

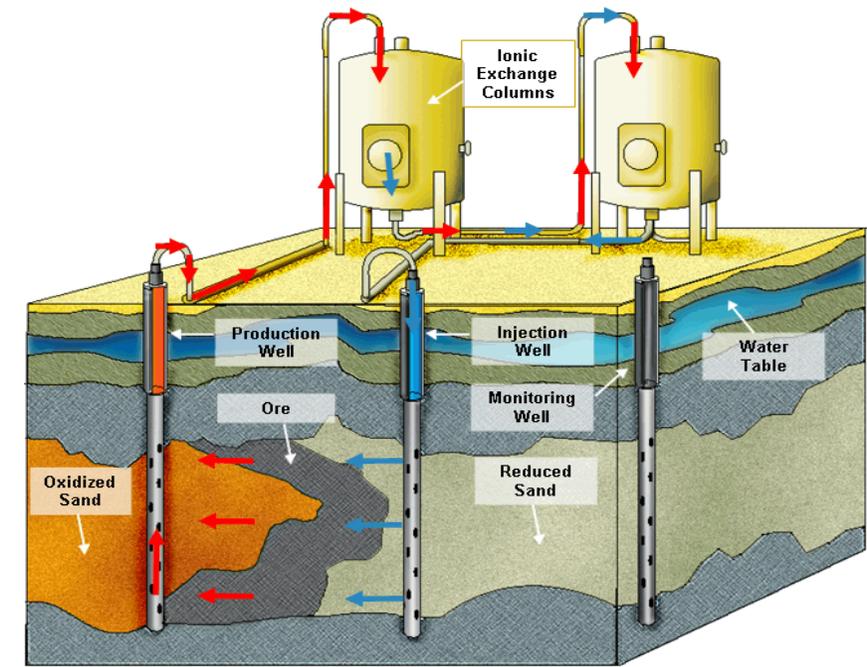
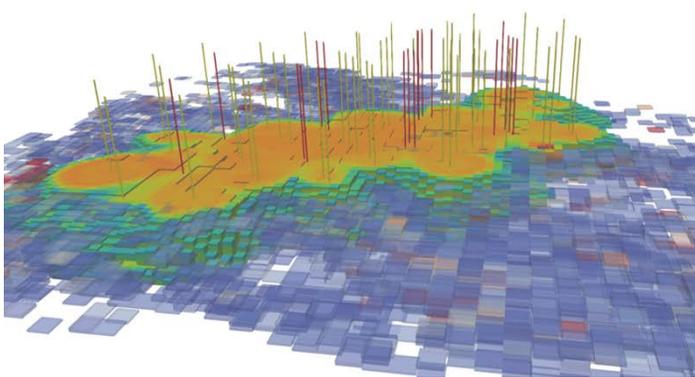


La chaire industrielle Orano à l'Université de Lorraine: retour d'expérience

Contexte

➤ Les chaires industrielles Orano: des opportunités (2016-2020)

- Chaire Industrielle ANR Production d'Uranium par lixiviation in situ
 - Outil numérique de Préviation, gestion des réserves, optimisation, intégration de la modélisation en transport réactif, impact environnemental
 - Mines Paris Tech



Modeling of Uranium recovery and reactive mass transfer in ISR

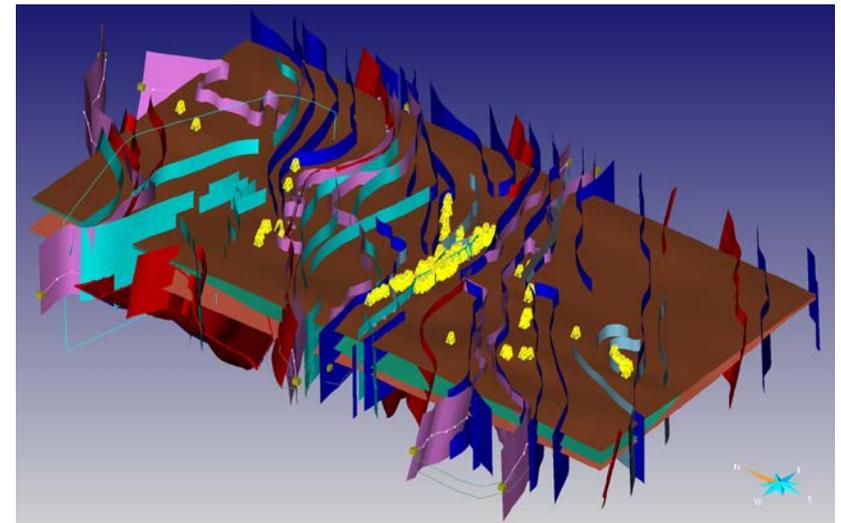
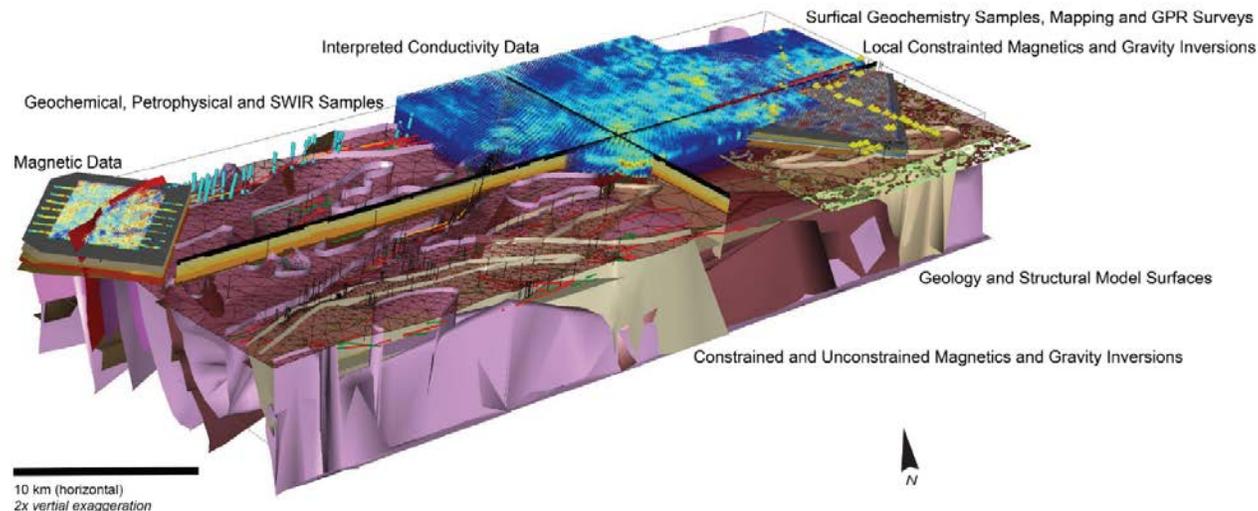
Vincent Lagneau¹, Olivier Regnault², Anthony Le Beux²

¹ MINES ParisTech / Centre de Géosciences

² Orano Mines

Contexte

- **Les chaires industrielles Orano: des opportunités (2021-2025)**
- **Chaire Industrielle ANR Géomodèle Intégré 3D**
 - Aide à l'exploration des géoressources, réconciliation des modèles géophysiques et données géologiques, empreinte et ciblage des gisements géants
 - Université de Lorraine



