

Tendances et perspectives de l'imagerie aérienne par drones pour l'acquisition de données dans le contexte de l'archéologie préventive.

L'expérience et le point de vue de l'Inrap

C. Tufféry, Inrap, Direction Scientifique et Technique
Chargé des techniques et outils de relevés et d'enregistrement

10ème journée annuelle du Réseau ARAMIS

L'Informatique du Futur. Comment l'évolution de l'informatique impacte nos outils et notre métier.

Lyon, 24 mai 2018

Plan de l'intervention

- **Quelques mots sur l'Inrap**
- **Les problématiques des archéologues sur le terrain : gagner du temps et de la qualité dans l'acquisition et le traitement des données de terrain**
- **L'apport de l'imagerie aérienne en archéologie : une pratique ancienne en cours de profond renouvellement**
- **Les spécificités de l'imagerie par drones pour certains types de capteurs : multispectral et hyperspectral**
- **Les tendances actuelles dans le recours aux drones en archéologie : topographie, photogrammétrie, géophysique, etc.**
- **Les perspectives envisageables : aspects techniques et méthodologiques**
- **Les métiers touchés et l'évolution des pratiques : topographes et archéologues**
- **Les besoins en accompagnement des acteurs concernés : former au bon moment, faciliter l'adoption de bonnes pratiques, éviter la fracture numérique**
- **La production de données massives en archéologie : produire des données en masse mais pas forcément pour les conserver toutes**

Quelques mots sur l'Inrap

Créé en 2002 (loi de 2001 sur l'archéologie préventive)

- Double tutelle : Ministère de la Culture et Ministère ESR
- Une mission de service public (diagnostics, fouilles, exploitation scientifique des opérations d'archéologie préventive, diffusion de leurs résultats, enseignement, diffusion culturelle et valorisation de l'archéologie (extrait de l'article L523-1 du *Code du patrimoine*)
- Droits et obligations de l'AFAN (créé en 1975)

Loi de 2003 : ouverture des fouilles à la concurrence :

- Plusieurs dizaines d'opérateurs publics et privés
- Création de la Redevance d'archéologie préventive (RAP) et du Fonds National d'Archéologie Préventive (FNAP)
- Loi LCAP de 2016 : renforcement du rôle de l'Etat dans le contrôle scientifique, technique, administratif et financier du dispositif de l'archéologie préventive

Quelques mots sur l'Inrap

L'Inrap réalise chaque année :

- Environ 2000 opérations de diagnostic
- Plus de 200 opérations de fouille

L'Inrap c'est :

- 46 centres archéologiques
- Environ 2200 agents dont 1800 agents opérationnels sur le terrain
- 65 topographes



Vue aérienne du site du Grand Montout à Décines (Rhône), 2011.
© Jean-Pierre Gentil-Perret, Inrap



Vue générale de la fouille au nord du chevet gothique de la cathédrale Saint-Jean au Mans (Sarthe), 2017.
© Emmanuelle Collado, Inrap

Les problématiques des archéologues sur le terrain

Objectif : gagner du temps et de la qualité dans l'acquisition et le traitement des données de terrain

- **Les techniques et dispositifs d'acquisition de données nativement numériques sur le terrain sont une source de gains de temps considérables**
- **Ce gain de temps doit se doubler d'un gain en qualité des données produites et des processus de travail**
- **L'introduction de dispositifs innovants et de nouvelles méthodes doit toujours être justifiée par une problématique scientifique précise et pertinente au regard des objectifs à atteindre prescrits par l'Etat**

L'apport de l'imagerie aérienne en archéologie

Une pratique ancienne en profond renouvellement

Site de Pueblo Bonito, Nouveau Mexique (USA)
Photos prise par Ch. et A. Lindbergh en **1929**.



