

Imagerie**Enseignement du 24 Novembre/17 décembre 2003****NUMERISATION DES PHENOMENES GEOLOGIQUES,
DE LA DONNEE BRUTE A LA CONSTITUTION DES SYSTEMES D'INFORMATION GEOLOGIQUE**

L'enseignement est bâti en 1 cours de 4 heures, 2 TD 3 heures, 1 TP 3 heures:

1. Le nouveau concept "carte géologique", un: élément de référence d'un système d'information des sciences de la terre (1 heure)
2. Définir la problématique générale de la numérisation des phénomènes géologiques à partir de la pratique de la collecte de l'information géologique (1 heure)
3. Définir les systèmes d'information (1 heure)
4. Définir les principes des Systèmes de Gestion de Bases de Données (1 heure)
5. Histoire de France et géologie numérique, le croisement des données géologiques et géophysiques (2 heures)
6. Reformuler la problématique sur trois cas d'étude pratique et montrer les principes de fonctionnement des SIG (accès aux fichiers raster, vecteurs et attributs géologiques) (2 TD et 1 TP 3 heures)
 - la carte au Millionième, versions papier et numérique
 - l'évolution géologique des Alpes d'après la carte numérique
 - carte numérique de Laragne et MNT

Résumé

La cartographie géologique fournit traditionnellement un cadre de référence, aujourd'hui numérique, qui permet d'accéder à :

- Une information spatiale sur l'extension et la localisation d'éléments tels que les unités lithologiques, les accidents ou les points remarquables.
- Une information sémantique sur l'histoire géologique de la région et sur les caractères qualitatifs liés à un quelconque élément localisé spatialement.

Il est possible d'implémenter cette cartographie par :

- Une information sur la répartition des propriétés physiques en surface. Il s'agit alors d'évaluer et de représenter la distribution de paramètres mesurés sur le terrain (perméabilité, porosité...), sur échantillons (résistance, densité, susceptibilité..), par méthodes aéroportées (magnétisme, spectrométrie, électromagnétisme..) ou par satellite (spectre visuel, hyperspectral...).

Le support numérique des Systèmes d'Information permet aujourd'hui de superposer les informations spatiales et sémantiques sur des grilles ou des images fournissant un modèle de répartition des propriétés physiques en surface. Il s'agit là d'un champ de recherches fondamentales et appliquées très vaste et relativement vierge, les principaux développements ayant été faits dans un cadre

confidentiel industriel (exploration minière et pétrolière). Les applications sont aujourd'hui nombreuses dans le domaine de :

- La cartographie géologique à l'échelle régionale, notamment dans les pays à couverture géologique imprécise et inhomogène
- La définition de zones à propriétés anormales pouvant témoigner de concentrations ou de dilutions particulières (naturelles ou anthropiques). L'exploration des ressources naturelles repose quasiment exclusivement sur ces définitions de zones enrichies et appauvries.

L'aménagement du territoire lié à la connaissance de l'infrastructure géologique. Ainsi, la réduction de l'incertitude géologique requiert l'accès à des cartes de paramètres physiques (ou chimiques).

1. Le nouveau concept de la carte géologique

Qu'est ce qu'une carte géologique: la représentation en carte 2D de la géologie, des limites lithologiques, des mesures de pendage, des failles...

On peut proposer la définition générale suivante: la carte est un modèle projeté de la distribution spatiale d'un élément géologique ou de la trace d'un phénomène à la surface de la terre ou en profondeur. C'est aussi une surface d'intersection particulière (la surface topographique) de la géométrie 3D des éléments géologiques.

