



Le recyclage artisanal des métaux, une circularité invisible et spontanée mais à quel prix environnemental ?

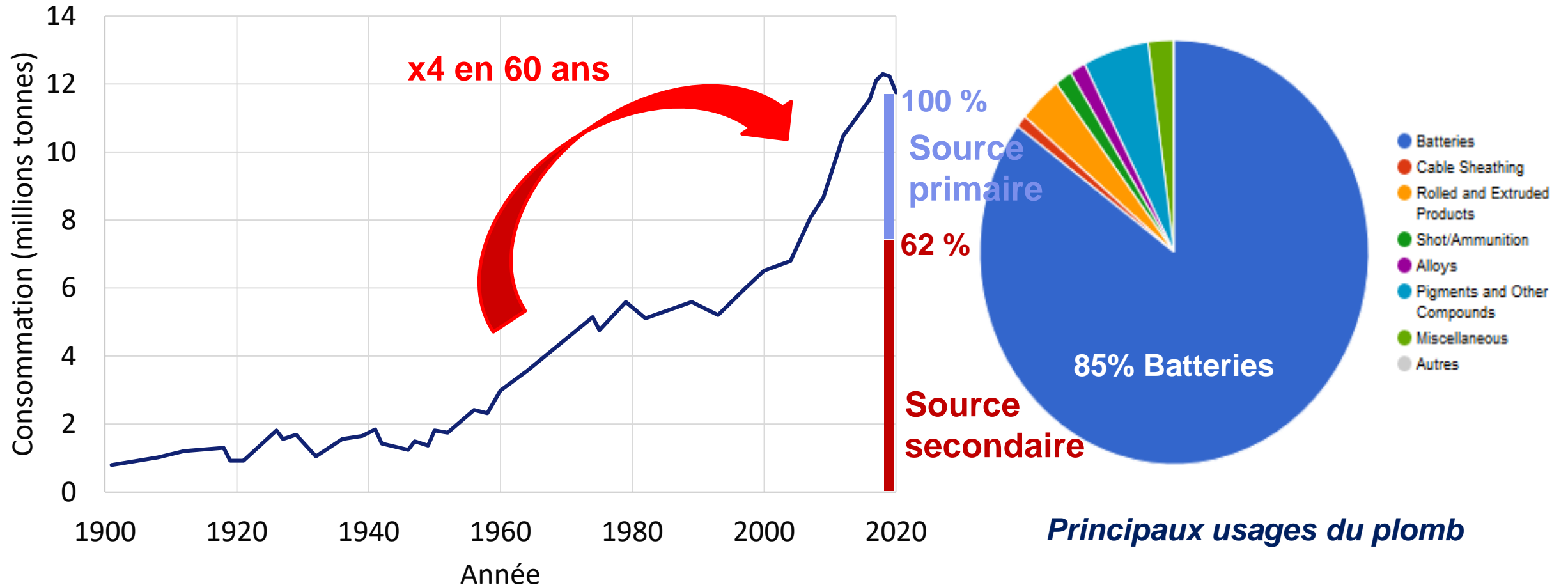
Cas du plomb en Inde

Paul LHOSTE (LGC), **Laurent CASSAYRE** (LGC, CNRS), **Yann-Philippe TASTEVIN** (LISST, CNRS), **Mélina MACOUIN** (GET, CNRS), **Rémi DE BERCEGOL** (PRODIG, CNRS) & **Shankare GOWDA** (CSH)

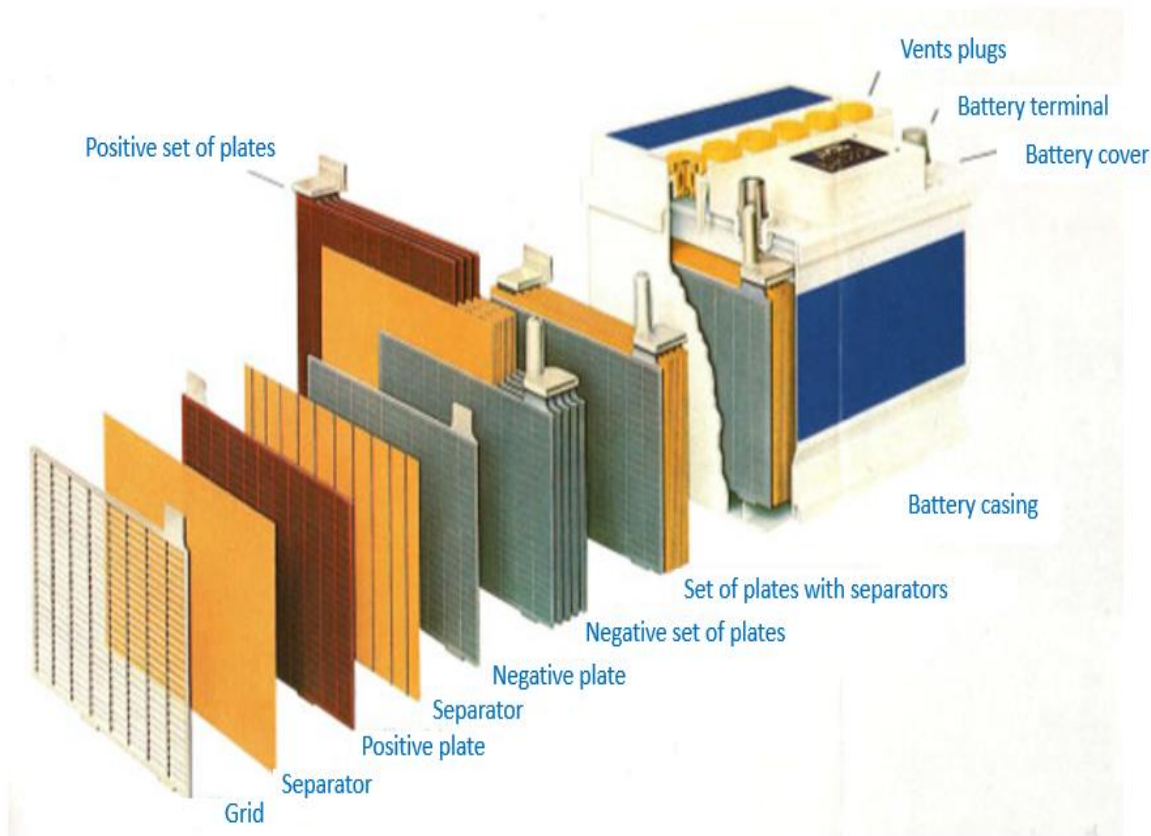
CIEC – 27 juin 2024

Le Plomb, métal circulaire ?

