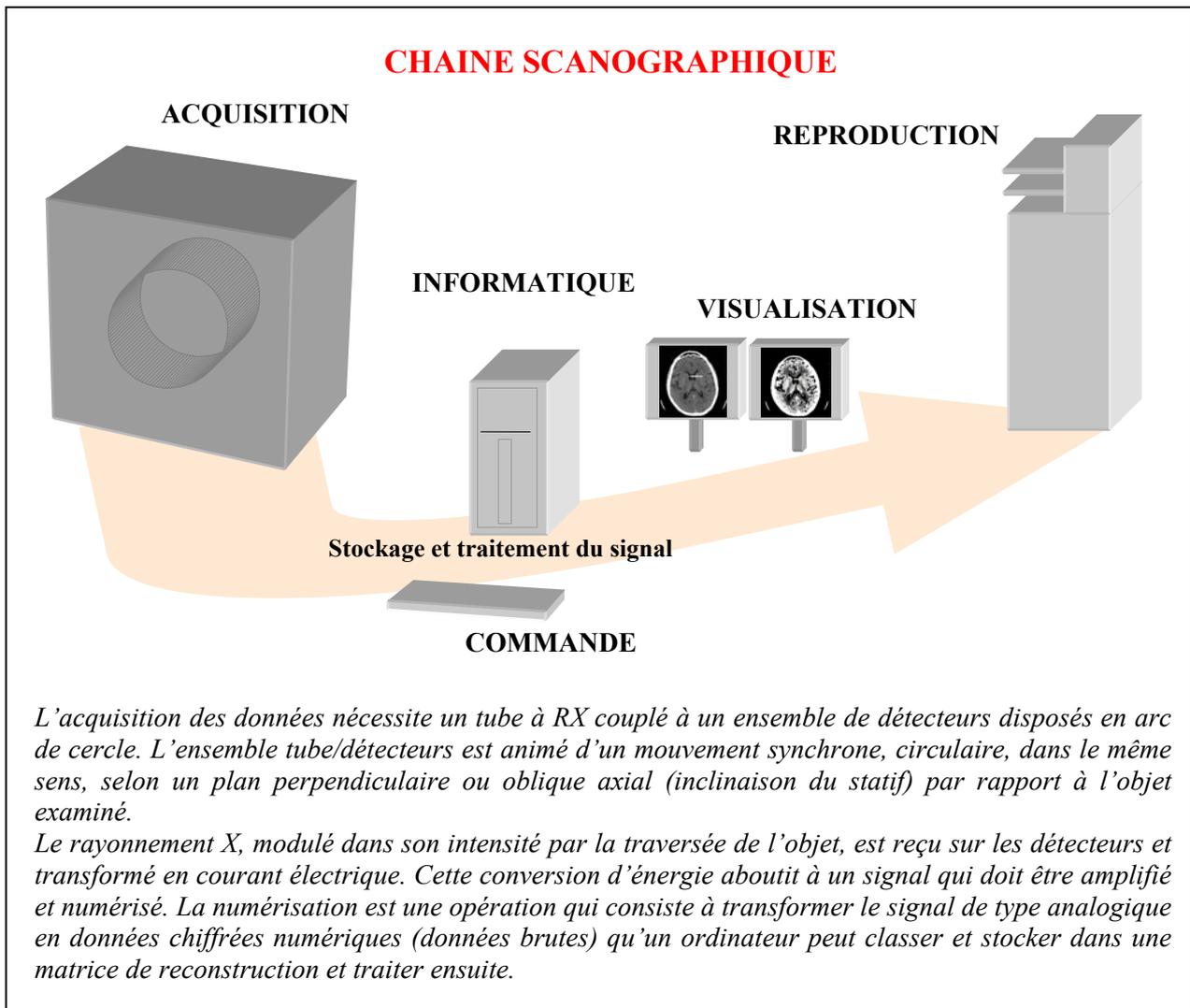


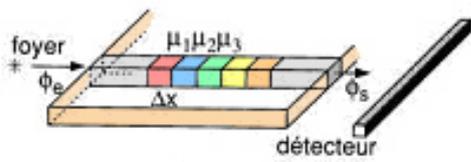
BASE PHYSIQUE

Un appareillage de tomodensitométrie à RX comporte :

- un système d'acquisition de données ;
- un système de traitement du signal ;
- un système de visualisation ;
- un système de commande de l'ensemble.



