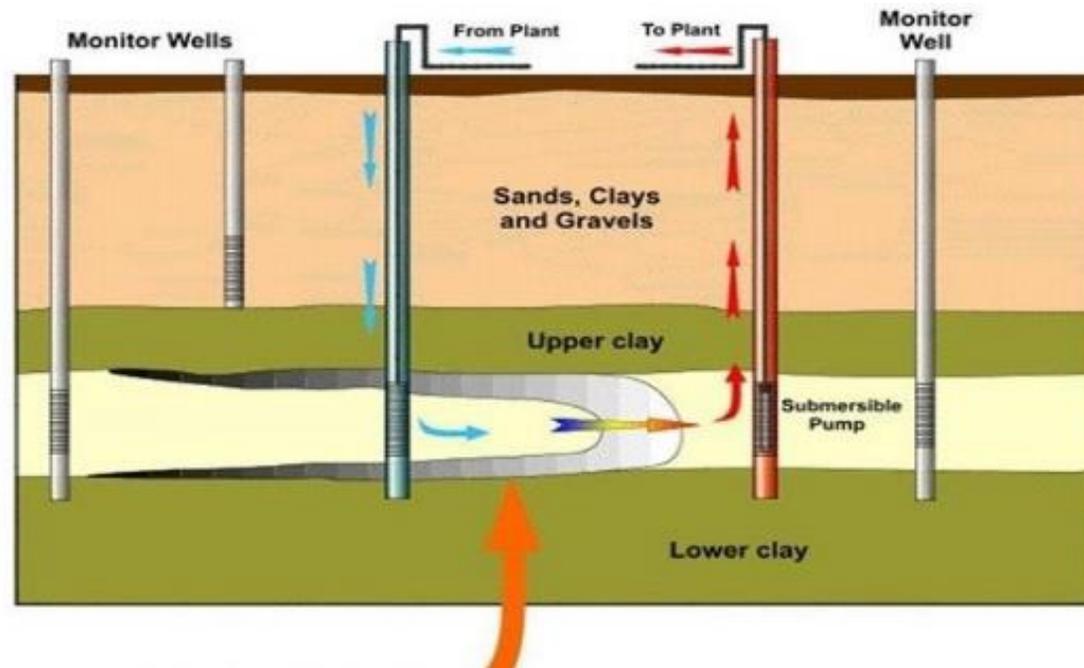


ISR: quels métaux?



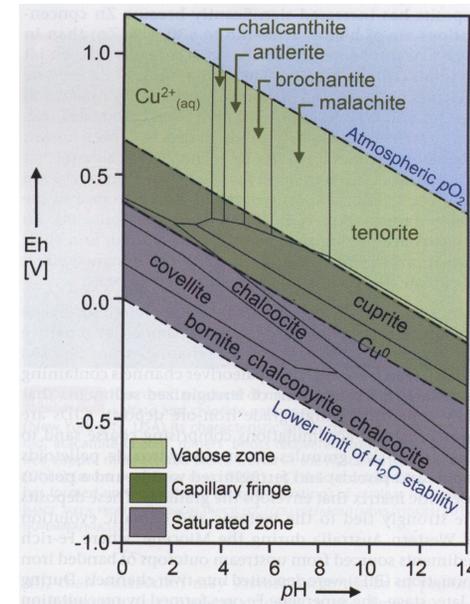
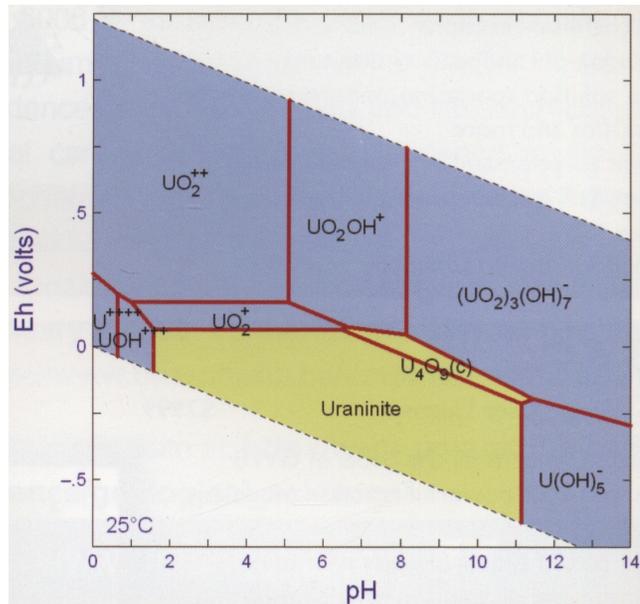
Saline Royale d'Arc-et-Senans, arch. Claude-Nicolas Ledoux, 1775-1779