Contexte

- **Les chaires industrielles Orano: des opportunités (2020-2022)**
- Chaire Industrielle Orano-Université de Lorraine: Géoressources, exploration et traitement
 - Nouveaux guides métallogéniques, amélioration des procédés, réduction de l'impact environnemental, Mine Digitale
 - Enjeu principal: Recherche de l'adéquation entre l'offre académique de R&D et les besoins exprimés par les équipes opérationnelles en charge de l'exploration et de l'exploitation des géoressources

Adéquation entre les besoins de l'industrie et la R&D

- **Les questions propres à la définition de nouvelles cibles d'exploration**
 - ✓ Comment prioriser les cibles, optimiser les process?
 - ✓ Comment réduire l'incertitude?
 - ✓ Comment gérer la génération de projets, données vs connaissances?
- **Analyse des acquis scientifiques et techniques**
 - ✓ Les problématiques scientifiques non résolues et considérées comme critiques
 - ✓ Sortie de la zone de confort et recherche de nouveaux défis
- **Elargissement de la réflexion au-delà d'une organisation focalisée sur une spécialité (l'exploration) et une substance (uranium)**
 - ✓ La modélisation en appui aux démarches empiriques
 - ✓ La paramétrisation des domaines exploités pour optimiser les traitements minéralurgiques
 - ✓ Les ressources naturelles non conventionnelles
 - ✓ Le contexte international
 - ✓ ...



Adéquation entre les besoins de l'industrie et la R&D

- Des défis à la croisée des démarches scientifiques fondamentales et appliquées
- Des retours d'expérience de l'exploration et de la recherche académique pour relever ces défis
- Des références pour guider notre réflexion

Paradigmatic Shifts in the Uranium Exploration Process: Knowledge Brokers and the Athabasca Basin Learning Curve

James L. Marlatt[†], Raven Minerals Corp., Suite 500, 360 Bay Street, Toronto, Canada M5H 2V6 and T. Kurt Kyser, Queen's Facility for Isotope Research, Department of Geological Sciences and Geological Engineering, Queen's University, Kingston, Canada K7L 3N6

VIDEOS (pgs. 12-16)
 M. Hizman and J. Hronsky
 New Website additions in 2011
 Oral History Videos, News Releases, and Views Online



Contents lists available at ScienceDirect
Ore Geology Reviews
 journal homepage: www.elsevier.com/locate/oregeorev



Translating the mineral systems approach into an effective exploration targeting system

T. Campbell McCuaig^{a,*}, Steve Beresford^a, Jon Hronsky^{a,b}

^a Centre for Exploration Targeting, School of Earth and Environment, The University of Western Australia, Crawley, Western Australia, 6009, Australia
^b Western Mining Services, Suite 26, 17 Prowse St, West Perth, Western Australia, 6005, Australia

Mineral Exploration: Discovering and Defining Ore Deposits

Dan Wood, AO[†] (SEG F), W.H. Bryan Mining and Geology Research Centre, Sustainable Minerals Institute, University of Queensland, Brisbane, Queensland 4072, Australia, and Jeffrey Hedenquist (SEG F), University of Ottawa, 160 George Street, Suite 2501, Ottawa, Ontario K1N 9M2, Canada

SEG 2019
 Conference
 See p. 35-39 for details



Adéquation entre les besoins de l'industrie et la R&D

- Des défis à la croisée des démarches scientifiques fondamentales et appliquées
 - The future of successful uranium exploration is envisaged as the “innovation exploration” stage in which a paradigmatic shift in the exploration approach will take the industry towards new discoveries by leveraging research and technology development. (Marlatt et Kyser, 2011)
 - We argue that discovery of deeper deposits will be facilitated if exploration teams (1) seek to identify subtle evidence of mineralized rock recognizable within 500 m of the surface, (2) conduct follow-up investigations with a clear understanding of the volumetric dimensions of the discovery target, and (3) drill boldly as a critical exploration tool. We propose that improving the way geoscientists think when exploring— being more predictive —is the immediate key to increasing the number of discoveries. (Wood and Hedenquist, 2019)

Retours d'expérience de l'exploration et de la recherche académique

➤ Méthodologie du groupe de travail Orano-Université de Lorraine

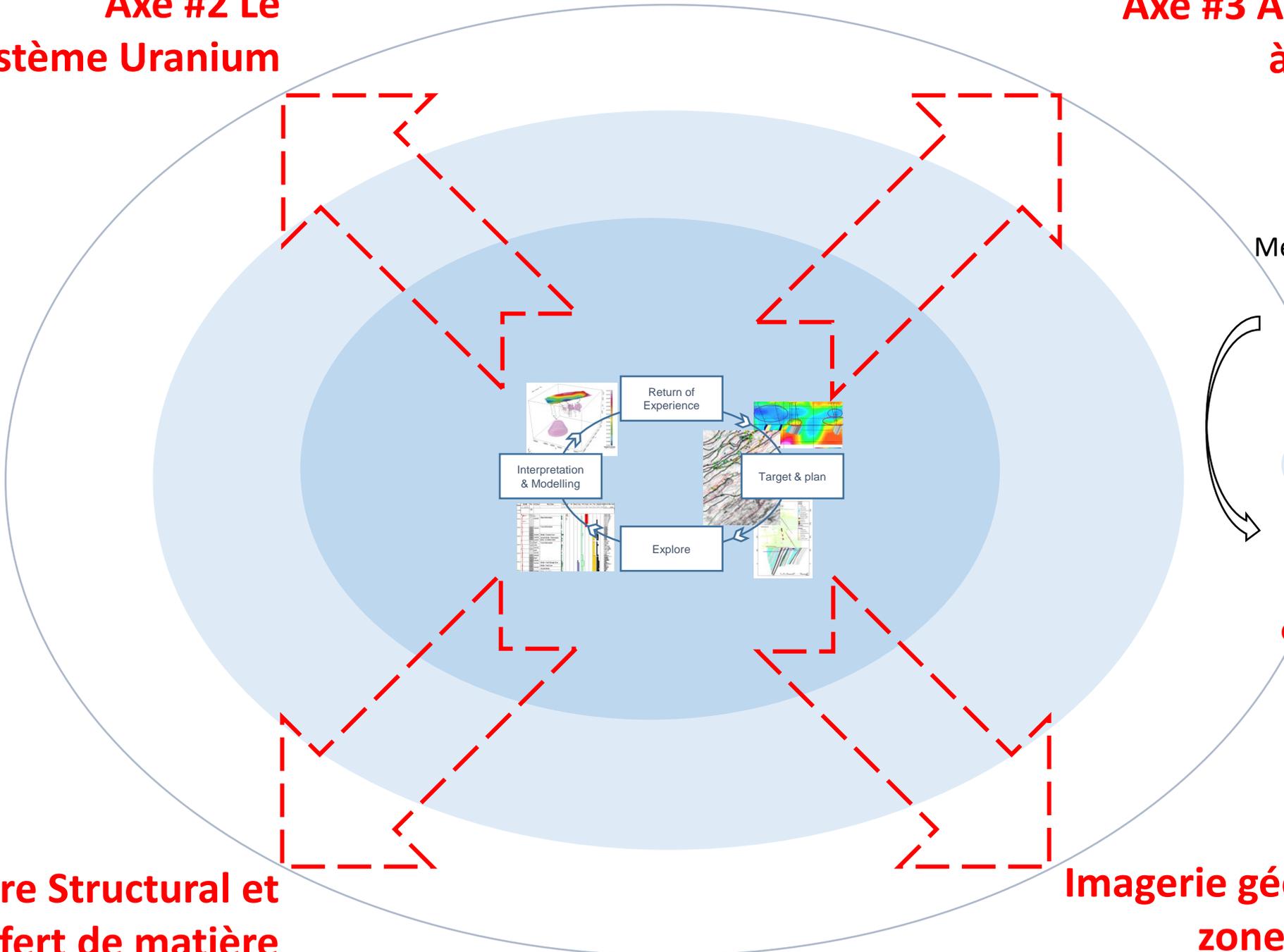
- Définir des axes logiques partant de la problématique de l'exploration
- Réaliser un inventaire global afin de couvrir les défis scientifiques et techniques de façon exhaustive
- Evaluer comment cette problématique est liée à des thématiques présentant un enjeu scientifique