En fait, aujourd'hui, si l'on regarde la définition des missions de la National Mapping Division de l'US Geological Survey (<http://mapping.usgs.gov/misc/strategic.html>) on trouve une définition très politique de la mission de cartographie qui s'insère dans une Infrastructure nationale des données spatiales (géoréférencées):

"Information about where an object or feature is or where an event takes place often is an important actor in decision making in both the public and private sectors. Geospatial data, which identify the geographic location and characteristics of natural or constructed features and boundaries referenced to the Earth, provide a unique context for integrating otherwise disparate observations and for evaluating competing options. Factors of location, distance, pathways and other spatial relations often must be considered when making decisions about economic ventures, resources management, environmental and health concerns and response to emergencies."

En fonction de cet objectif plusieurs missions sont définies:

- Production et mise à disposition des données de base cartographiques et géographiques
- Coordination de la politique et de la standardisation des données géoréférencées
- Leadership pour la gestion des données des sciences de la terre et pour la gestion de l'information
- Acquisition, traitement, archivage et dissémination des données de télédétection de la terre
- Amélioration de la compréhension et des applications des données géoréférencées et des technologies

On retient un certain nombre de mots clés qui permettent de définir le nouveau concept en 5 points:

La cartographie géologique est un modèle de la distribution spatiale d'un élément géologique ou d'un phénomène à la surface de la terre ou en profondeur qui doit être conçue en fonction des paramètres suivants:

1. La donnée. Il s'agit de la donnée géologique mais aussi de la donnée issue de l'imagerie relative à une propriété physique de la roche telle sa réflectance, sa radioactivité (émission rayons gamma), sa susceptibilité magnétique, sa conductivité électrique...
2. L'accès numérique. La carte doit être mise à disposition sous forme numérique et la donnée doit rester accessible pour les applications.
3. L'interconnexion avec les autres bases de données
4. La panoplie des outils de modélisation
5. Les utilisateurs. La complexité, la diversité et la variabilité des éléments et des phénomènes géologiques excluent une représentation exhaustive. L'échelle, le détail et le thème des cartes devront être définis en fonction de l'objectif de la carte et des besoins des utilisateurs.

Concernant l'intérêt de numériser l'information géologique pour la cartographie, vous pouvez aussi consulter le site du Service Géologique du Canada (la Commission Géologique) à http://www.nrcan-nrcan.gc.ca/ess/carto/standards_f.html (c'est en français)

2. La numérisation des données sur la géologie de la lithosphère (en surface et profondeur), un objectif méthodologique

2.1. La problématique générale

Considérons que la connaissance de la géologie de la lithosphère peut se résumer à notre capacité à prévoir l'extension des structures, des corps et des phénomènes géologiques dans l'espace et le temps.

Notre difficulté d'exercer une telle prévision relève de la difficulté d'appréhender la complexité des phénomènes géologiques. Notre aptitude à progresser dans la connaissance de la lithosphère se résume donc à notre aptitude à modéliser et représenter les phénomènes géologiques.

S'il y a problème géologique, c'est qu'il n'y a pas seul type de données dont les lois de variations sont connues mais que les interprétations ne fournissent pas de solution unique à la modélisation de ces données. Et comment choisir entre différentes solutions si ce n'est en les testant en les confrontant avec l'ensemble des informations dont on dispose.

Réfléchir sur la notion d'information géologique et de données, et en même temps au traitement de la donnée est donc une nécessité. Qu'est ce qu'une information, une donnée géologique ?

La donnée géologique doit d'abord être conçue comme intégrée à un ensemble varié de types de données qui ont en commun leur référence à la surface de la terre. S. Drury (Image Interpretation in geology, 2001) propose ainsi de classer les données brutes utilisées en sciences de la terre en 5 types:

- valeurs de variables déterminées ponctuellement (donnés géochimiques, gravimétriques, mesures structurales...)
- enregistrement en continu des valeurs de variables le long d'une ligne (profils sismiques, lignes de levés géophysiques aéroportés ou au sol...)
- images continues satellitaires
- zones désignées comme homogènes comme des unités lithologiques, cartes de végétation ou de sols, résultats de classification...
- lignes représentant des failles, des contacts intrusifs, des routes ou des limites de propriétés...