- Forte croissance de la demande mondiale en plomb¹ dans des usages non dispersifs en raison de sa **toxicité** (saturnisme).



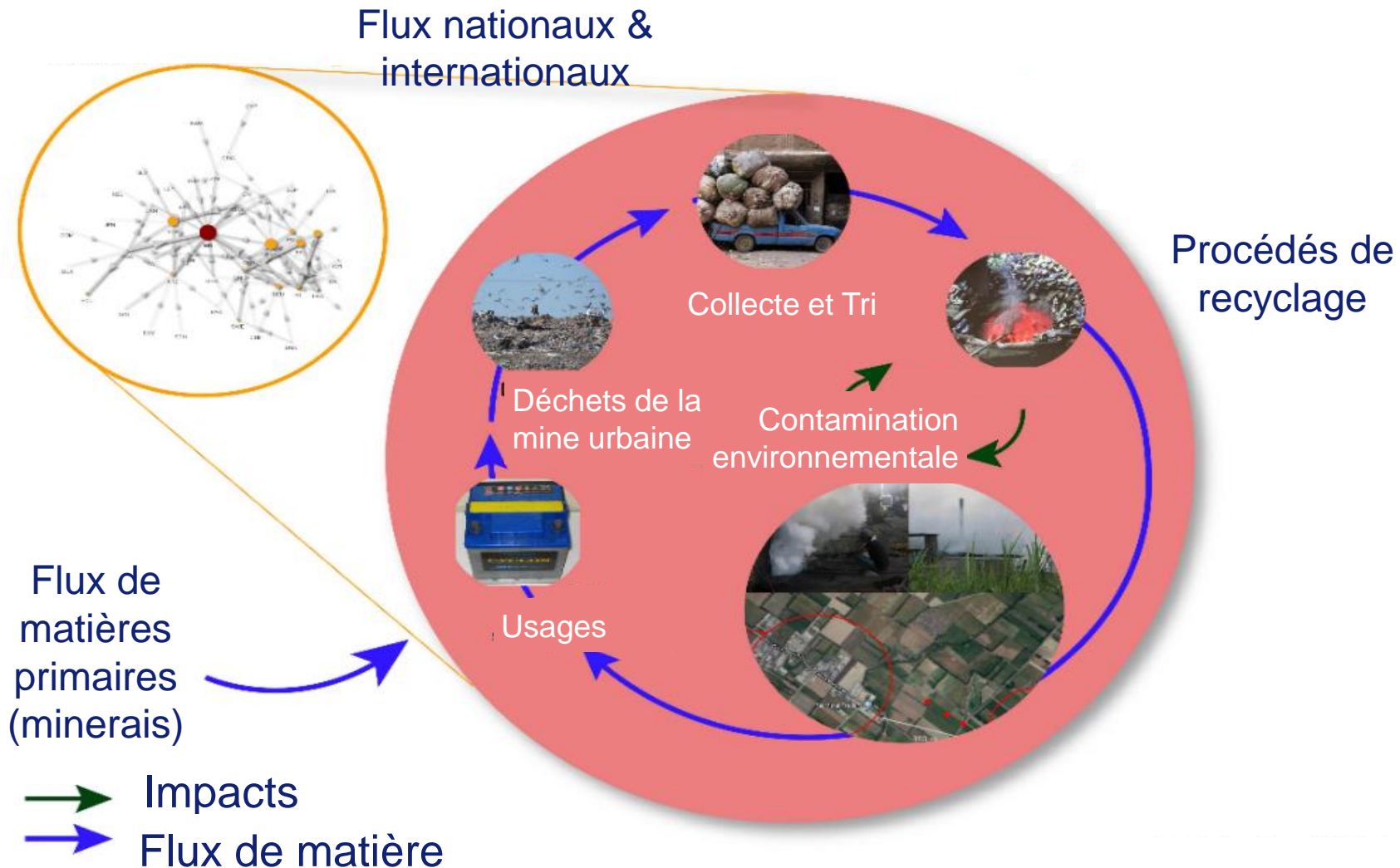
Batteries plomb-acide



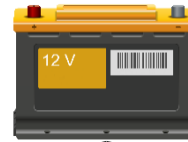
Composants d'une batterie plomb-acide

Batterie au plomb usagée = Source de matière secondaire locale et universelle

- Batteries au plomb présentes dans tous les véhicules thermiques (1,4 milliard).
- Facilité pour récupérer les composants riches en plomb.
- Composé de très peu d'éléments chimiques (Pb, S, O, H, Sb).
- Pb = **55 %** de la batterie.



Sources : 1- N. Touati, « Sur les catégories d'acteurs du recyclage des métaux : entre local et global, Le cas des batteries, » Séminaire de réflexion interdisciplinaire proposé par Y.-P Tastevin et B. Jouve (LISST), 5-6 février 2020.



Boîte noire

Procédés artisanaux et semi-artisanaux

10 à 30 000 sites dans 90 pays



Impact Sanitaire :

Ericson et al., 2017. The Global Burden of Lead Toxicity Attributable to Informal Used Lead-Acid Battery Sites. *Annals of Global Health*, 82

Procédés industriels pyrométallurgiques

- Volumes de production élevés
- Automatisation
- Contrôle environnemental aux meilleures normes

Exemple : STCM (France), Gravita (Inde, Sénégal)

Procédés en développement

- Procédé hydrométallurgique
- Réduction des effluents gazeux
- Pureté maximale

Exemple :

Procédé FLUBOR.