➤ 4 axes thématiques

- Cadre structural et transferts de matière
- Le système métallogénique (Uranium)
- Aide numérique à la prédictivité
- Imagerie géophysique des zones minéralisées

**Axe #2 Le
Système Uranium**

**Axe #3 Aide numérique
à la prédictivité**



Défis
Méthodologiques et
Scientifiques

Actions
R&D

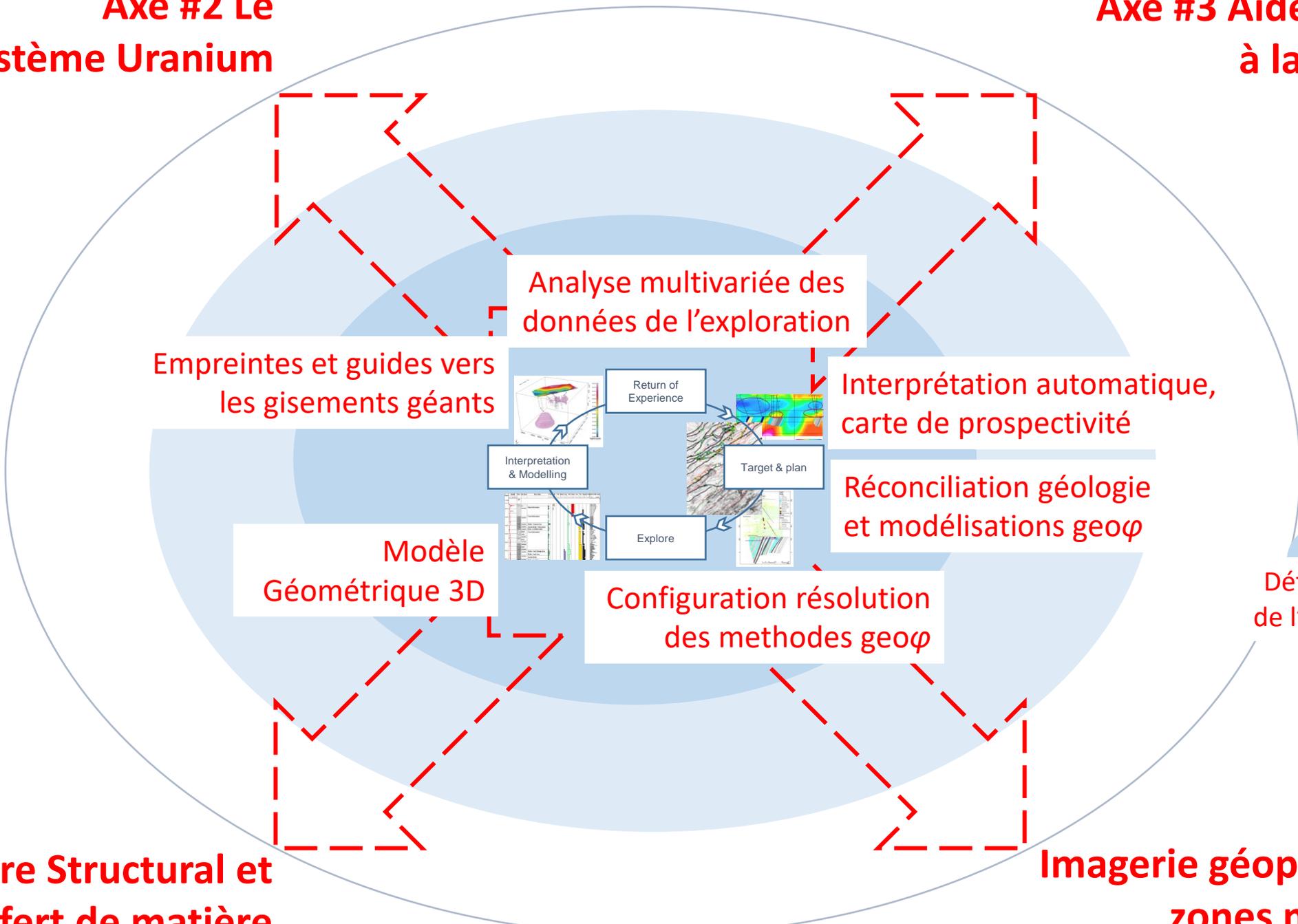
Défis relevant
de l'exploration

**Axe #1 Cadre Structural et
transfert de matière**

**Axe #4
Imagerie géophysique des
zones minéralisées**

**Axe #2 Le
Système Uranium**

**Axe #3 Aide numérique
à la prédictivité**



Empreintes et guides vers les gisements géants

Analyse multivariée des données de l'exploration

Interprétation automatique, carte de prospectivité

Réconciliation géologie et modélisations geoφ

Modèle Géométrique 3D

Configuration résolution des methodes geoφ

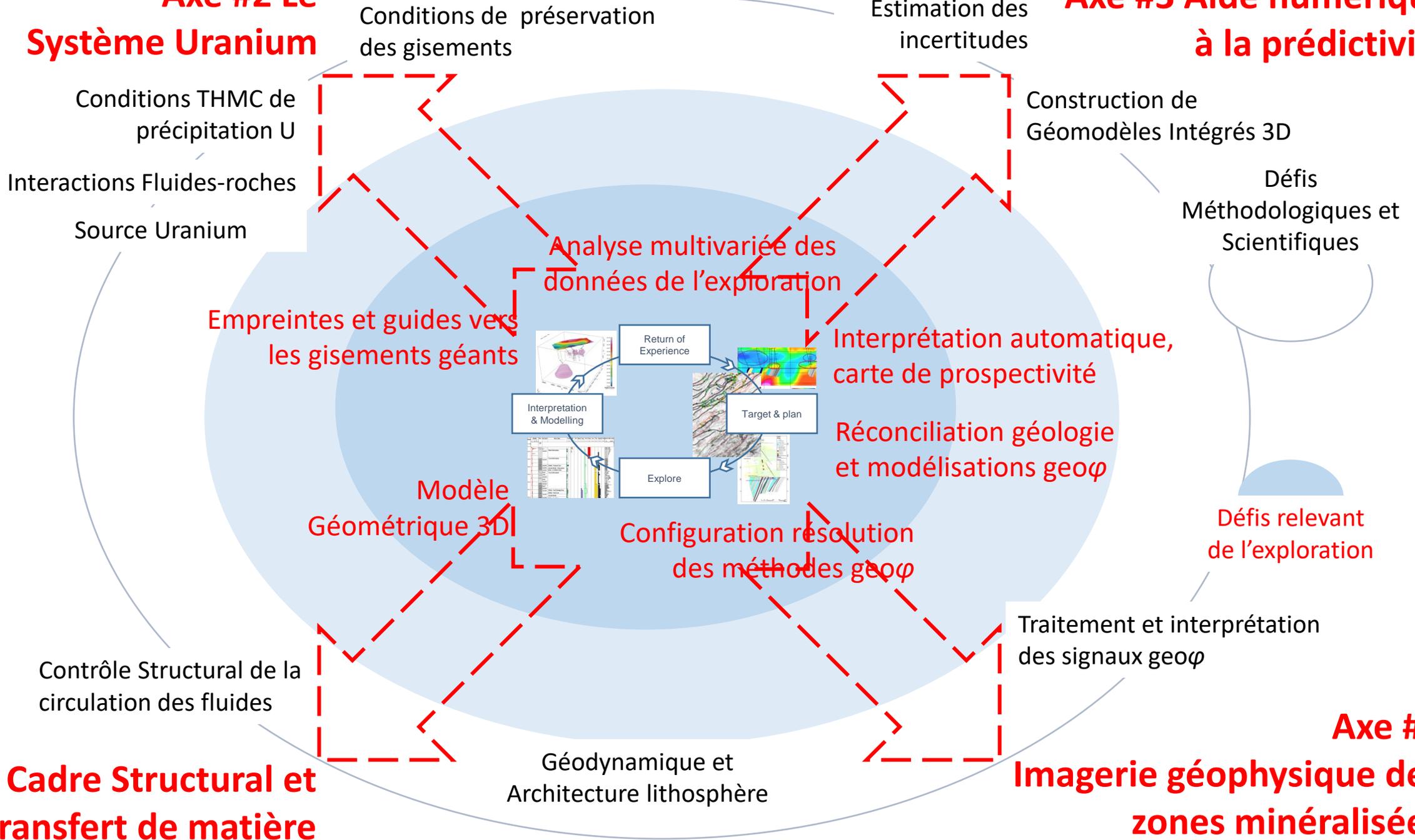
Défis relevant de l'exploration

**Axe #1 Cadre Structural et
transfert de matière**

**Axe #4 Imagerie géophysique des
zones minéralisées**

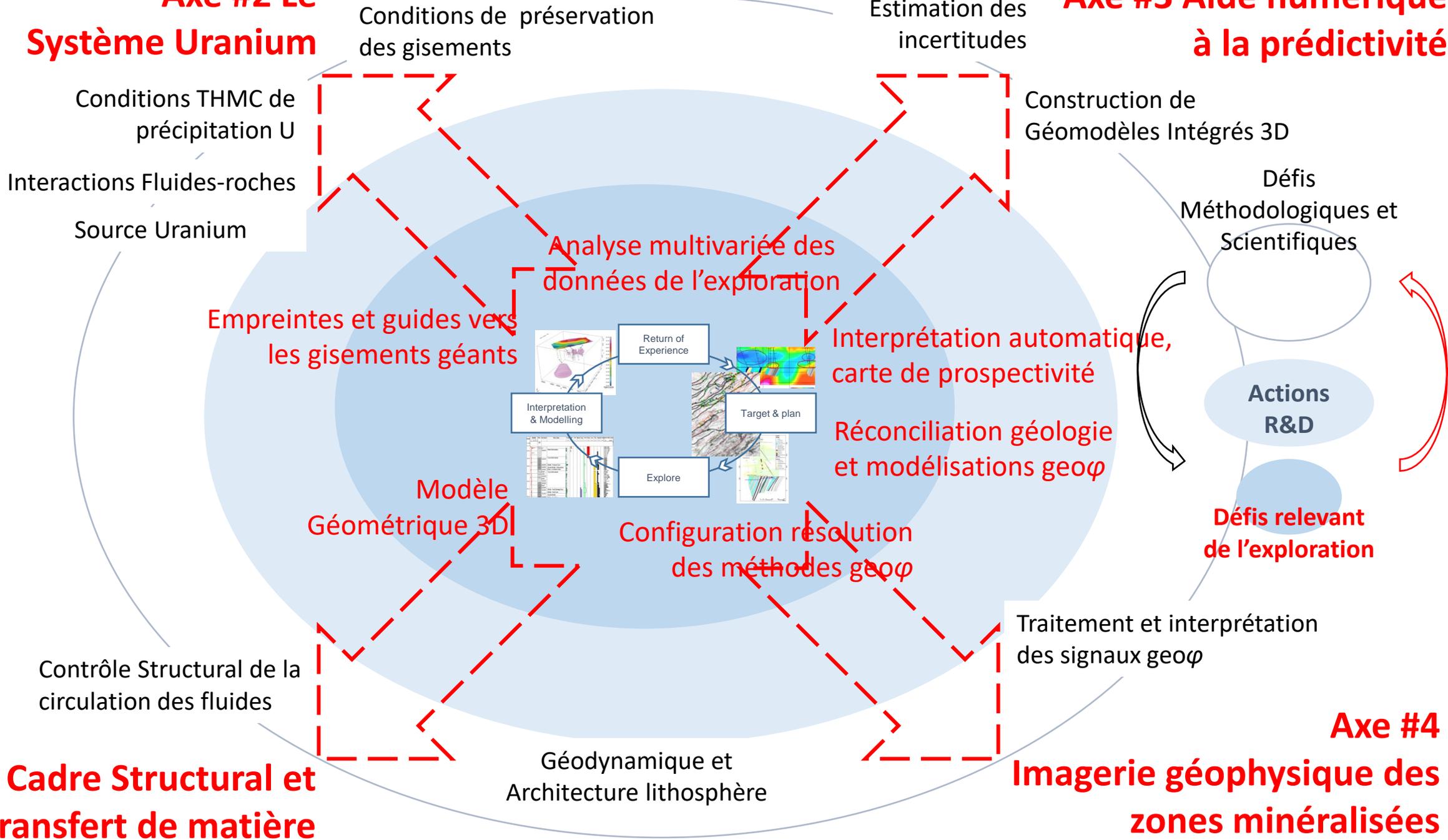
Axe #2 Le Système Uranium

Axe #3 Aide numérique à la prédictivité



Axe #2 Le Système Uranium

Axe #3 Aide numérique à la prédictivité



Les livrables de la chaire industrielle

- La continuité des actions liées aux axes d'expertise de l'UL
 - Cadre structural et transfert de matière, Système uranium
- Des actions transversales
 - Analyse multivariée et la modélisation des bases de données et d'apprentissage machine
 - Paramétrisation physique/chimique des zones minéralisées et modélisation numérique des processus métallogéniques

Les livrables de la chaire industrielle

- **La continuité des actions liées aux axes d'expertise de l'UL**
 - Cadre structural et transfert de matière, Système uranium
- **Des actions transversales**
 - Analyse multivariée et la modélisation des bases de données et d'apprentissage machine
 - Paramétrisation physique/chimique des zones minéralisées et modélisation numérique des processus métallogéniques
- **Une démarche pédagogique**
 - Evolution des contenus et articulation entre modules dédiés à l'exploration
 - Valeur ajoutée de la participation de praticiens de l'exploration et des ingénieurs recrutés dans le cadre de la chaire