2.2. De la donnée à l'information géologique

Un exemple permet d'illustrer la problématique : on peut observer sur le terrain un contact entre deux types de roches, entre un granite et un schiste, entre deux niveaux stratifiés de composition différente. Dans une carrière, sur un bord de mer, sur un flanc de montagne, on pourra aisément qualifier le contact, le dessiner, l'analyser, mesurer son orientation, éventuellement prélever un échantillon. Ce contact sera une donnée à laquelle d'autres données pourront être associées. Lorsque le géologue

dessinera une carte, il localisera ce contact avec la plus grande précision possible. Et il l'étendra géographiquement. Toutefois, il est très rare de pouvoir représenter en tout point la trace d'un contact observé. Et le géologue créera une limite interprétée. L'ensemble des données ainsi organisé sera une information.

S'il digitalise ce contact, il numérisera en fait une donnée interprétée et extrapolée. Et il risque rapidement de perdre l'information sur ce qui a été réellement observé et ce qui a été interprété. Un effort est donc nécessaire pour qu'un formalisme soit défini pour sauvegarder les données numériques et pour codifier les observations suivant des lexiques et des mots clés qui pourront être reconnus par des outils de manipulation des données. On définit ainsi un modèle de données.

Le modèle de données réalise une hiérarchisation et un classement de la donnée collectée, lui conférant la valeur d'une information pouvant être mise à disposition. Il résulte de votre collecte de données et est adapté à l'objectif de l'étude. Il comprend plusieurs thèmes: lithologie, structure, métamorphisme, géochronologie, géochimie, formations superficielles... Dans chaque thème, des champs sont définis afin de reporter les caractères propres à chaque point et pour chaque champ, un lexique est défini.

En résumé une information géologique est caractérisée par deux aspects distincts :

1. Une information relative à un objet ou un phénomène, elle peut être décrite par un lot de données: nature, contenu, limite, aspect, état, âge.... Il s'agit là de l'aspect sémantique de l'information
2. Une localisation dans l'espace et le temps, dans un système référence explicite. On parlera alors de l'aspect géométrique de l'information, correspondant à un lot de données géométriques.

Le principe d'un système d'information géographique/géologique est de permettre d'établir et de gérer des liens entre ces deux aspects de l'information.

Les fichiers Adobe [information.pdf](#) (anglais) et [sig.pdf](#) (français) présentent des développements de ce thème.

2.3. Réflexion préliminaire sur la formulation numérique des données géologiques de base

La numérisation des données géologiques se fait suivant deux modes :

- Sous forme naturellement numérique car mesurée : âge, orientation et pendage des structures, composition chimique, pétrographie modale et normative, ellipsoïde des contraintes...
- Sous forme codée numériquement en référence à des lexiques, à un modèle de description des données : lithologie, minéralogie, altération hydrothermale...

Il est à remarquer que le champ de la géologie appliquée fait particulièrement appel à des données numériques car relatif à des mesures techniques (débit d'eau, résistance de parois, teneur en éléments...).

Ces données, quelle que soit leur formulation initiale, constituent en fait des variables dont on étudiera les variations, continues ou discontinues. La répartition de ces données étant rarement continue et l'échelle des problèmes géologiques excluant toute représentation 1/1, il est inévitable de recourir à un échantillonnage. Il ne faut donc jamais oublier le caractère propre à tout échantillonnage, qui implique une définition de la procédure et des intervalles d'erreur propres à chaque méthode. Ce qui ouvre parallèlement la possibilité de quantifier les incertitudes.

Comme évoqué précédemment, la numérisation des données géologiques interprétées constitue une étape complémentaire dans la valorisation des informations acquises sur le terrain. Quelques exemples

- La carte géologique
- Les coupes géologiques
- Les trajectoires de déformation, une carte d'un champ de potentiel

La nature interprétative impose là encore de garder à l'esprit que la méthodologie d'interprétation doit être reproductible, donc formalisée.