La coupe anatomique étudiée est traversée par un faisceau de rayons X de faible épaisseur, délimité par la fente étroite d'un diaphragme, et le faisceau émergent est reçu sur une ligne de détecteurs de très petite dimension (cellules contenant un gaz (xénon) sous pression ou détecteurs solides couplés à des photodiodes). Le signal émis par chaque détecteur traduit l'atténuation du rayonnement par les structures anatomiques traversées au long de la ligne source-détecteurs correspondante. La projection fournie par la série de détecteurs (qui comporte couramment un millier de détecteurs) est propre à la direction du faisceau et de nombreuses projections sont obtenues en faisant tourner solidairement l'ensemble source-détecteurs dans le plan de la coupe. Il est possible à partir de ces profils de reconstituer dans la coupe les formes et les coefficients d'atténuation des structures anatomiques qui y sont contenues.



Un faisceau de rayons X traversant un objet homogène d'épaisseur Δx subit une atténuation, fonction de la densité électronique de l'objet. La valeur de l'atténuation est obtenue par soustraction entre intensité du faisceau de rayons X avant et après traversée de l'objet. L'atténuation est due à l'effet photo-électrique et à l'effet Compton.

L'atténuation mesurée par un détecteur dépend de toutes les structures traversées et la valeur de μ est une valeur moyenne.

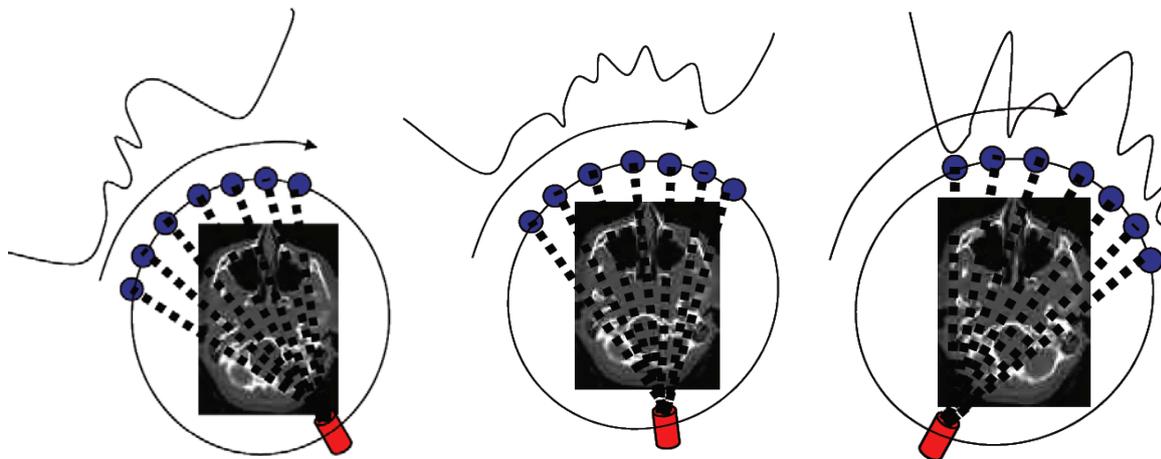
L'atténuation est donnée par la loi de Beer-Lambert

$$\text{Log } \Phi_e / \Phi_s = \mu \Delta x$$

Cependant, cette relation est exacte pour des rayons monochromatiques ce qui n'est pas réellement le cas pour le scanner, même si on filtre le faisceau.

En effet le faisceau émis par un tube RX est polychromatique, composé de photons d'énergies différentes. De plus l'absorption des photons par la matière varie en fonction de leur énergie (photons mous plus absorbés que photons de haute énergie)

Les caractéristiques du faisceau RX varient au cours de la traversée de l'objet étudié : phénomène de durcissement de faisceau "beam hardening" risquant d'introduire des artéfacts là où il existe de très importantes variations locales du coefficient d'atténuation des photons (exemple fosse postérieure du cerveau).

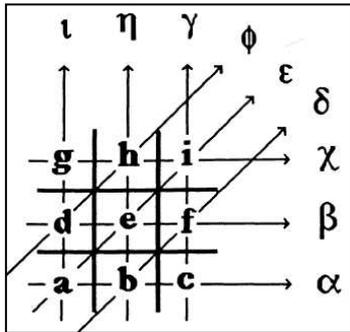


Le faisceau émis par le tube à RX irradie plusieurs détecteurs et permet de faire de multiples mesures de densité. On obtient ainsi un profil de densité selon un angle de projection.

Lorsque le faisceau de RX tourne autour de l'objet, on obtient une grande quantité de projections et de mesures sur un seul plan de référence mais avec des angles de projection différents.

La sommation de tous ces profils de densité obtenus pour les différentes valeurs angulaires s'appelle un sinogramme.