Les livrables de la chaire industrielle

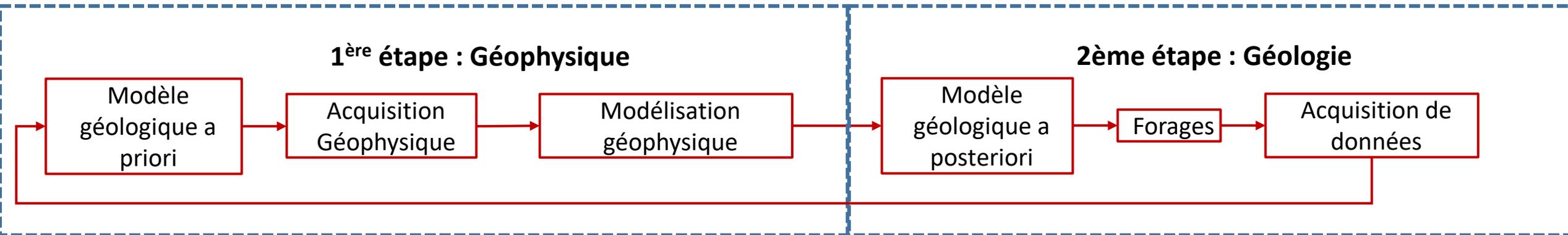
- **La continuité des actions liées aux axes d'expertise de l'UL**
 - Cadre structural et transfert de matière, Système uranium
- **Des actions transversales**
 - Analyse multivariée et la modélisation des bases de données et d'apprentissage machine
 - Paramétrisation physique/chimique des zones minéralisées et modélisation numérique des processus métallogéniques
- **Une démarche pédagogique**
 - Evolution des contenus et articulation entre modules dédiés à l'exploration
 - Valeur ajoutée de la participation de praticiens de l'exploration et des ingénieurs recrutés dans le cadre de la chaire
- **Une Chaire Industrielle ANR focalisée sur une adéquation des besoins: Géomodèle Intégré 3D d'aide à l'exploration des géoressources**
 - Titulaire: Julien Mercadier

Géomodèle Intégré 3D d'aide à l'exploration des géoressources

Organisation de l'Exploration

Orano:

- 1 100 blocs géophysiques
- 21 400 forages
- 1 000 000 d'échantillons
- Des millions de données



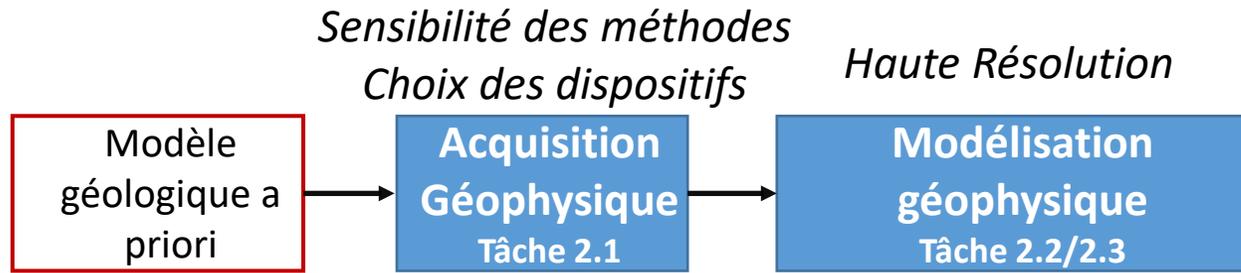
Limites de l'approche

- **Difficulté d'identifier le potentiel économique des découvertes d'indices**
- **Des verrous scientifiques** pour la **Modélisation Géophysique** et la **Compréhension Géologique**
- Des blocages dans la **Réconciliation des approches** et l'**Intégration de multiples variables**

L'objectif du projet GeomIn3D:

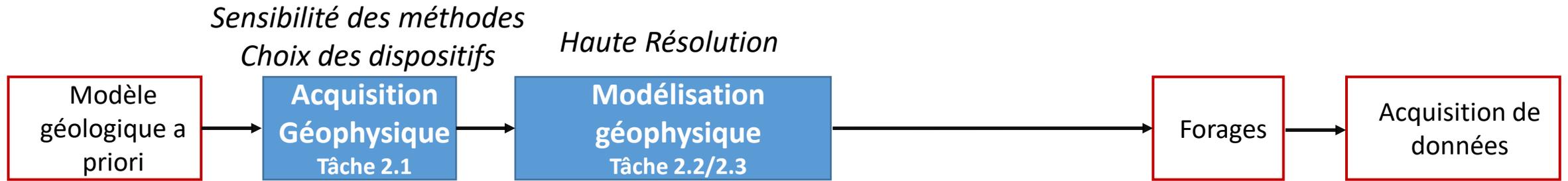
Un Processus Intégré Quantitatif de hiérarchisation des cibles de forages

Organisation Cible de l'Exploration à l'issue de GeomIn3D



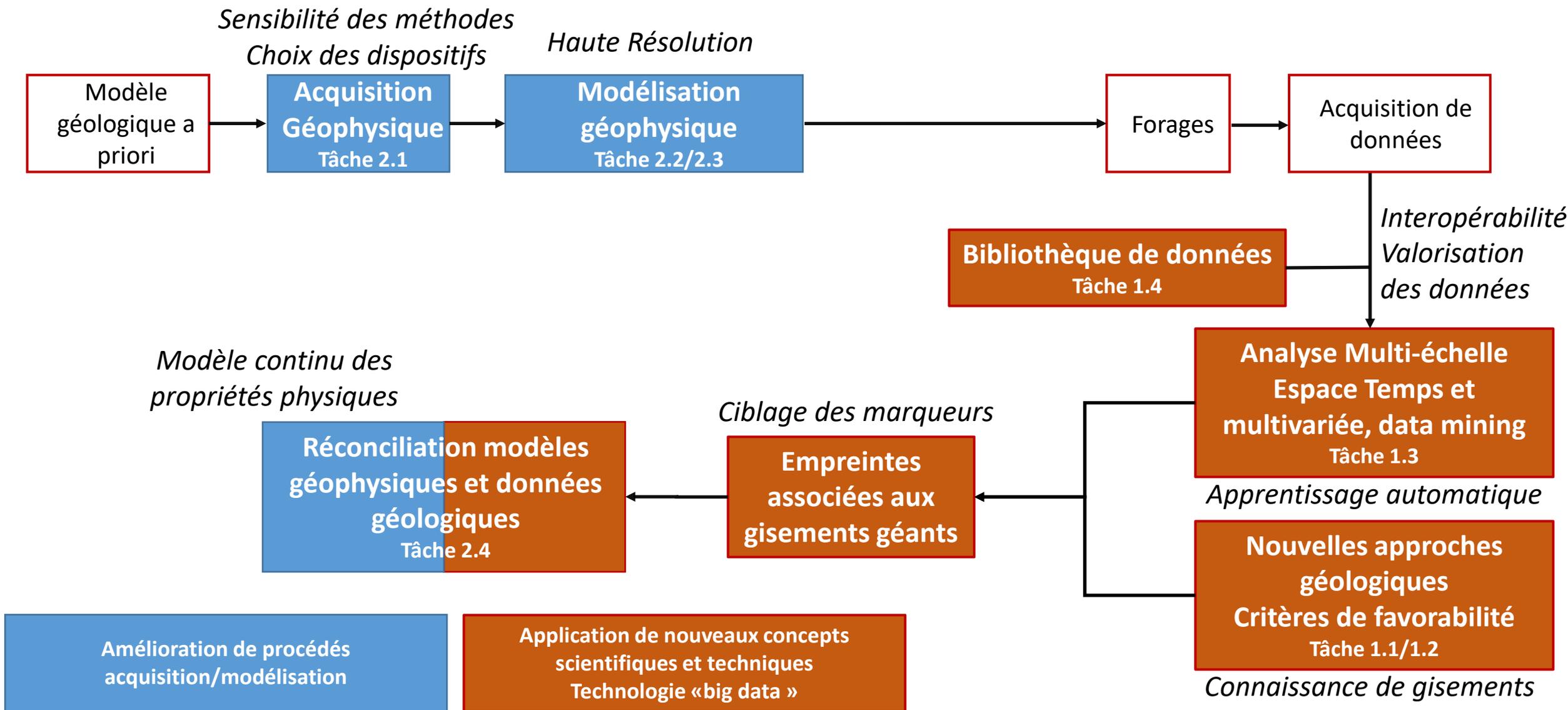
Amélioration de procédés
acquisition/modélisation