3. Les systèmes d'information géographiques/géologiques

3.1. Les définitions

Un système d'information est un système de communication permettant de transférer et de traiter de l'information. Les systèmes d'information géographiques sont apparus à la fin des années 60, en liaison avec les objectifs de production de cartes informatisées. C'est ainsi qu'est née la Géomatique, un ensemble de techniques de traitement informatique des données géographiques. L'USGS parle d'un début de numérisation en 1983 et de la réalisation d'un premier GIS en 1984. Trois définitions extraites de publications professionnelles sont présentées, complémentaires et permettant de cerner la problématique générale des SIG dans leurs applications géologiques.

- Un système d'information géologique peut être défini comme un système d'information dans lequel les données de localisation géographique et les données liées à ces données sont gérées par un logiciel. C'est donc une combinaison d'un système de gestion de données et d'un système graphique.
- Un système d'information géologique est une stratégie de gestion de l'information destinée à la saisie, stockage, vérification, intégration, manipulation, analyse et distribution de données référencées spatialement sur terre.
- Un système d'information géologique est un outil informatique pour la création, standardisation, stockage, manipulation et distribution d'informations géologiques, dont les relations peuvent être analysées pour créer une nouvelle information, connue sous le terme de lot de données (dataset)

Une définition assez simple est proposée: **les SIG sont des outils de gestion des données établissant des liens dynamiques entre données géométriques et sémantiques.**

La fonctionnalité attendue d'un SIG est en 5A.

ABSTRAIRE			
ACQUERIR	ARCHIVER	ANALYSER	AFFICHER

3.2. Les défis de la gestion des données par les SIG

Quels sont les challenges à affronter ?

- Le passage au support numérique pose des problèmes de savoir-faire et d'équipement, mais aussi de formation des utilisateurs
- Le volume des données peut vite devenir énorme et nécessite des équipements adaptés
- Les supports présentant les données ont souvent été définis en fonction de l'utilisation directe des résultats. Et non de la reproductibilité des observations pour des études futures
- L'évaluation est plus difficile sur support numérique (ce qui est dans l'ordinateur est "indiscutable"...)

3.3. Les SIG confrontés aux besoins des professionnels des sciences de la terre ?

Le développement des moyens de communications et des puissances de calcul sont des vecteurs de développement mais aussi suscitent de nouveaux besoins et exigences. Ainsi, l'accès aux données en temps réel sur CD ROM ou par INTERNET donne une illusion de facilité et de convivialité qui n'ont de sens que si :

- On teste l'adéquation entre ce qui nous est offert et ce dont nous avons besoin
- On teste notre capacité à utiliser ces données pour la problématique que l'on aborde
- On évalue les investissements nécessaires pour accéder à un nouveau service

On peut ainsi résumer les besoins des professionnels des sciences de la Terre et les principaux problèmes rencontrés

Besoins	Contraintes
Assurer la pérennité des données acquises et des modèles de référence	<ol style="list-style-type: none"> 1. Espaces mémoires suffisants 2. Logiciels de gestion des bases de données 3. Sauvegarde régulière sur support pérenne (CD ROM, disques, bandes)
Consulter des catalogues de données disponibles avec possibilité d'effectuer des requêtes géographiques et thématiques (se référer à une carte de localisation est le premier acte du géologue, sur le terrain et au laboratoire)	<ol style="list-style-type: none"> 4. Accès à des bases de métadonnées mises à disposition des utilisateurs 5. Formation des utilisateurs 6. Avoir l'assurance que ces données correspondent bien à ses besoins et aux outils dont il dispose
Télécharger des données sur des stations de travail ou des ordinateurs personnels dans le cadre d'autorisations délivrées par le gestionnaire des BdD	<ol style="list-style-type: none"> 7. Espaces mémoires suffisants 8. Accès aux bases de données (autorisations, coût)
Télécharger et sauvegarder de nouvelles données et des modèles créés, la possibilité de sauvegarder ses propres données au sein de l'architecture du SGDB	<ol style="list-style-type: none"> 9. Accès aux bases de données (autorisations, procédures de validation des données et des modèles)
Disposer d'applications permettant de modéliser les phénomènes étudiés (modélisations 2 et 3D)	<ol style="list-style-type: none"> 10. Puissance des stations de travail et des ordinateurs