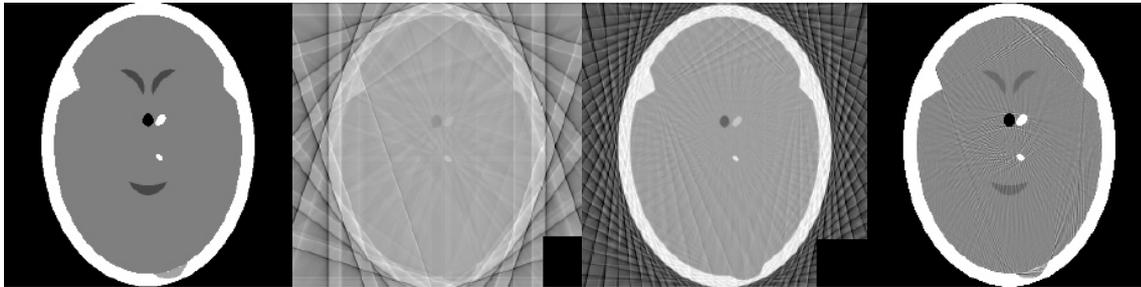
La reconstruction de l'image consisterait en la résolution d'un système d'équations très complexe. Prenons comme exemple une matrice composée de seulement 9 pixels.



Les valeurs des 9 pixels peuvent être déterminées à partir d'autant de données expérimentales entrant dans autant d'équations indépendantes.

$$\begin{array}{lll}
 a + b + c = \alpha & b + f = \delta & c + f + i = \gamma \\
 d + e + f = \beta & a + e + i = \epsilon & b + e + h = \eta \\
 g + h + i = \chi & d + h = \Phi & a + d + g = \iota
 \end{array}$$

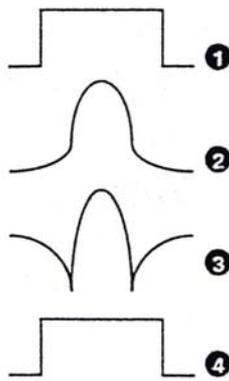
Trop coûteuse en temps de calcul lorsque la matrice constituant l'image dépasse, comme c'est actuellement le cas, des dizaines voire des centaines de milliers de points, une telle méthode a été remplacée par une rétroprojection ou «épannage» des informations constituant les projections.



Une vraie reconstruction : l'augmentation du nombre de mesures affine l'image

La méthode de rétroprojection est approximative, mais permet de calculer une image aussi proche de la réalité que possible, dans des temps plus acceptables que la résolution mathématique du système d'équations. Elle utilise des filtres de convolution associés à la fonction mathématique de transformée de Fourier. La rétroprojection, temps de reconstruction premier, consiste à projeter les valeurs de chaque point du profil de densité sur la matrice image. La sommation de ces profils forme une image objet. La déconvolution ou filtrage améliore l'aspect de l'objet reconstruit. En effet comme nous venons de le dire, la rétroprojection selon les profils de densité n'est qu'un modèle imparfait de l'objet. Le filtrage utilise un outil mathématique qui nécessite des moyens de calcul puissants (algorithmes de reconstruction), obtenus par des ordinateurs.

Algorithme de reconstruction : procédé mathématique permettant d'attribuer à chaque point de l'image (pixel) une valeur numérique dépendant de l'absorption du rayonnement dans le volume élémentaire (voxel) correspondant de l'objet étudié.



Opération de filtrage :

1. *Objet initial*
2. *Profil de densité*
3. *Produit de convolution (transformée de Fourier TDF)*
4. *Image conforme par application d'une TDF inverse*

Le calcul est donc matriciel et se fait par la méthode de la transformée de Fourier.

Il faut cependant respecter 2 contraintes :

- Le nombre de profils de transmission doit être supérieur ou égal au nombre de pixels
- L'éventail angulaire des profils doit être supérieur ou égal à 180°

Pour une acquisition hélicoïdale, une étape est nécessaire avant la rétroprojection : il faut générer les profils d'absorption dans le plan de coupe souhaité : c'est l'interpolation linéaire (IL).

Pour les technologies monobarrette, il existait deux algorithmes de reconstruction :

- l'IL- 360°
- l'IL- 180°

Ces deux modes pouvaient être parfois choisis et donner une notion de résolution spatiale : l'IL- 180° donnait une meilleure résolution spatiale mais avec une augmentation du bruit. Nous avons juste cité ces modes, car aujourd'hui, le manipulateur n'a plus accès à ces réglages : l'interpolation est optimisée par des algorithmes propriétaires.