Conditions favorables à l'ISR



- couche (ou zone) perméable entre niveaux imperméables
- métal à extraire présent dans des phases minérales solubles
- phases porteuses accessibles aux solutions circulant dans le système

Importance de la solubilité



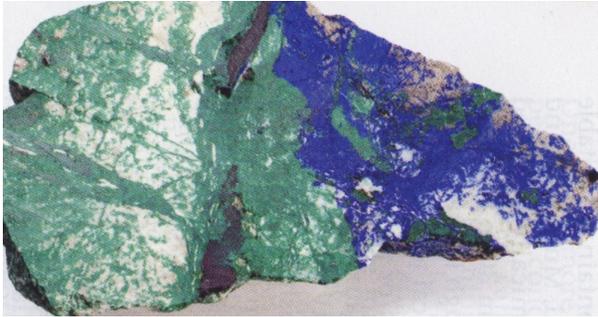
- conditions pression-température peu différentes des conditions de surface
- modification des conditions de pH et d'oxydo-réduction (Eh) primordiale
- modification des conditions de potentiels chimiques possible (ligands)

Peu différent des conditions requises pour une lixiviation en tas (heap leaching), couramment pratiquée pour Cu, Au, U, envisagée pour Ni, Co.
L'ISR consiste à laisser le tas en place.

Extraction *in situ* opérationnelle

- Potassium, Mg en sous-produit :
 - ★ formations évaporitiques, minéralisation massive
 - ★ très grosses installations, la plupart entre 2–3 Mt/y
 - ★ 13 références : Saskatchewan, Michigan, (Congo), (Ethiopie)
- Uranium :
 - ★ roll fronts, faibles teneurs (200–300 g/t)
 - ★ en général petites unités, entre 0.1–2 kt/y (Muyun Kum 7 kt/y)
 - ★ 48 références : Kazakhstan, Uzbekistan, S Australia, Wyoming, Texas, Russie
- Cuivre :
 - ★ Altération supergène de porphyres, teneurs faibles (0.3%)
 - ★ production moyenne (30-60 kt/y)
 - ★ 5 références : Arizona, S Australia

Comparaison uranium–cuivre



- Uranium :
 - ★ production minière totale en 2014 : 56.2 kt
 - ★ production par ISR (Kaz+Uzb+USA+SAustr) : 28.2 kt (50.2%)
- Cuivre :
 - ★ production minière totale en 2017 : 19900 kt
 - ★ production annuelle prévue par ISR (2021) : 108 kt (0.5%)
 - ★ ressources connues des mines en opération : 207 Mt
 - ★ ressources des projets ISR : 4610 kt

Projets ISR pour Cu en Arizona



	début	production kt/y	ressource kt Cu	réserve kt Cu	taux %
Gunnison-North Star	2019	43	2549	2041	48
Florence	2021	38	1288	1242	62
Van Dyke	?	27	654		
Kapunda (Austr)	?	?	119		

ISR sur Cu : schéma de principe

Injection and recovery wells are drilled deep into the bedrock where the oxide copper ore is