Ces défis et ces besoins conduisent à définir des opportunités de développement de nouveaux outils pour les sciences de la Terre :

- création de diffuseurs et gestionnaires d'information,

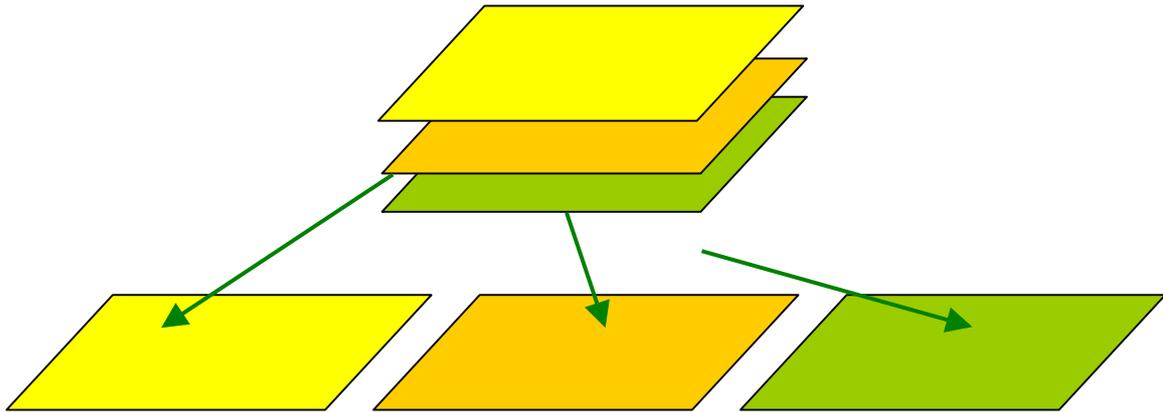
- valorisation de la donnée et de sa propriété
- dégagement d'une valeur ajoutée correspondant au savoir-faire métier (aide à la décision)

3.4. Les formats gérés par les SIG

Les descriptions des objets géologiques se font suivant deux types de fichiers gérant deux types d'information

- L'information spatiale. Il s'agit de fichiers numériques gérant les points, lignes et polygones, chaque élément étant précisément localisé sur terre (géo-référencement), suivant différents types de projection (longitude - latitude, projection Lambert 1, 2, 2 étendu, 3...). Deux types de format existent :
 - Le format RASTER (maillé, tramé en français), les données spatiales sont codées sous forme de cellules arrangées en lignes et colonnes auxquelles sont associées des valeurs numériques. La précision du format RASTER est limitée par la taille de ces cellules. Le principal avantage de ce format est sa simplicité d'utilisation et la possibilité ouverte de manipuler les données en appliquant des filtres ou des traitements renforçant des tendances. Aucune information sémantique n'est rattachée à ce type d'image.
 - Le format Vecteur, les objets sont alors décrits par des points composant le pourtour de chaque objet, une série de coordonnées est orientée en fonction de l'orientation de l'objet géologique. On se référera à des "primitives" géométriques, le point, la ligne, la surface et la surface avec des trous. Le principal avantage de ce format est de garantir les relations topologiques entre les différents éléments géométriques et d'offrir des liens avec des tables présentant l'information sémantique. La précision de ce format est directement liée à la densité de l'information disponible.
- Les informations sémantiques (sémantique dans le sens de « qui peut être dite »), non spatiales, décrivant la nature des informations et les attributs. Les différents types d'attributs seront gérés par des fichiers divers (EXCELL, ASCII...). On pourra prendre un exemple simple : la densité de population d'un pays est une valeur spatialement liée à un pays (à un polygone) mais qui ne pourra être calculée que si l'attribut "population" est documenté dans une table attribut.