Organisation Cible de l'Exploration à l'issue de GeomIn3D



Amélioration de procédés
acquisition/modélisation

Organisation Cible de l'Exploration à l'issue de GeomIn3D



Organisation Cible de l'Exploration à l'issue de GeomIn3D

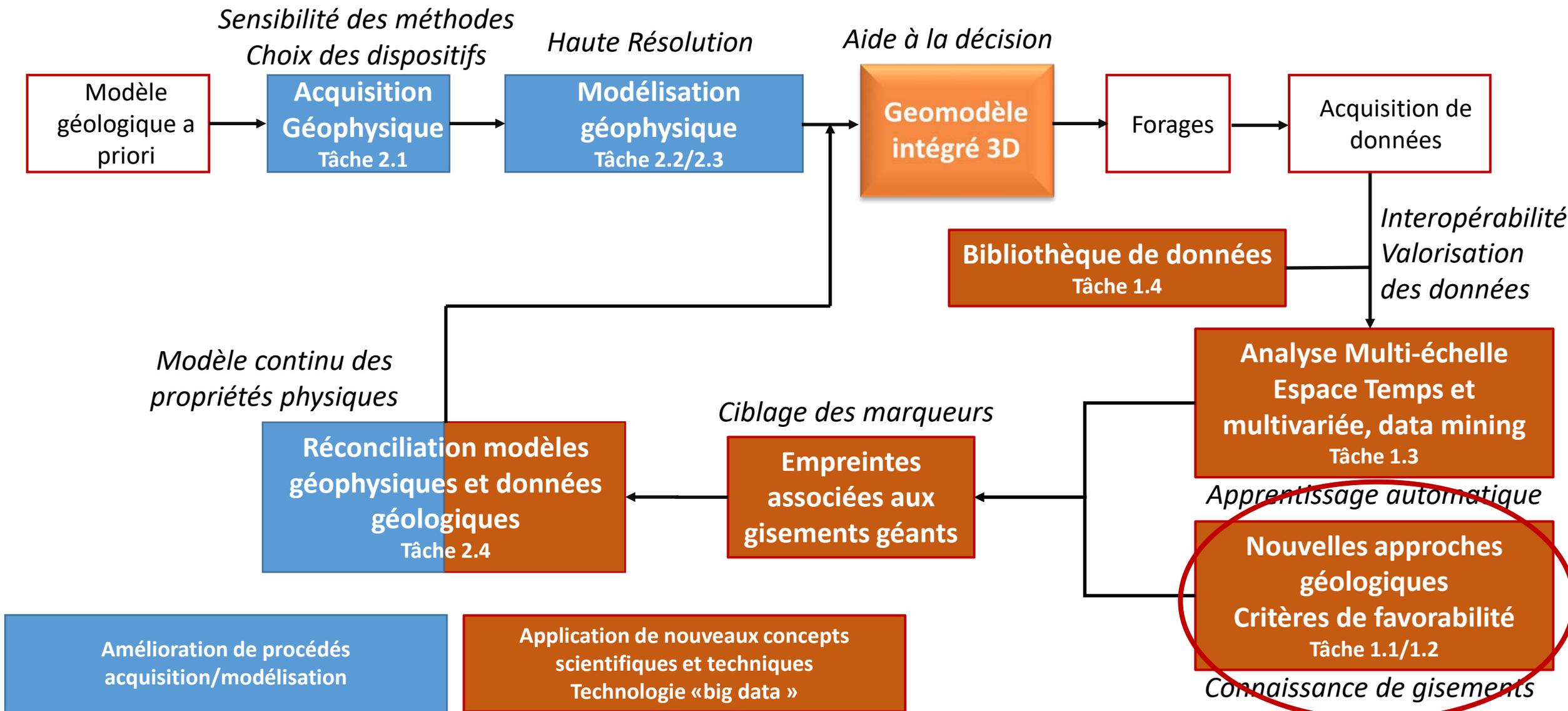
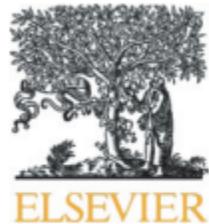


Illustration de développements thématiques

- Comment traduire une approche métallogénique holistique dans la définition des cibles de forage? (McCuaig et al. 2010)



Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Ore Geology Reviews

journal homepage: www.elsevier.com/locate/oregeorev



Translating the mineral systems approach into an effective exploration targeting system

T. Campbell McCuaig ^{a,*}, Steve Beresford ^a, Jon Hronsky ^{a,b}

^a Centre for Exploration Targeting, School of Earth and Environment, The University of Western Australia, Crawley, Western Australia, 6009, Australia

^b Western Mining Services, Suite 26, 17 Prowse St, West Perth, Western Australia, 6005, Australia

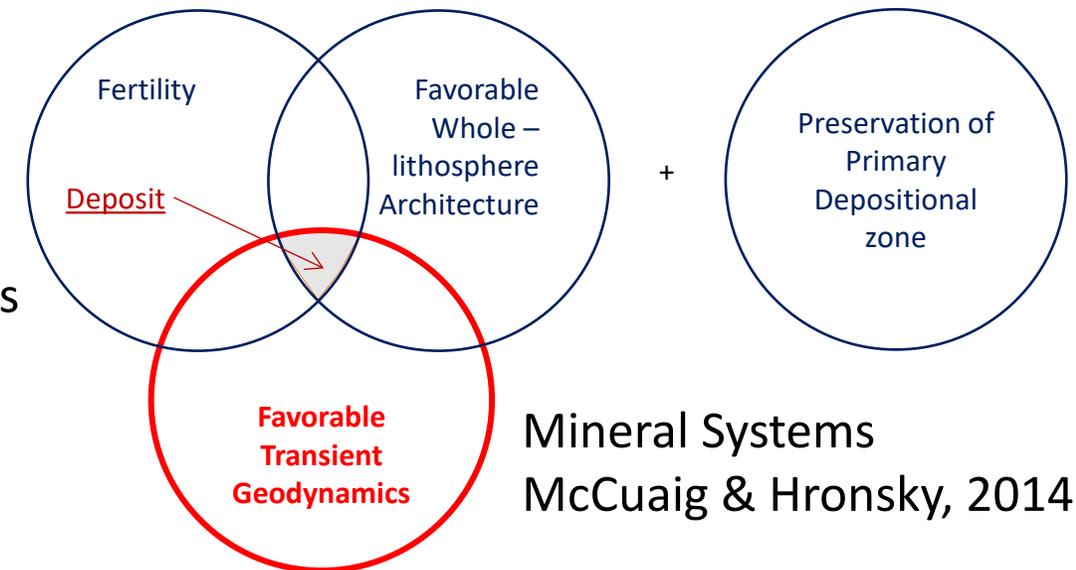
Approche holistique des systèmes métallogéniques