Wells are concrete encased and sealed to protect water quality



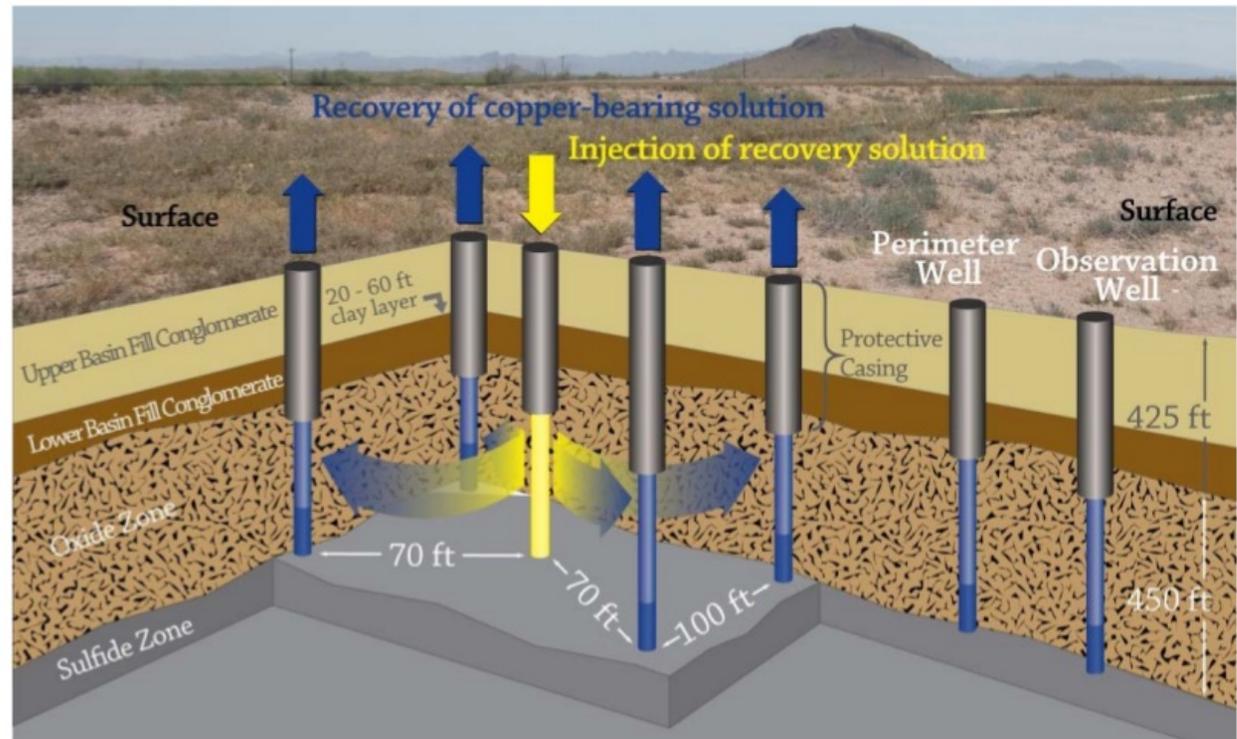
Highly diluted acid (99.5% water, 0.5% acid) is pumped under low pressure through the injection wells to dissolve the copper within the copper oxide zone



Copper rich solution is pumped to surface through recovery wells for processing into pure copper cathode sheets