L'ensemble de ces images et de ces tables constituera un projet. Les couches d'information géométriques et sémantiques seront superposées, liées par une relation spatiale, chaque image vecteur étant renseignée, chaque information sémantique pouvant être étiquetée sur un support graphique.



Couche du Thème 1

Ex: Grille teneur en Au

Couche du Thème 2

Ex: Vecteur carte géol.

Couche du Thème 3

Ex: Raster MNT

Table attributaire du thème 1	Table attributaire du thème 3	Table attributaire du thème 3
-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------

Structure d'un Projet

On présentera l'exemple de la structure du projet de la carte géologique de la France au 1/1000000^{ème} dont le modèle de données simplifié est résumé ci-dessous.

Objets géologiques, niveaux d'information	Fichier graphique	Attributs	Commentaires
Age stratigraphique AGESTR.TAB	Polygone	Unité carto, émergé, immergé, âge toit; âge mur; nature description, caisson	
Structures et contours STCONT.TAB	Ligne	Dénomination, caractère	
Métamorphisme METAMP.TAB	Polygone	Faciès, âge (cycle orogénique), type de métamorphisme	Aires d'isométamorphisme
METAML.TAB	Ligne	Age (cycle orogénique)	Trajectoire de foliation
METAMR.TAB	Point	Age (cycle orogénique), type de métamorphisme	Reliques de métamorphisme
Magmatisme MAGMAP.TAB	Polygone	Contexte géodynamique, mode de mise en place, famille magmatique, nature chimique, lithologie	
MAGMAL.TAB	Ligne		Trajectoire de foliation
MAGMAR.TAB	Point		
Sédiment volcanisme SEDEVOL.TAB	Polygone	Unité carto, émergé, immergé, âge toit; âge mur; nature description, caisson, faciès spécifique	
ISOBAT.TAB	Ligne	Elément structural, caractère, profondeur	Isobathes

3.5. La construction des SIG

La construction des SIG peut avoir différents objectifs :

- gestion de la donnée géoréférencée, c'est l'exemple de la carte géologique de France
- croisement de données mutisources partageant le même référentiel géographique, c'est maintenant le cas de nombreuses études pluridisciplinaires
- valorisation et mise à disposition de connaissances mutisources, c'est notamment le cas des SIG de sauvegarde des informations.

Dans tous ces cas les applications peuvent être :

- la recherche fondamentale ou appliquée, dans ce cas l'aspect extraction de nouvelles informations sera privilégié ainsi que l'utilisation d'outils tels que les réseaux de neurones ou le « Data mining »
- l'enseignement,
- la production commerciale, dans ce cas les SIG devront être formatés pour répondre au besoin du client et l'accès aux données sources (raster et vecteur) devra être plus ou moins protégés suivant le produit.

De manière générale et quelle que soit la finalité, les étapes de construction des SIG sont les mêmes :

1. Bâtir le modèle de données et l'architecture souhaitée : définir les différents thèmes d'information qui seront traités, les attributs et les lexiques
2. Recherche exhaustive des données disponibles dans les rapports, bases de données, Internet, archives..., création d'une base de métadonnées
3. Compilation, évaluation de la qualité des données, sélection des données et élimination des doublets, homogénéisation, organisation, hiérarchisation de l'information et constitution des thèmes factuels
4. Utilisation des informations retenus pour créer des documents synthétiques illustrant le degré de connaissance, cette étape requiert un savoir faire reconnu et fournit la plus value scientifique du SIG
5. Croisement des informations de chaque thème et génération de couches à haute valeur ajoutée, de tels croisement fournissent de nouvelles gammes d'information primordiales pour définir des priorités d'investissement (s.l.), citons l'exemple des cartes de géologie prédictive qui permettent de poser des permis de recherche et planifier des campagnes de prospection stratégique.