➤ Éléments critiques pour le développement des Systèmes Métallogéniques

1. Architecture favorable de la lithosphère
2. Conditions géodynamiques marquées par le fonctionnement transitoire d'un système hydrothermal associé et/ou moteur de la réactivation des failles héritées et de la stimulation de leur perméabilité
3. Fertilité des terrains
4. Préservation des zones de dépôt primaire

➤ Fonctionnement transitoire d'un système hydrothermal

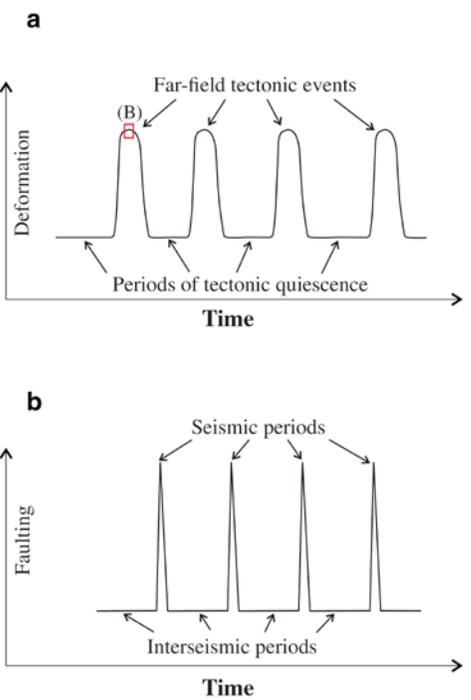
- ✓ Les interactions entre les saumures de bassin et les structures de socle sont des clés de déchiffrement des processus métallogéniques
- ✓ Structures, microstructures et altération nécessitent une analyse approfondie
- ✓ Un manque de données pétrophysiques à combler pour contraindre les modélisations géophysiques
- ✓ Lien entre le contexte géodynamique et les modèles de gisement



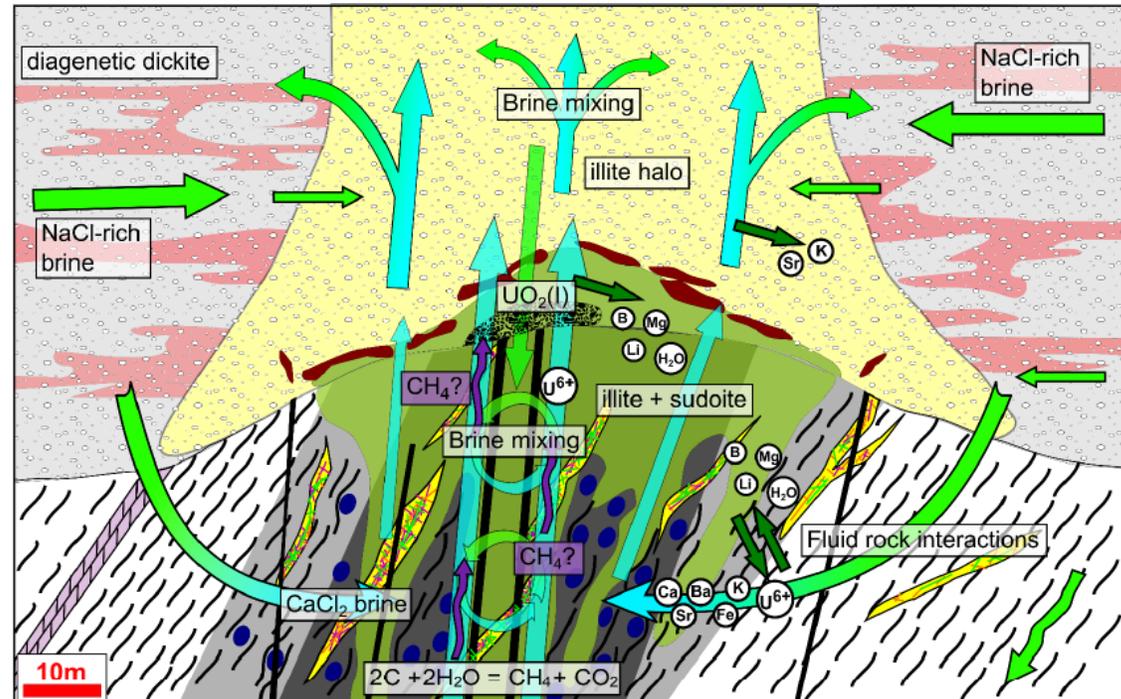
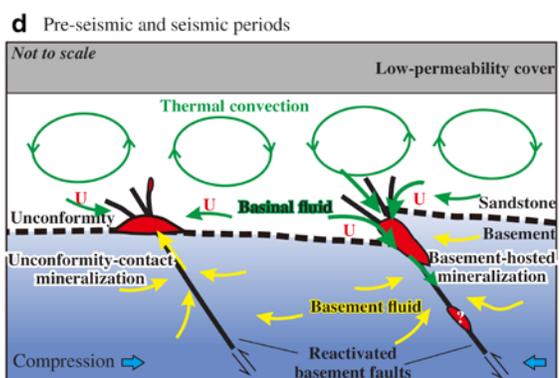
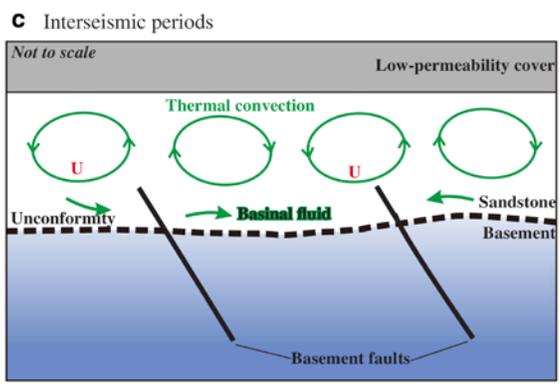
Fonctionnement du système hydrothermal

Favorable
Transient
Geodynamics

- Réactivation induite par des conditions tectoniques aux limites et/ou par une haute pression fluide dans un réservoir de socle
- Analogie avec les événements transitoires décrits pour d'autres métaux et un fonctionnement en « valve/pompe » lors des épisodes minéralisateurs majeurs
- Superposition d'événements transitoires à une altération longue durée et des empreintes jusqu'à présent confondues



Li et al., 2020



Martz et al. 2017

1290-1380 Ma
Primary mineralization

- Reactivation of the E-W shear zone
- Intense circulation and convection of the oxidized basinal fluids into the structure
- Strong fluid-rock interactions with the basement lithologies, metal + U uptake and transport.
- Evolution of the fluid toward a highly saline CaCl₂ dominant composition.
- Syn ore alteration characterized by quartz dissolution, illite precipitation in the basin and illite, sudoite +/- Mg foitite in the basement
- Graphite consumption and CH₄ production: a possible reducing agent for UO₂(l) precipitation?