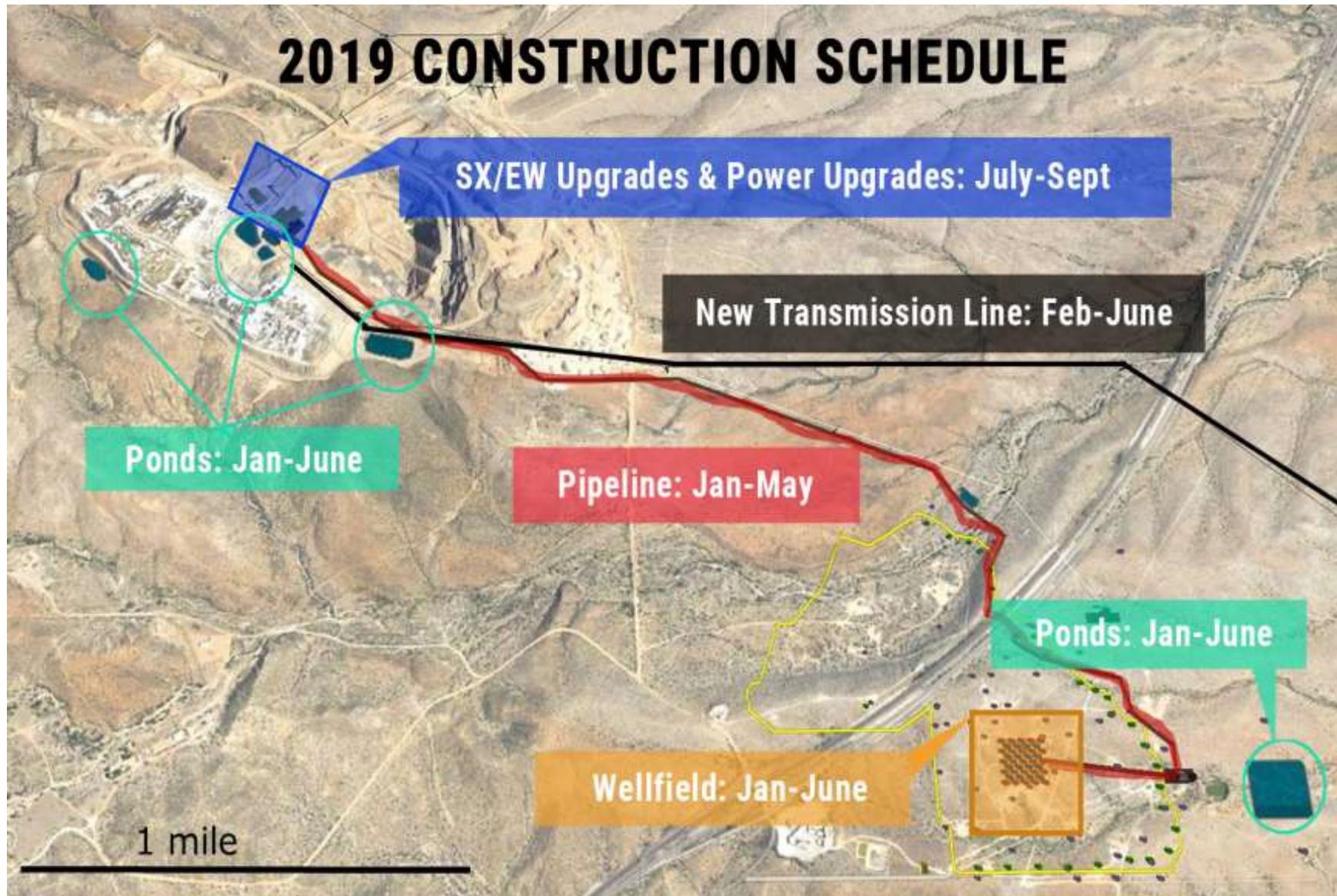


Perimeter and observation wells are monitored continuously to ensure hydraulic control of fluids is maintained at all times and water quality is protected



Florence, Arizona (Taseko Mines)