4. La gestion des données et des bases de données

4.1. La problématique générale

Pourquoi en est-on arrivé à définir des systèmes de gestion de bases de données ?

La gestion de fichier permet dans un premier temps de satisfaire les besoins d'organisation et de classement des données. Mais dès que le volume, la nature des données est importante, dès que les requêtes sont variées et nécessitent des outils d'extraction et de visualisation, il est alors nécessaire de disposer d'une architecture appropriée.

4.2. Définition des bases de données

Une base de données est une collection de données opérationnelles, enregistrées (sur un support adressable) et utilisées par des systèmes d'application (les programmes). En outre la collection de données est structurée indépendamment d'une application particulière, elle est cohérente, de redondance minimale et accessible simultanément par plusieurs utilisateurs. Cette définition implique STRUCTURATION, NON REDONDANCE, MISE EN COMMUN, QUALITE et DISPONIBILITE des données d'une base.

4.3. Le Système de Gestion des Bases de Données (SGDB)

Un SGDB est un ensemble d'outils logiciels permettant la création et l'utilisation de bases de données. Les principales fonctions sont décrites :

- La définition des données. La première étape est la création d'un modèle de données (Langage de Description des Données) qui est une étape de description (normalisation) des appellations, une valorisation du savoir faire professionnel. On décrit les objets (unité géologique), les attributs (le nom des formations, leur composition X, leur orientation Z...), leurs liens (l'unité géologique contient les roches de composition X...), ainsi que des contraintes éventuelles pouvant concerner les objets, leurs attributs, leurs liens. Cette description est unique est commune aux diverses applications qui utilisent la base.
- La manipulation des données. Il s'agit des outils et des mécanismes qui permettent de faire communiquer une BdD et des clients (utilisateurs ou programmes). Il doit être possible de réaliser des recherches, créations, modifications et suppression d'informations. Ces divers moyens de manipulation des données cachent totalement à l'utilisateur tous les aspects relatifs à l'organisation physique des données sur le support de stockage. Il y a indépendance des données et des programmes.
- L'intégrité des données. Ce concept est relatif à la qualité de l'information enregistrée. Pour être fiable, celle ci doit vérifier certaines propriétés appelées contraintes d'intégrité (appartenance à une liste de valeurs permises pour un attribut).
- Les accès concurrents. Les données doivent pouvoir être accessibles simultanément par plusieurs utilisateurs ce qui impose des mécanismes de gestion des conflits d'accès (autorisation des accès multiples en consultation, verrouillage lors d'accès en modification)
- La confidentialité doit être assurée par le biais de mots de passe et de privilèges d'accès.
- La sécurité de fonctionnement. Il est nécessaire pouvoir remettre rapidement la base de données dans un état opérationnel en cas d'incident matériel ou logiciel qui en aurait altéré la qualité. Pour cela la sauvegarde régulière sur bandes ou autres supports est nécessaire.

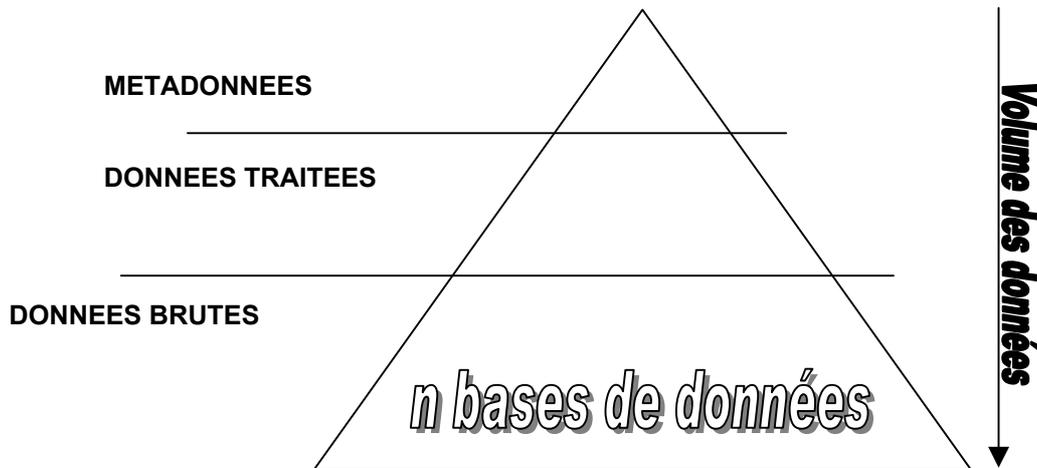
4.4. Les types de Système de Gestion des Bases de Données