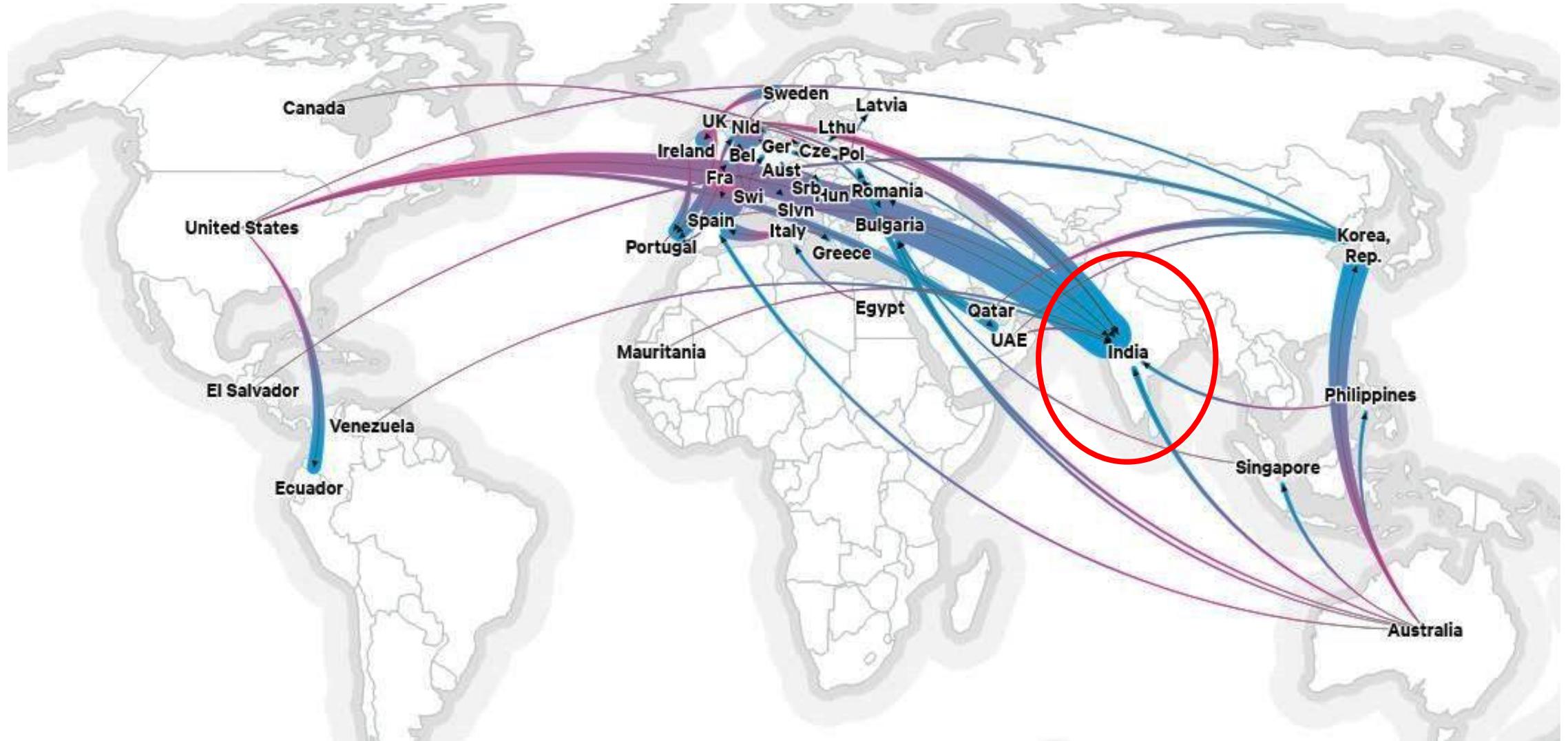
Niveau technologique

- Que sait-on des **mondes sociaux** du recyclage de métaux dans les pays du Sud ? Des **organisations** qui les structurent ? Des **espaces** qu'ils occupent ? Des **acteurs** et des **réseaux** marchands qu'ils animent ?
- Comment ces recycleurs **travaillent-ils** ? Quels sont leurs **savoir-faire** ? Comment gèrent-ils ou non les effets liés à la **pollution** ?
- Quelles **réactions chimiques** interviennent dans ces procédés ? A quelles **performances** peuvent-ils aboutir ? Avec quels **moyens** énergétiques et matériels ?