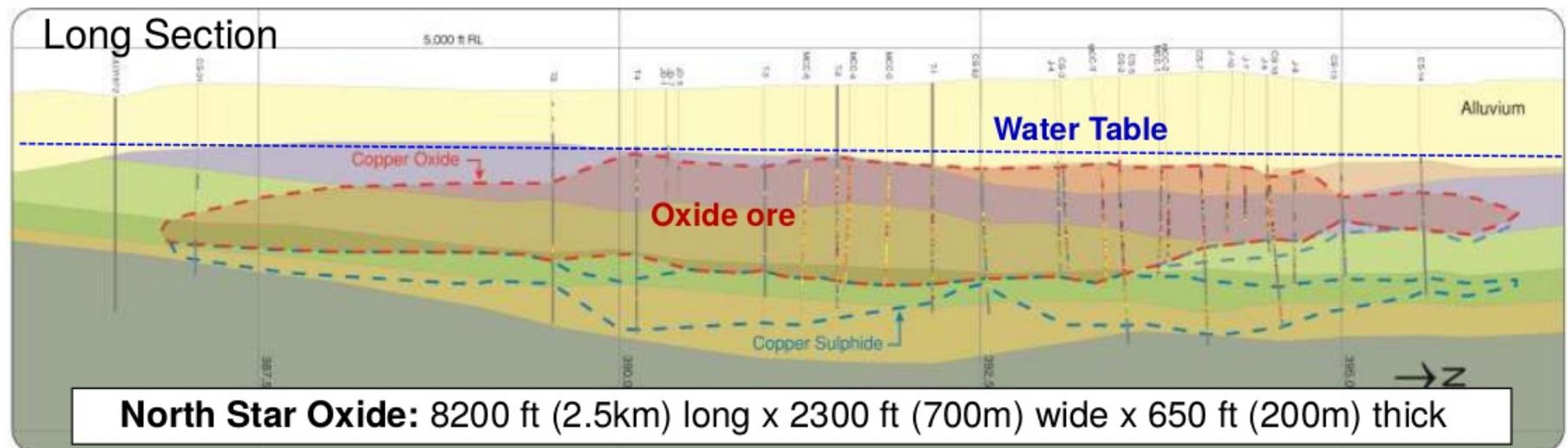
Construction du projet Gunnison



Conditions géologiques

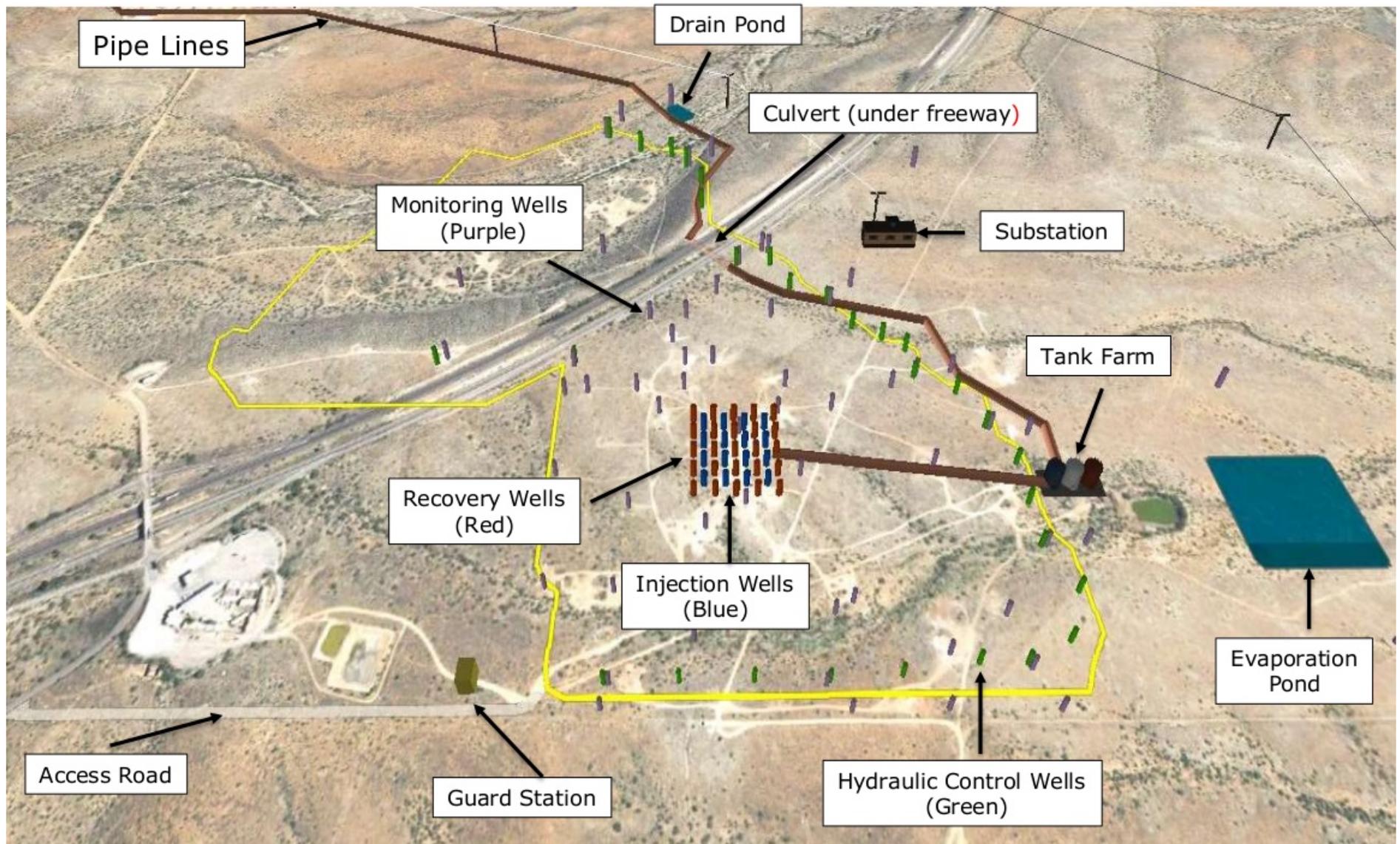


Drill core, Gunnison Cu

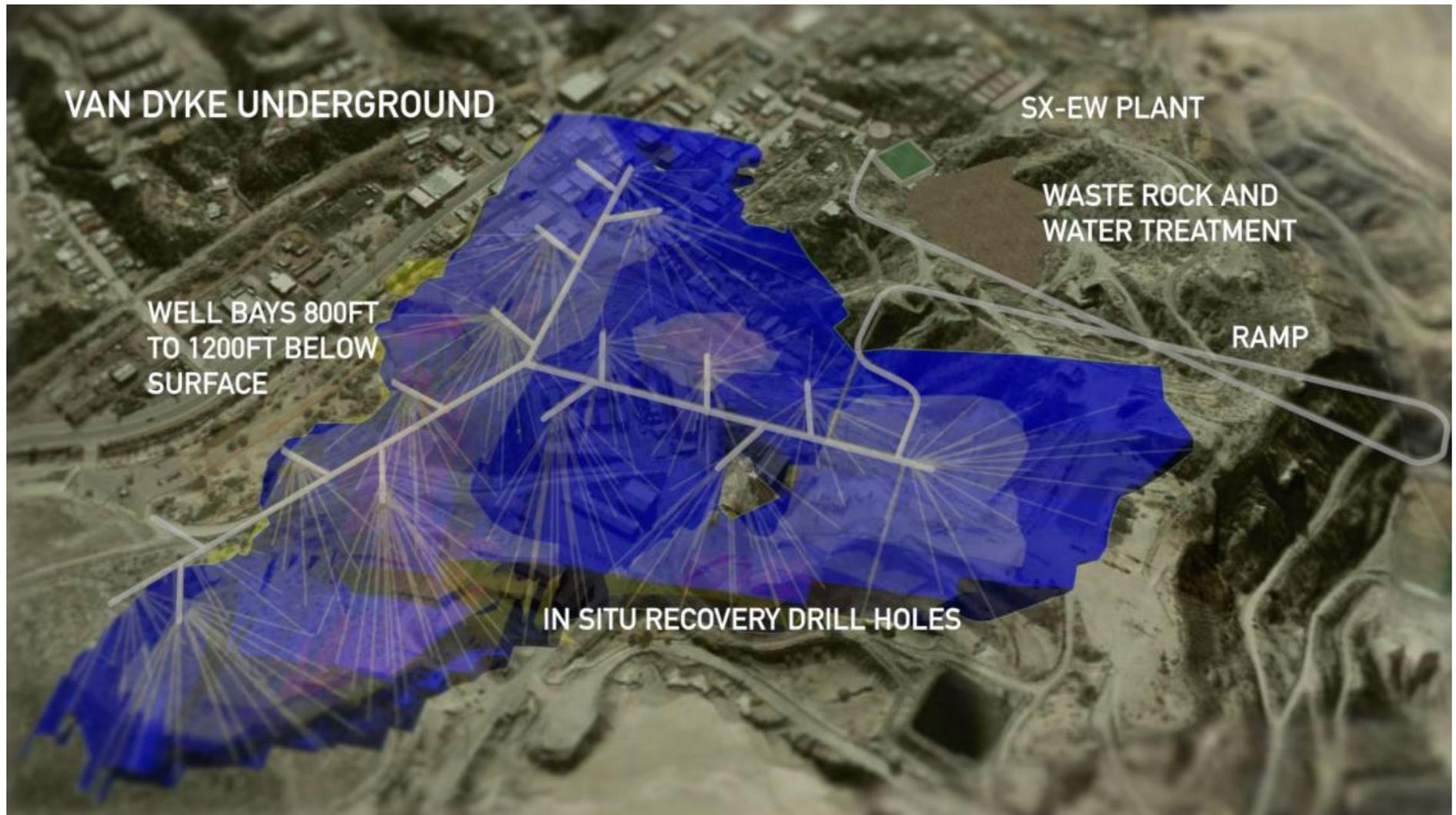