Credit: Lindbergh Collection



Photos R. Agache, **Années 60**



Site d'Havrincourt,
Photo D. Gliksman, **2011**

<http://www.archeologie-aerienne.culture.gouv.fr/fr/>

<http://www.la-grange-numerique.com/visitarcheo/panosarchoe/ptop-H5.html>

L'apport de l'imagerie aérienne en archéologie

En 2012, l'Inrap présentait ses réflexions en matière de drone lors du colloque international *L'archéologie au laboratoire*, organisé par Universcience, l'Inrap et la fondation EDF Diversiterre (Cité des sciences et de l'industrie)

The screenshot shows the Inrap website interface. At the top, the Inrap logo is on the left, and navigation links for 'ACTUALITÉS', 'L'INRAP', 'LA RECHERCHE ET LA VALORISATION', 'NOS DÉCOUVERTES', and 'L'ARCHÉOLOGIE' are on the right. A search bar is also present. Below the navigation, the article title 'L'utilisation des drones dans les relevés archéologiques' is displayed in a dark banner. Underneath, there is a video player showing a presentation slide with the same title and a list of topics: '1. Pourquoi avoir été à DRONE ? 2. Matériel / Logiciel / Plateau 3. Drones et imagerie 4. Avancées générales'. To the right of the video player are social media sharing icons for Facebook, Twitter, Google+, and YouTube. Below the video, the article text begins with 'En archéologie préventive, la difficulté à soulever les vestiges par défaut de pouvoir assurer la préservation physique. Dans cette optique, les relevés constituent une modélisation du réel (à distance) que l'on comprend et ce que l'on voit, et utilisent avantageusement la photographie comme support, intégrant divers traitements informatiques. L'archéologie des données sur les photographies corrigées, restituées, assemblées à l'échelle souhaitée. Cette méthode, sous cette forme simple ou sous d'autres plus complexes, a été expérimentée lors de la mise en œuvre de modèles 3D. Toutefois, il est difficile de réaliser les prises de vue dans des conditions particulières. Les drones constituent un vecteur d'avenir plus intéressant pour acquérir ces images qu'ils offrent une voie très novatrice à l'automatisation d'une grande partie de l'acquisition des données.'

<https://www.inrap.fr/l-utilisation-des-drones-dans-les-relevés-archéologiques-9241>

L'apport de l'imagerie aérienne en archéologie

Depuis 2015, l'Inrap explore les possibilités des usages de drones sur ses opérations d'archéologie préventive :

- Achat de 2 appareils sur mesure
- Formation de 2 télépilotes
- Rédaction d'un MAP
- Déclaration auprès de la DGAC comme exploitant professionnel

3 années consacrées à la prise d'images de valorisation/communication et ponctuellement de photogrammétrie sur plusieurs opérations de l'Inrap



Quadricoptère Modèle KQ4 <2kg
Constructeur KYUaero



Hexacoptère Modèle KQH6 <4kg
Constructeur KYUaero

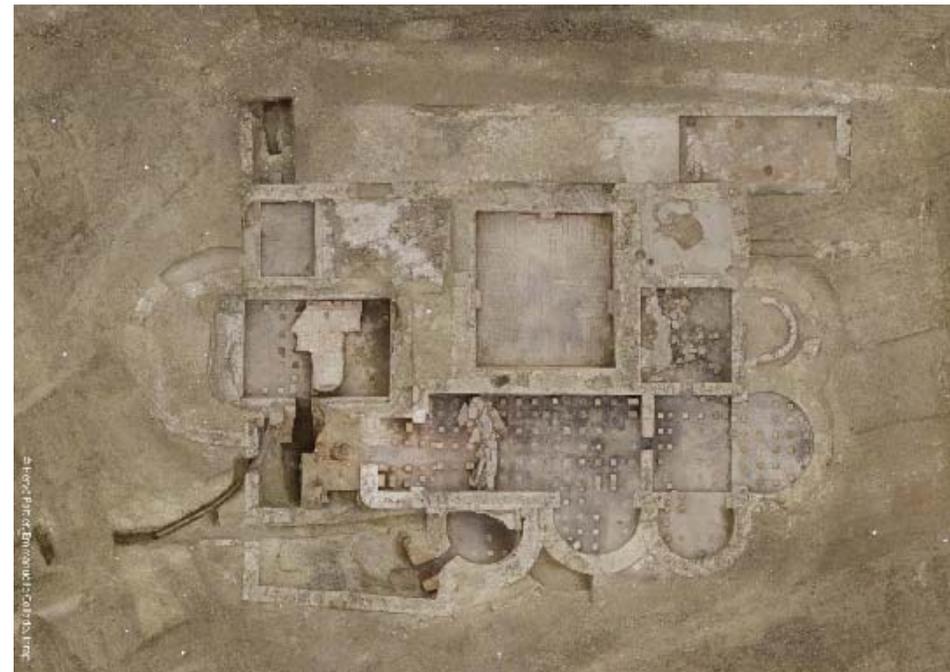
L'apport de l'imagerie aérienne en archéologie