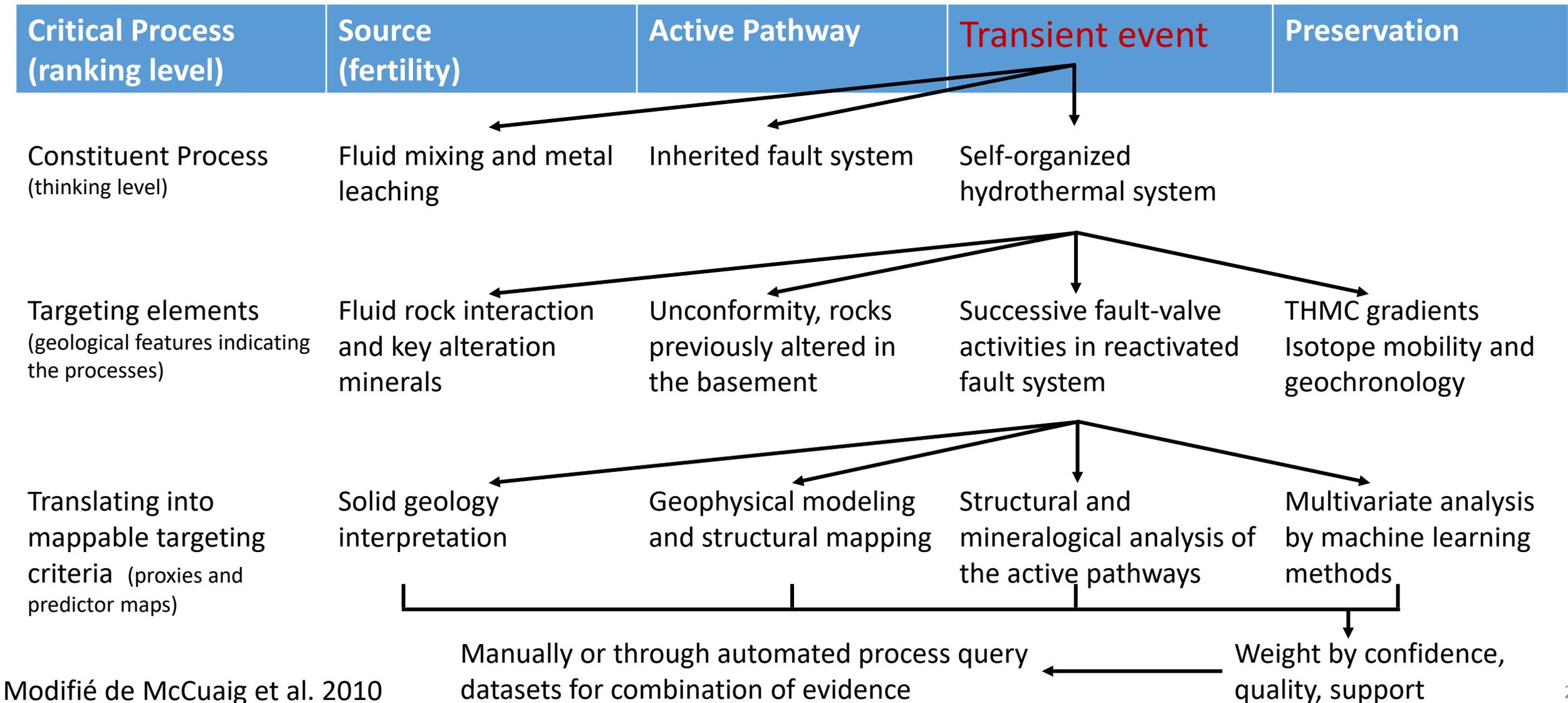
Legend

	Calc-silicates		Augen gneiss
	Pegmatites		Sandstones
	CO ₂ FIPs		Metapelitic gneiss
	C-O-H-N FIPs		2-5% Graphite
	Brine FIPs		>5% Graphite
			Graphitic cataclastite and breccia >20% graphite

Implications sur la stratégie de recherche et d'exploration

- Adapter les méthodes d'analyse scientifique et d'exploration de l'échelle régionale à celle du prospect
- Des processus critiques de formation des systèmes métallogéniques à la définition des critères de définition des cibles de forage
 - ✓ Comment un processus critique, par exemple le fonctionnement de systèmes hydrothermaux transitoires, peut être décomposé en processus constituants, en caractères géologiques et en méthodes de hiérarchisation des cibles
 - ✓ Une complémentarité et une reconnaissance des domaines de compétence différents
 - ✓ Une programmation à élaborer, au sein de laquelle une véritable pluridisciplinarité pourra intégrer les nouvelles approches de modélisation, les innovations scientifiques et techniques et rechercher une meilleure adéquation entre les besoins des explorateurs et des chercheurs

Implications sur la stratégie de recherche et d'exploration



	Source	Active Pathway	Transient event	Deposition
District	Critical <ul style="list-style-type: none"> Geodynamic setting Major metallogenic epoch 	<ul style="list-style-type: none"> Lithospheric architecture Long-lived features Paleocraton margin 	<ul style="list-style-type: none"> District scale structural mapping Large damage zones footprint 	Less relevant <p>The scale we traditionally focus on</p>
Camp	Important <ul style="list-style-type: none"> PT Windows Lithologies and structures 	<ul style="list-style-type: none"> 3D Common Earth Model Relative and absolute chronology 	<ul style="list-style-type: none"> Camp scale damage zone footprint Polyphased activity Broad permeability 	<ul style="list-style-type: none"> Alteration Metal anomalism THMC Gradients
Prospect	Less relevant	<ul style="list-style-type: none"> Unconformity, Large damage zones footprint 	<ul style="list-style-type: none"> Prospect scale damage zone footprints Competency contrast Kinematic framework 	<ul style="list-style-type: none"> Alteration Metal anomalism THMC Gradients

Importance of targeting elements at the various scales are denoted by text colour:

- ✓ **Brown: critical**
- ✓ **Blue: important**
- ✓ **Green: less relevant**

Datasets and proxies are needed to map the regional scale footprint undercover

Leçons apprises et stratégie

➤ Les conditions nécessaires

- Volonté de faire bouger les lignes et de relever les défis scientifiques et techniques
- Réseau dynamique, incluant structures de pilotage, animateurs scientifiques et groupes de travail collectif
- Contrat de confiance sur la prise de risque que représente la R&D
- Contrat de confiance entre partenaires Académie-Industrie
- Durée et pluridisciplinarité
- «Mix énergétique Data- et Knowledge-driven »

➤ Les points d'amélioration

- Définition des indicateurs: Publications pour la part académique, applicabilité des résultats de la R&D dans les opérations
- Garantir le transfert de connaissance et sa traduction en mode opératoire: effort de communication, formations qualifiantes
- Implication du management pour mener le changement et l'introduction de nouvelles techniques

La recherche de l'adéquation

- Des défis à la croisée des démarches scientifiques fondamentales et appliquées
- Des références pour guider notre réflexion (modifié de Marlatt et Kyser, 2011)
 - ✓ Effective engagement within the “innovation exploration” paradigm requires that exploration organizations **and academic organizations** recognize knowledge brokers, adopt research, development, and technology transfer as a long-term, systematic strategy, including:
 - critical definition of exploration targets,
 - identification of innovation frontiers needed,
 - enhanced leadership to accurately portray the research and development imperative and elevation of the status of the research and development effort within the organizational system.