Flux mondiaux de plomb usagé

Introduction

Ethnographie

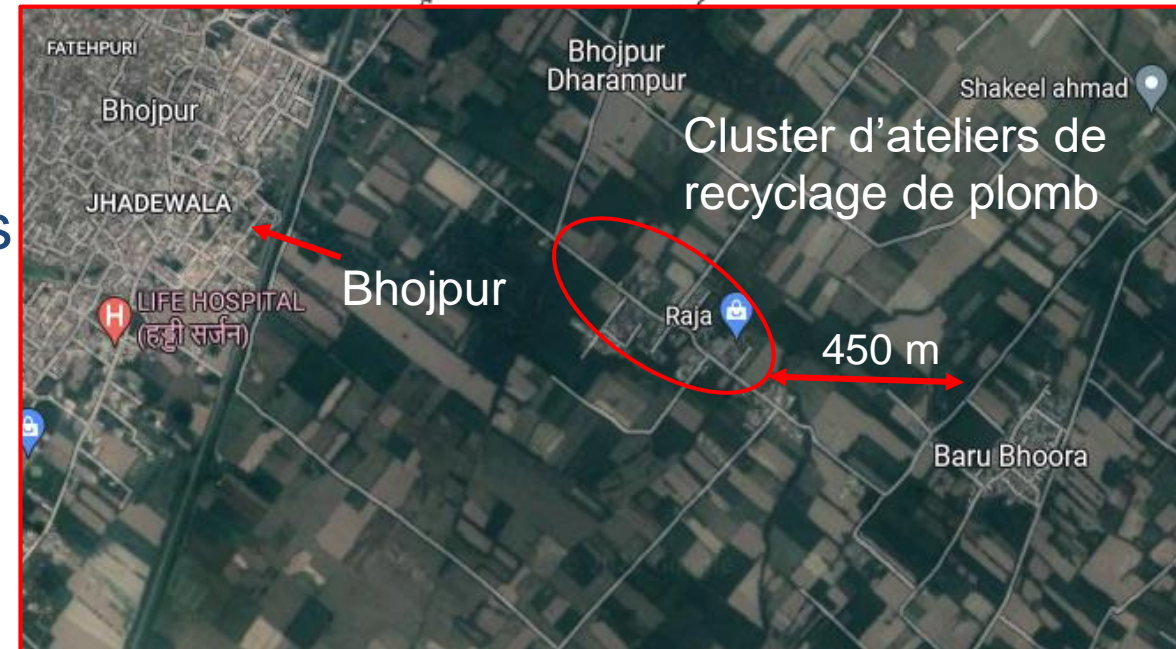


Identification de terrains

Introduction

Ethnographie

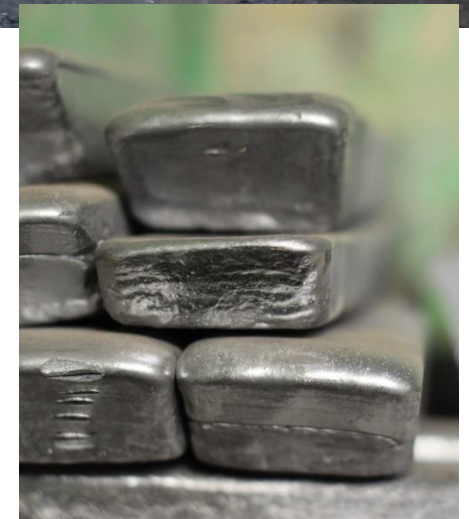
- Collaboration R. De Bercegol (CNRS)
 - 2 campagnes de terrain (2019 & 2021)
- Démarche de type *Follow the things* :
 - Remontée de chaînes logistiques de batteries usagées
 - Collection par les *kabadiwala*
 - *Scrapdealers* lient collecte et recycleurs
- 3 sites identifiés