Partie résidentielle d'une villa d'un domaine gallo-romain à Langrolay-sur-Rance (Côtes d'Armor)



Vue aérienne de l'ensemble des thermes

Vue zénithale des thermes reconstituée par photogrammétrie



© Emmanuelle Collado, Hervé Paitier, Inrap

L'apport de l'imagerie aérienne en archéologie

Fouille dans le quartier gallo-romain de l'Hôtel-Dieu à Rennes (Ille-et-Vilaine)



Vue de la fouille préventive sur une surface de 7500 m²

© Emmanuelle Collado, Inrap

L'apport de l'imagerie aérienne en archéologie

Fouille d'un domaine rural gallo-romain et d'un fossé ceinturant une motte castrale du Moyen Âge à Cesson-Sévigné (Ille-et-Vilaine)



Vue de la fouille préventive sur une surface de plus de 7 ha

L'apport de l'imagerie aérienne en archéologie

Prise de vue par drone et reconstitution 3D par photogrammétrie de la fouille de Saint-Clément (Yonne)



https://www.youtube.com/watch?v=_aDkjHsFK-s © 123 Topo Drone, Inrap

L'apport de l'imagerie aérienne en archéologie

Photogrammétrie de la fouille de la Place du Jet d'Eau au Mans (Sarthe)



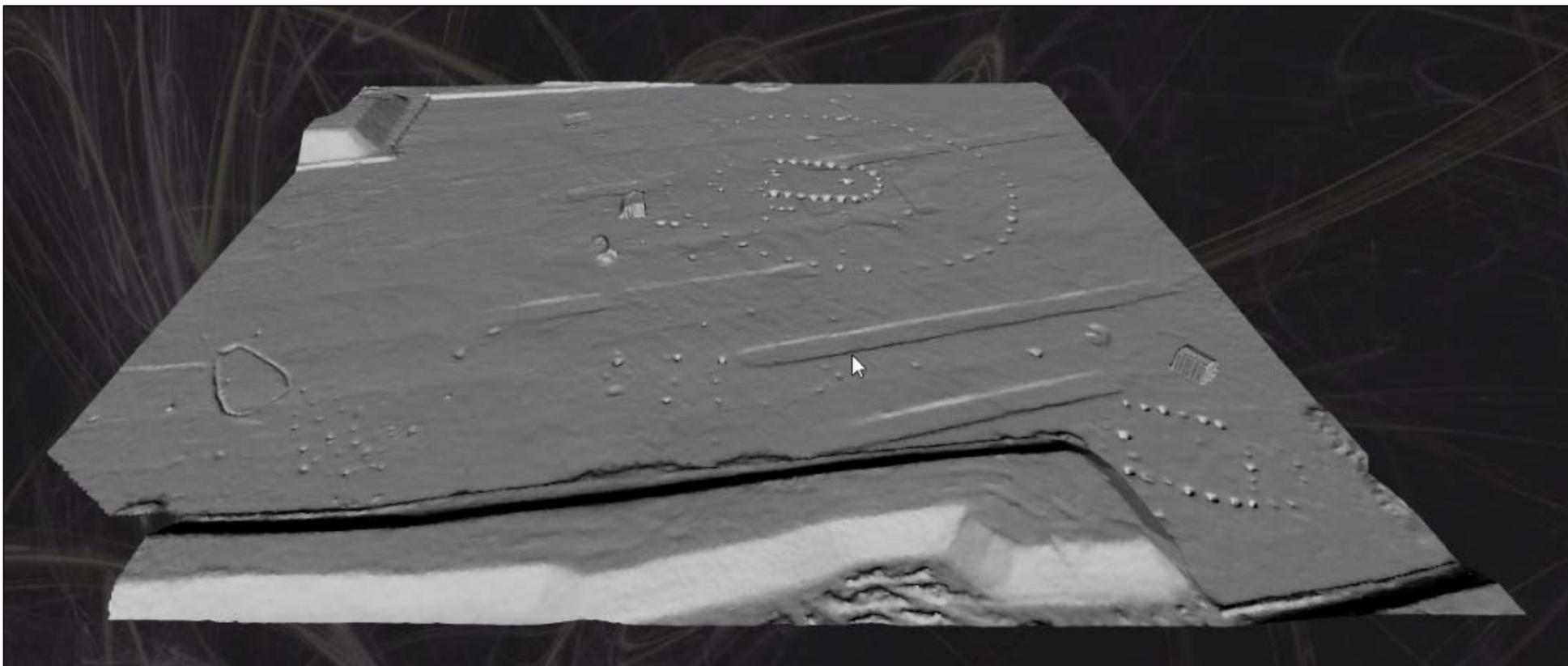
Vue de la structure archéologique lors de la fouille. © S. Augry, Inrap