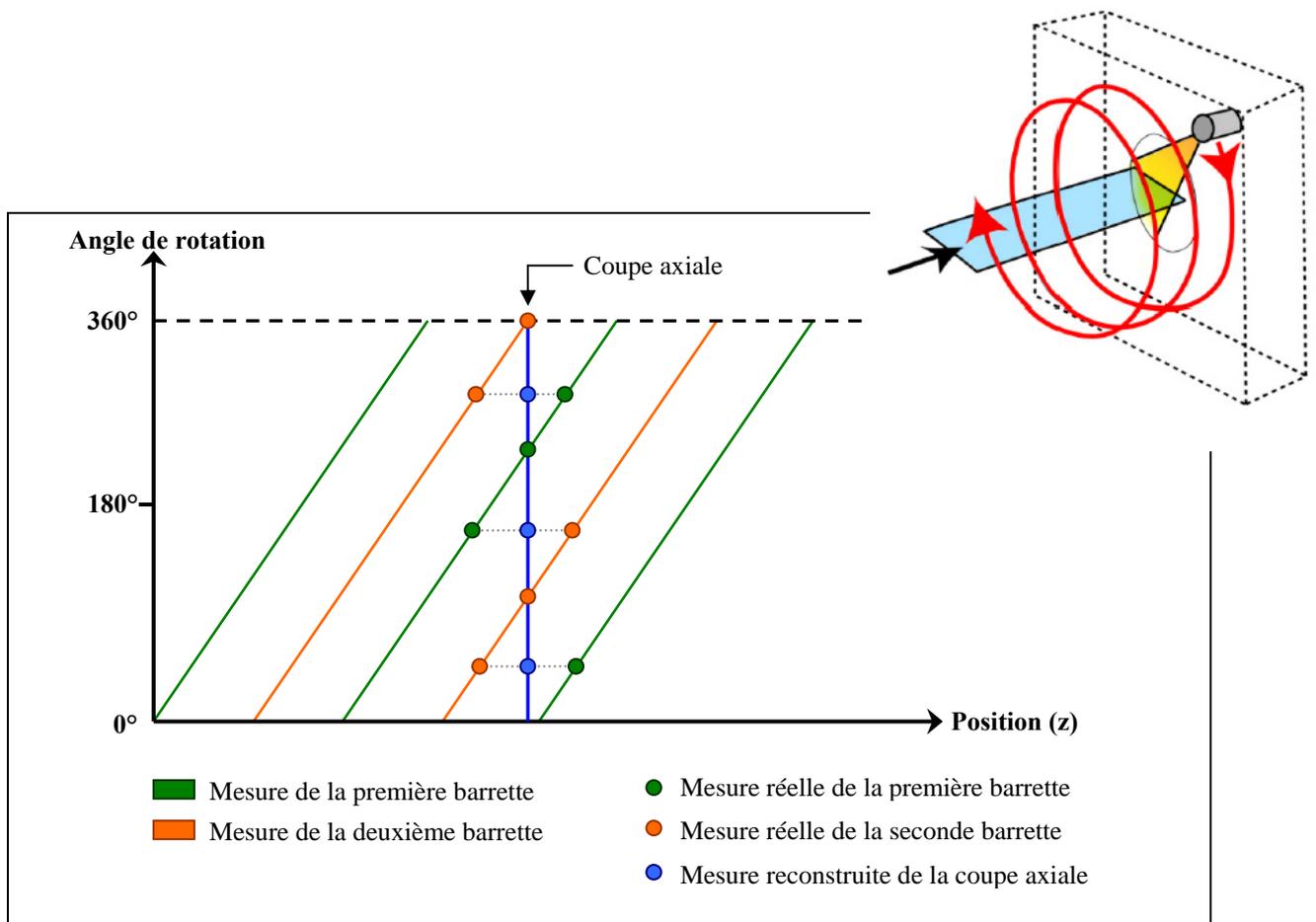


Schéma de l'interpolation linéaire. Pour simplifier nous avons représenté un système possédant deux barrettes. Les valeurs reconstruites sont des valeurs moyennes des valeurs réelles les plus proches.

Si on veut reconstruire l'image d'une coupe axiale, on peut s'apercevoir que l'on n'aura pas suffisamment de mesures angulaires passant par ce plan pour y reconstruire une image. Donc, la première étape de la reconstruction de l'image dans ce mode consiste à fabriquer dans le plan de reconstruction les mesures angulaires manquantes, à partir des mesures les plus proches. Ce procédé s'appelle interpolation linéaire. La valeur dans chacun des points sera une combinaison pondérée des valeurs de deux points les plus proches, avec un poids inversement proportionnel à la distance respective de ces points avec le plan de reconstruction. Après cette étape d'interpolation on reconstruira l'image à partir des mesures fabriquées dans le plan selon l'algorithme de rétroprojection expliqué précédemment.