Spatialisation de l'atelier

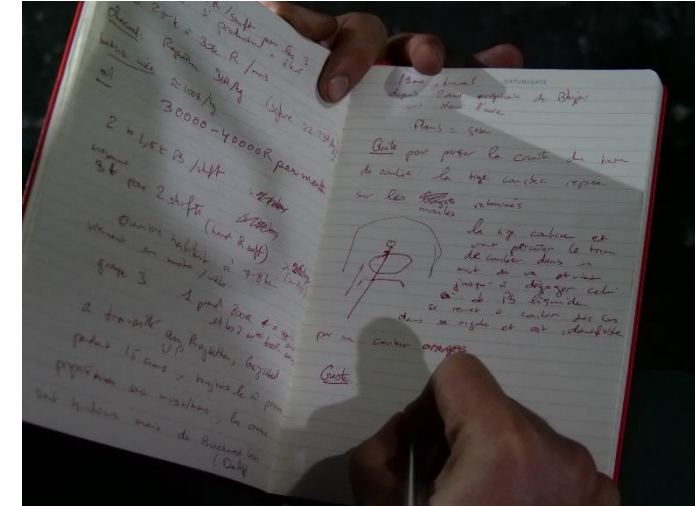
Introduction

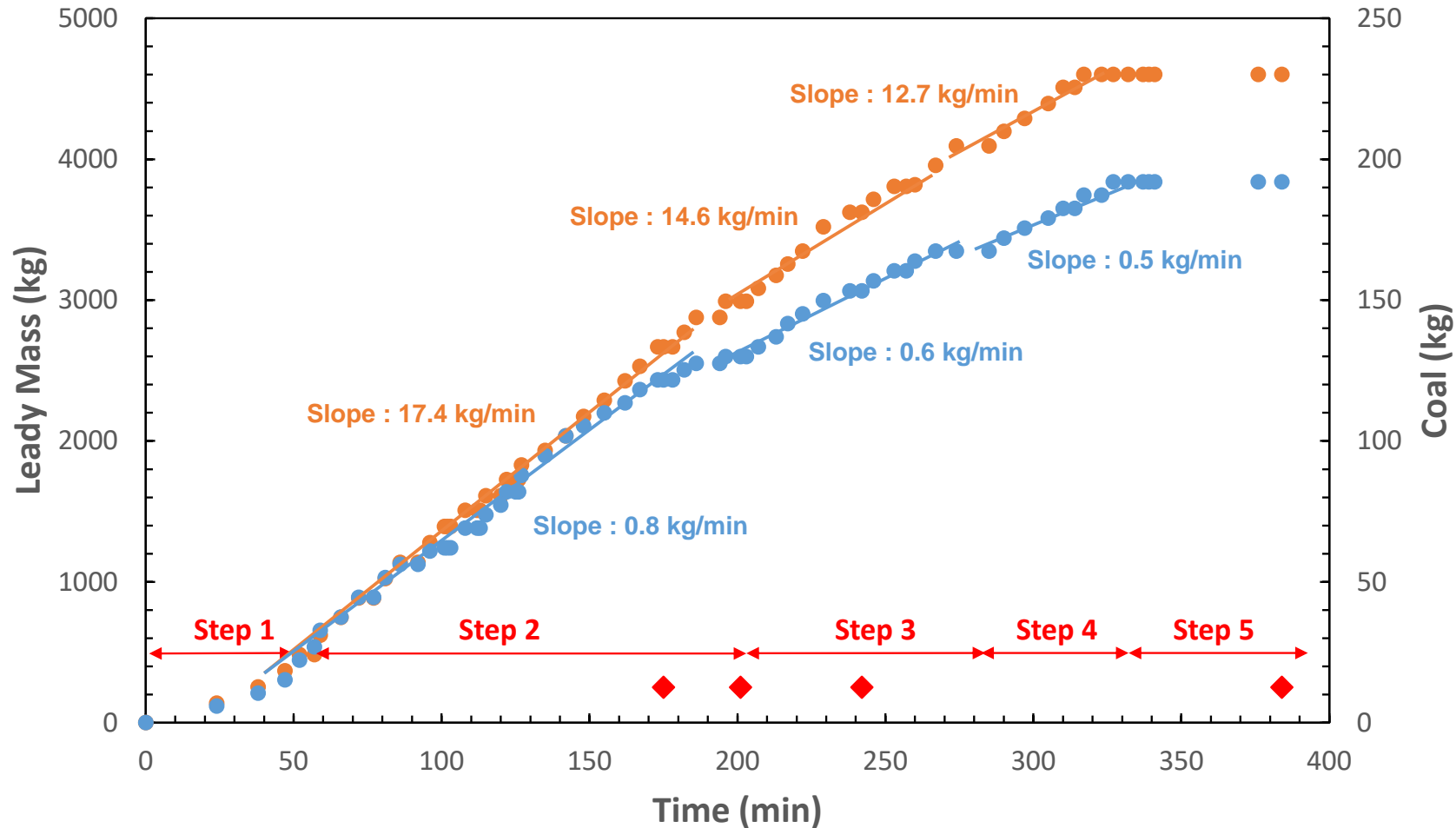
Ethnographie



- Décompte horodaté des matières solides :
 - Entrantes (charge plumbeuse, charbon).
 - Sortantes (plomb).
 - Sous-produits et émissions gazeuses non quantifiés.

- Pesée unitaire.
 - Lingot : $27,1 \text{ kg} \pm 0,6 \text{ kg}$.
 - Pelletée de charbon : $1,17 \text{ kg} \pm 0,12 \text{ kg}$
 - Pelletée de charge plumbeuse : $11,5 \text{ kg}$





◆ Tapping ● Cumulative Ledy Mass (kg) ● Cumulative coal (kg)

- $2\,872 \pm 64$ kg de plomb produit.
- À partir de 4 600 kg de charge plumbeuse et $192 \pm 19,7$ kg de charbon.
- **42 g** de charbon / kg de charge plumbeuse.

Identification et quantification des éléments constitutifs

➤ Matières entrantes :

- Charge plumbeuse
 - ✓ Composition en cohérence avec la littérature (ICP).

➤ Matières sortantes :

- Lingots de plomb.
 - ✓ Pureté moyenne de **92 %** \pm 0.8 % (ICP).

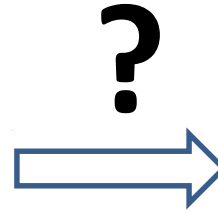
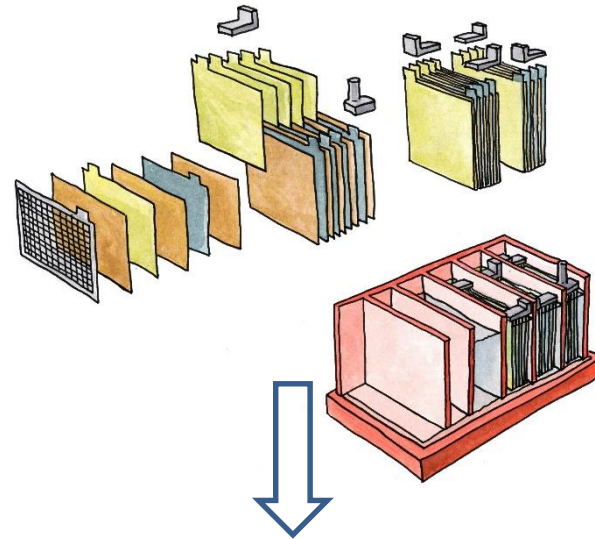


Principes chimiques du recyclage de batteries plomb-acide

Introduction

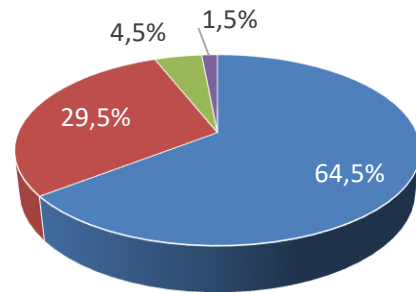
Ethnographie

Procédé



Réactions à haute température en présence de Carbone

Décomposition d'une batterie usagée
(pour la pâte de plomb)



2 enjeux principaux :