1. Le modèle hiérarchique, relations père et fils, navigation verticale dans une arborescence
2. Le modèle réseau est sur le même modèle que le modèle hiérarchique sauf qu'une classe fille peut avoir plusieurs classes mères

3. Le modèle relationnel permet de voir la base de données comme un ensemble de tables et il est doté d'une algèbre qui lui confère une assise formelle solide. Les langages relationnels de manipulation de données se caractérisent par leur nature déclarative et sont standard (SQL)
4. Le modèle "Système orienté objet" a intégré les concepts issus des langages à objets (notions de classes et de sous classes, opérations ou méthodes associées aux classes, héritage...)

4.5. La structuration des données géologiques et géophysiques

Le triangle de l'accès aux données, des données brutes aux métadonnées



Les métadonnées sont définies par une norme européenne CEN/TC/287 ([voir le fichier CENTC287.htm](#)) et définissent:

- Identification du lot de données (nom)
- Caractères généraux du lot de données (résumé, nature, utilisation...)
- Administration du lot de données (organisme propriétaire et impliqués, conditions de diffusion, prix, contacts)
- Éléments de qualité du lot de données (procédure d'acquisition, qualité de localisation, attributs thématiques...)
- Coordonnées spatiales du lot de données, indiquant le système référentiel utilisé
- Description du lot de données (modèle de donnée)
- Les références temporelles (dates d'acquisition des données, date de création des métadonnées, dates de mises à jour...)
- Exemples des données (images..)

5. Le croisement des données géologiques et géophysiques

Les méthodes géophysiques s'attachent à déterminer ponctuellement, le long de lignes continues ou dans un repère spatial 3D, la valeur des champs physiques naturels ou provoqués. Ces champs présentent des perturbations dont une partie est directement liée à la composition et à la structure du sous-sol. Dans la mesure où les propriétés physiques des roches sont connues, un lien peut alors être établi entre l'extension cartographique de ces roches et les cartes géophysiques. Ainsi, les méthodes d'étude géophysique telles la gravimétrie, le magnétisme ou la radiométrie évaluent respectivement l'extension de domaines de densité, de susceptibilité magnétique et de radioactivité naturelle contrastées. Cette information peut être représentée en grille (format RASTER) et superposée à l'information géologique vectorisée (limites lithologiques, failles, champs de déformation...).

De plus comme noté précédemment, la manipulation des couches RASTER ouvre des capacités de traitement, différentes hypothèses pouvant être testées en appliquant des filtres ou en calculant de

gradients. On se situe donc bien dans la capacité de produire de nouvelles couches d'information "à valeur ajoutée" à partir d'une information multi-source. Dans une étape ultérieure, ces cartes d'interprétation serviront à la localisation des coupes qui sont renseignées dans la dimension verticale, prenant en compte:

- les coupes géologiques d'après l'analyse des données cartographiques et structurales
- les coupes gravimétriques
- les coupes magnétiques
- les profils sismiques

On peut ainsi renseigner l'information dans l'espace en 3D puis recourir à des outils de modélisation 3D. Et ceci est une autre histoire...