Excelsior Mining

Mise en place des forages



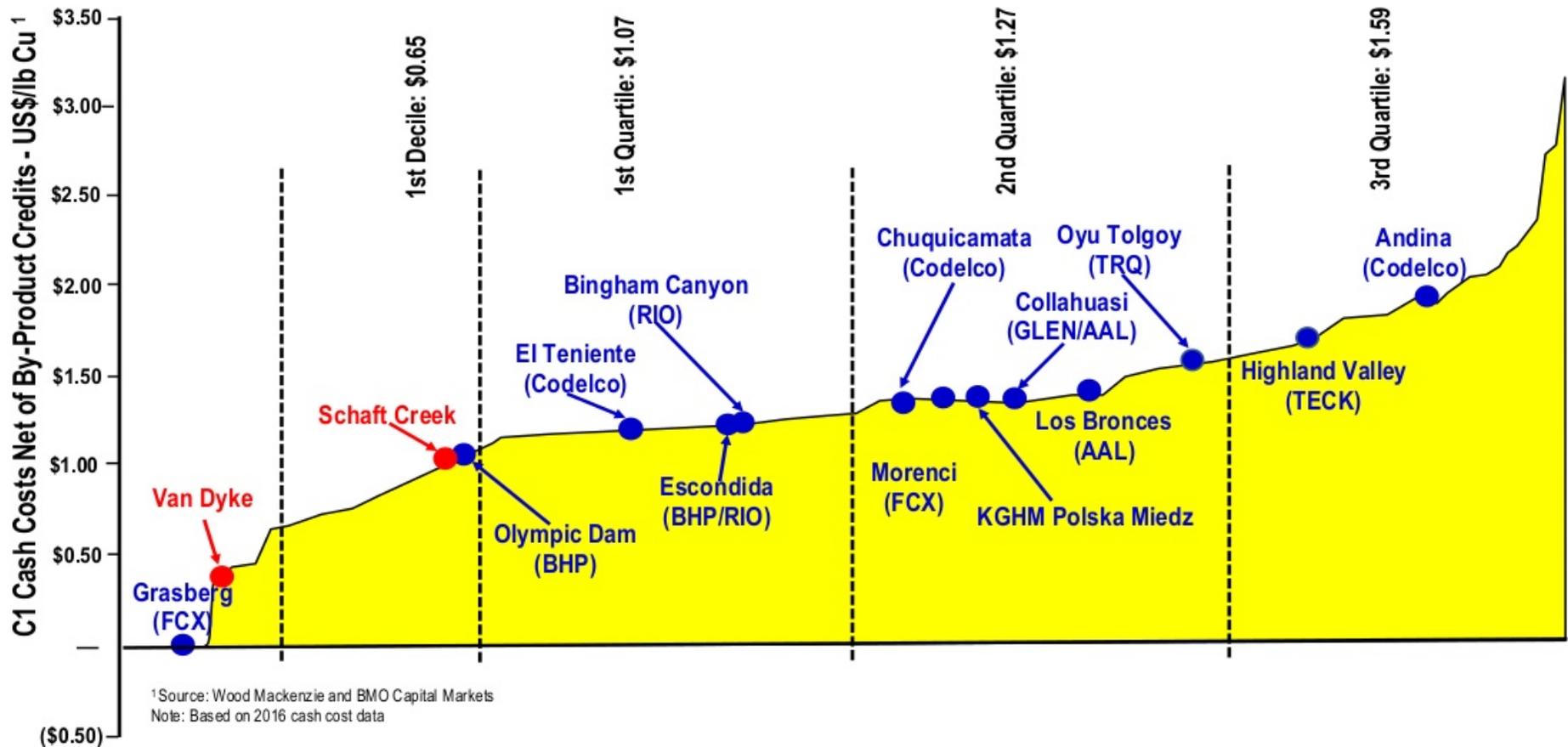
ISR à partir de travaux souterrains



Projet Van Dyke (Arizona), Copper Fox Metals

Coûts de production

Survey of Global C1 Cash Cost Curve - Major Copper Mines



ISR sans R



mine de potasse de Berezniki (Oural), 2007

ISR après R



Polygone expérimental de Muyun Kum (Kazakhstan), 1997