- Réduction des oxydes
- **Désulfuration**

■ PbSO₄ ■ PbO₂ ■ PbO ■ Pb

Calculs d'équilibre – Principe & Définition du système chimique

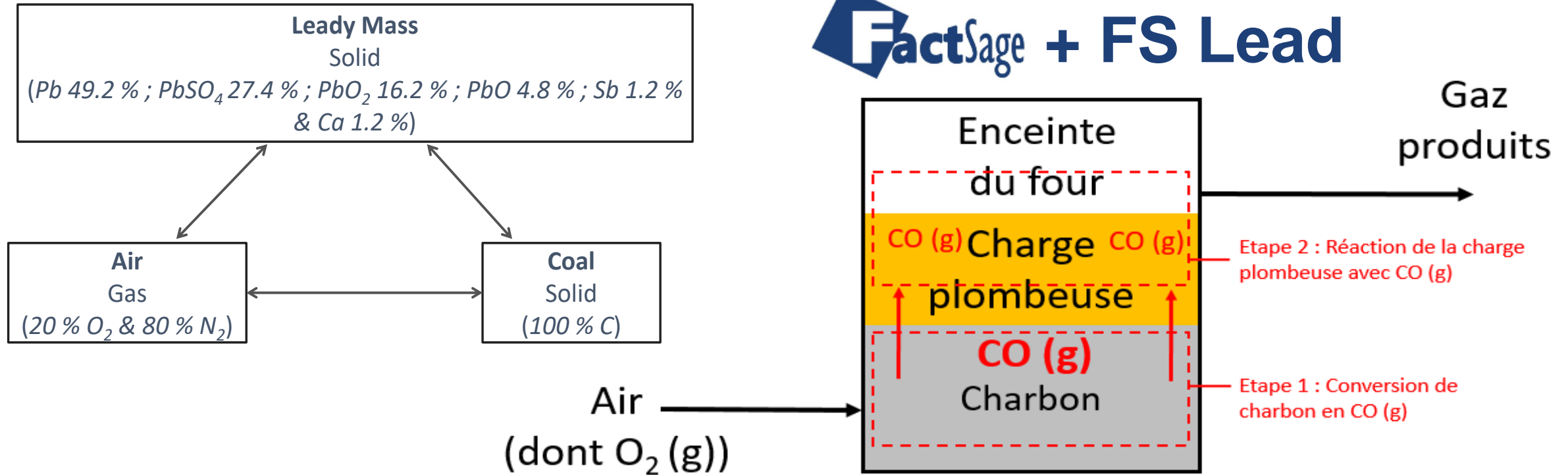
Introduction

Ethnographie

Procédé

a

P = 1 atm
T = 900 °C



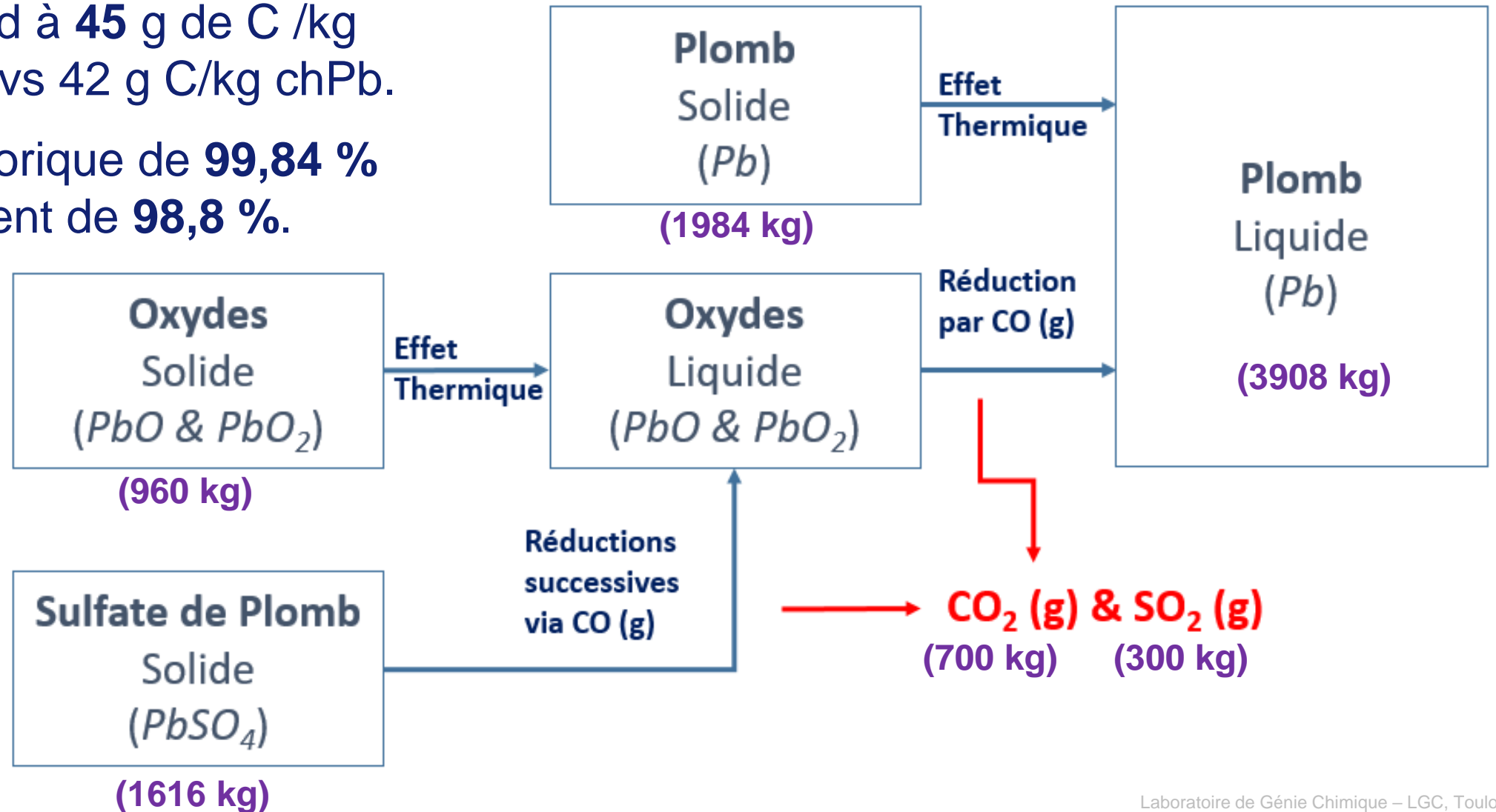
Conversion de la charge plombreuse

Introduction

Ethnographie

Procédé

- Correspond à **45 g** de C /kg de charge vs 42 g C/kg chPb.
- Pureté théorique de **99,84 %** et rendement de **98,8 %**.

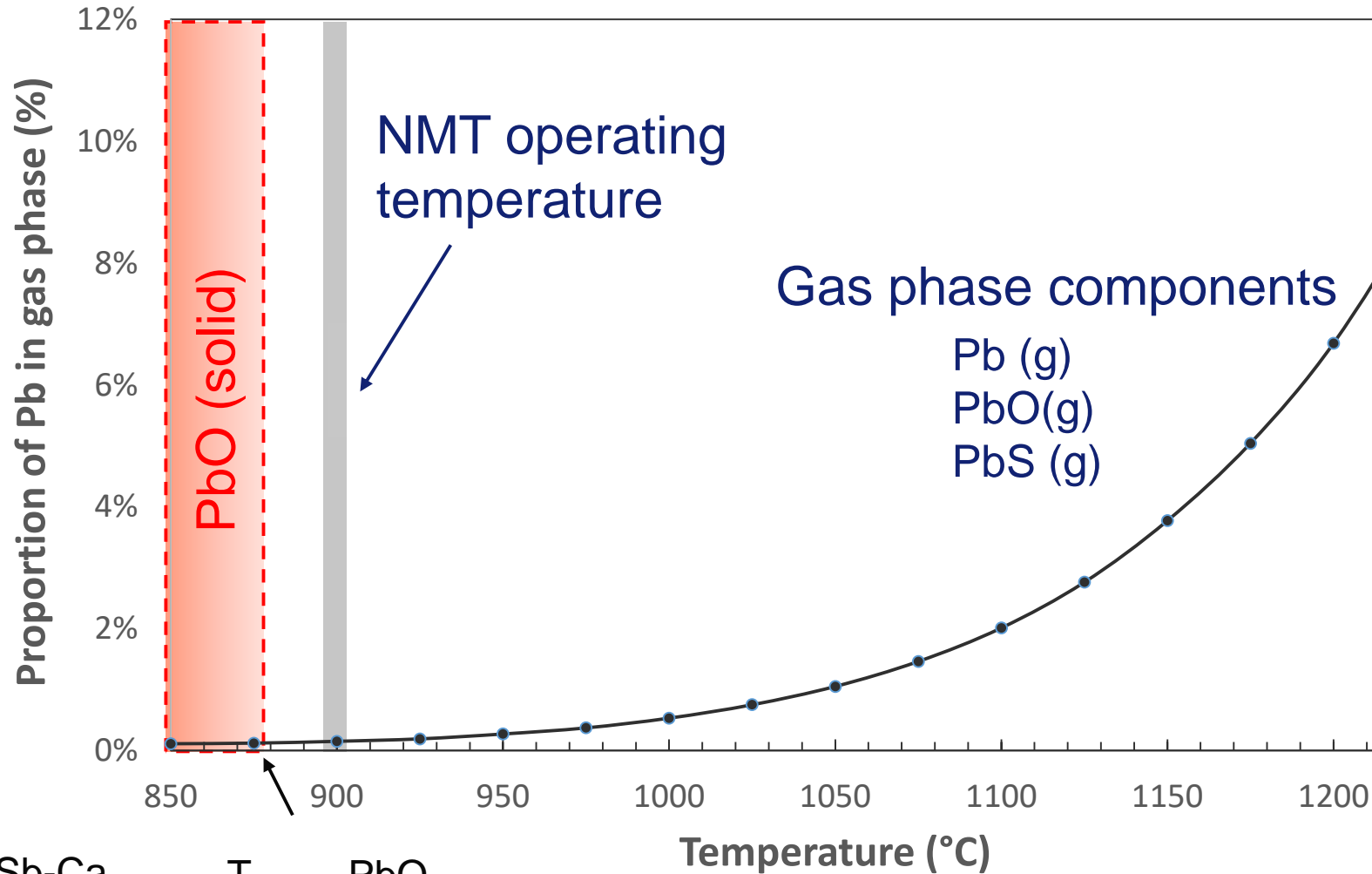


Impact de la température

Introduction

Ethnographie

Procédé



$T_{\text{melting Pb-Sb-Ca}} < 327 \text{ } ^\circ\text{C}$

$T_{\text{melting PbO}} = 880 \text{ } ^\circ\text{C}$



Méthodologie

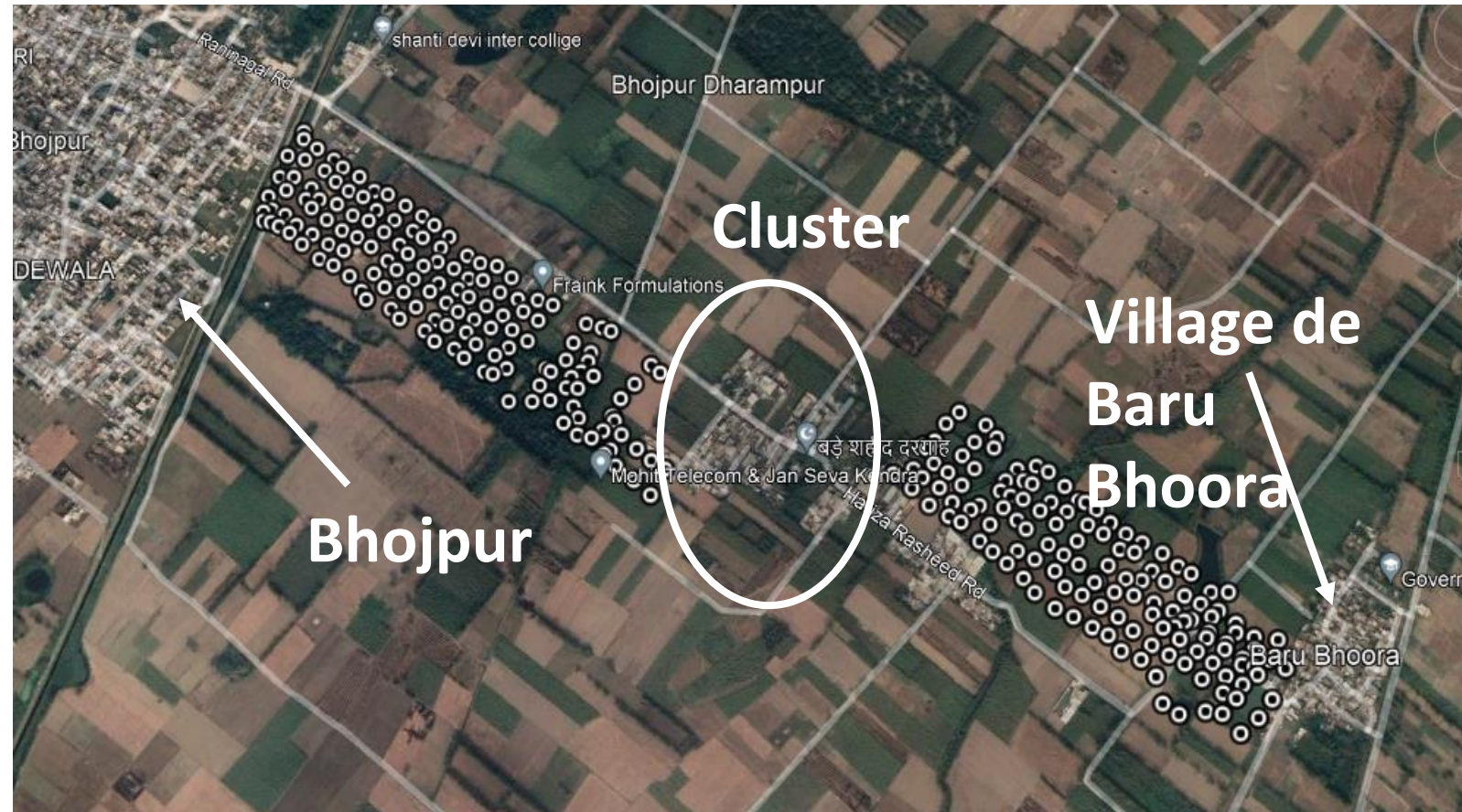
Introduction

Ethnographie

Procédé

Impact

- Collaboration M. Macouin (CNRS, GET)
- Prélèvements de sols autour du cluster :
 - 226 échantillons
 - Distance de 30 m.
 - 5 cm de profondeur.
- Prélèvements de biomasse :
 - 4 échantillons (feuilles de canne à sucre).



150 m

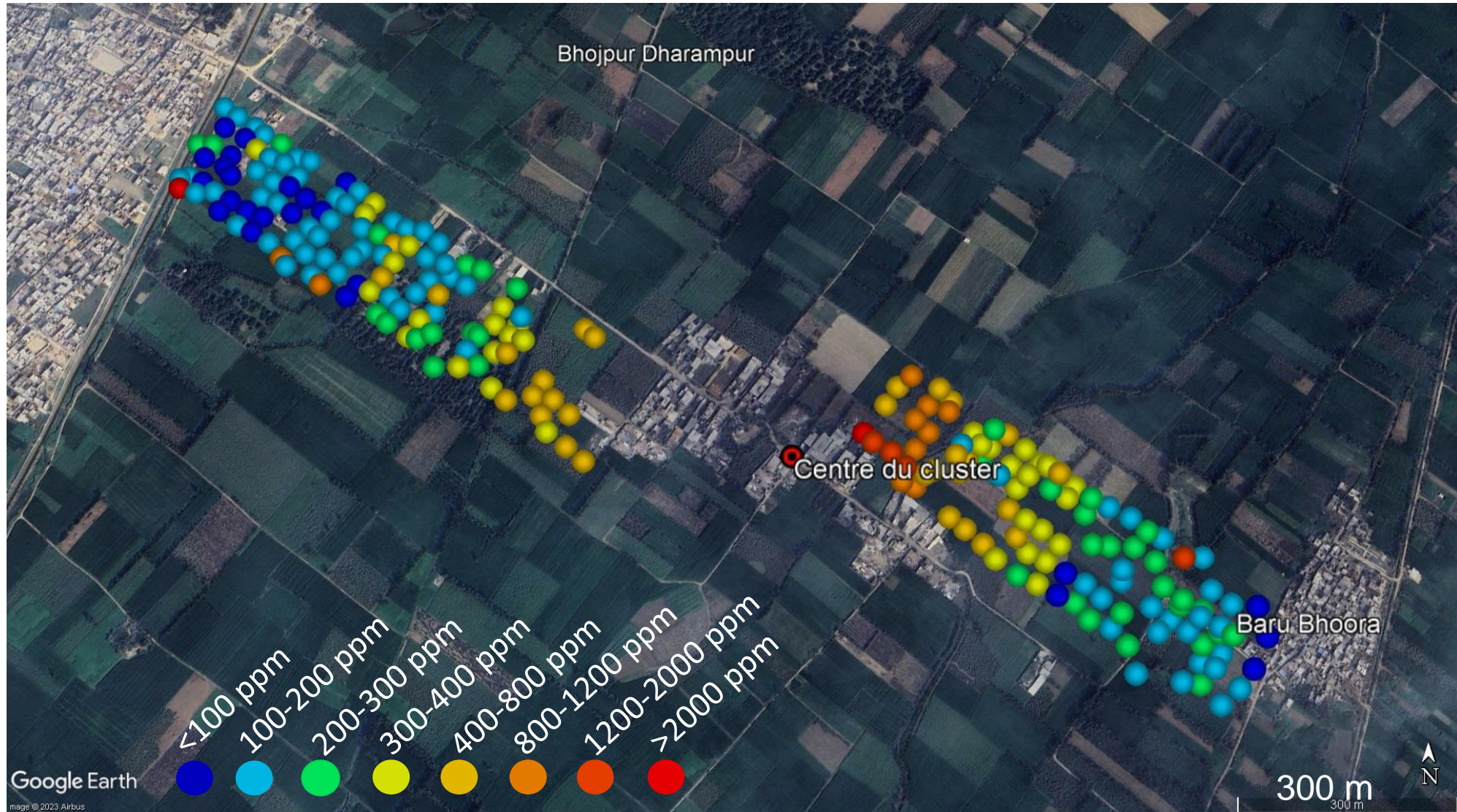
Cartographie de la contamination en Pb

Introduction

Ethnographie

Procédé

Impact



➤ Documentation de sites selon 3 axes

- Réseau
 - ✓ Captation du flux de batteries usagées
- Opération
 - ✓ Proche de l'optimum par empirisme et expérience sensible
- Impact
 - ✓ Sans équivoque et comparable à d'autres sites

- Mise en place de protocole adapté
 - Viscosité
- Réduction de l'impact par capture du soufre (via Fe).
- Etudes d'autres sites illustratifs de la technodiversité du recyclage du plomb
 - Sites informels indiens difficiles à capturer
 - Dans d'autres pays comme le Sénégal
- Cas d'autres métaux communs (Al, Cu...) ou précieux (Au, Ag, Pt...)

Merci pour votre attention !