Résultat d'un modèle 3D texturé, issu de la photogrammétrie et inclus dans le rapport d'opération. © S. Augry, Inrap



L'apport de l'imagerie aérienne en archéologie

Webservice de visualisation d'un site en 3D : programme européen ARIADNE



<http://visual.ariadne-infrastructure.eu/3d/ef36e023c334aec5a09e14dc14ffbbf6>

Les spécificités de l'imagerie par drones pour certains types de capteurs

- **Multispectral : bénéficié de l'apport de plusieurs bandes en dehors du domaine du visible**
- **Hyperspectral : acquérir plusieurs images de la même scène dans un grand nombre de bandes spectrales étroites**
- **LIDAR embarqué : reste à mettre au point pour des drones de petite dimension**
- **RADAR embarqué : intéressant pour les zones forestières, les zones submergées de faible profondeur et les phénomènes dynamiques**

Les tendances actuelles dans le recours aux drones en archéologie

- **Topographie** : produire plus rapidement et à moindre pénibilité des levés topographiques de précision, en s'appuyant sur un nombre limité de points topographiques levés au sol
- **Photogrammétrie** : disposer rapidement d'orthophotographies de qualité et de modèles numériques en 3D, manipulables dès la sortie du terrain
- **Géophysique** : explorer l'apport de plusieurs capteurs en dehors du domaine du visible, en complément des techniques géophysique au sol
- **Aide à la détection de structures en phase de diagnostic** : travaux exploratoires s'appuyant sur des signaux différents selon l'hygrométrie des sols

Les perspectives envisageables : aspects techniques et méthodologiques

- **Les données acquises seront traitées en photogrammétrie en calant les images sur un nombre limité de points levés au sol par les topographes avec des stations totales manuelles ou robotisées**



Vue aérienne du fossé néolithique mis au jour sur le site de Saint-Pastour Nord, Vergèze (Gard), 2014
© Drone Concept, Inrap.



<https://www.i3map.fr/fr/stations-totales-66>

Les perspectives envisageables : aspects techniques et méthodologiques

- **Aspect technique : disposer d'appareils adaptés aux différentes conditions de réalisation des opérations et de capteurs adaptés aux différents types de besoins**

Exemples de modèles envisagés :



Parrot Bebop-Pro 3D Modeling



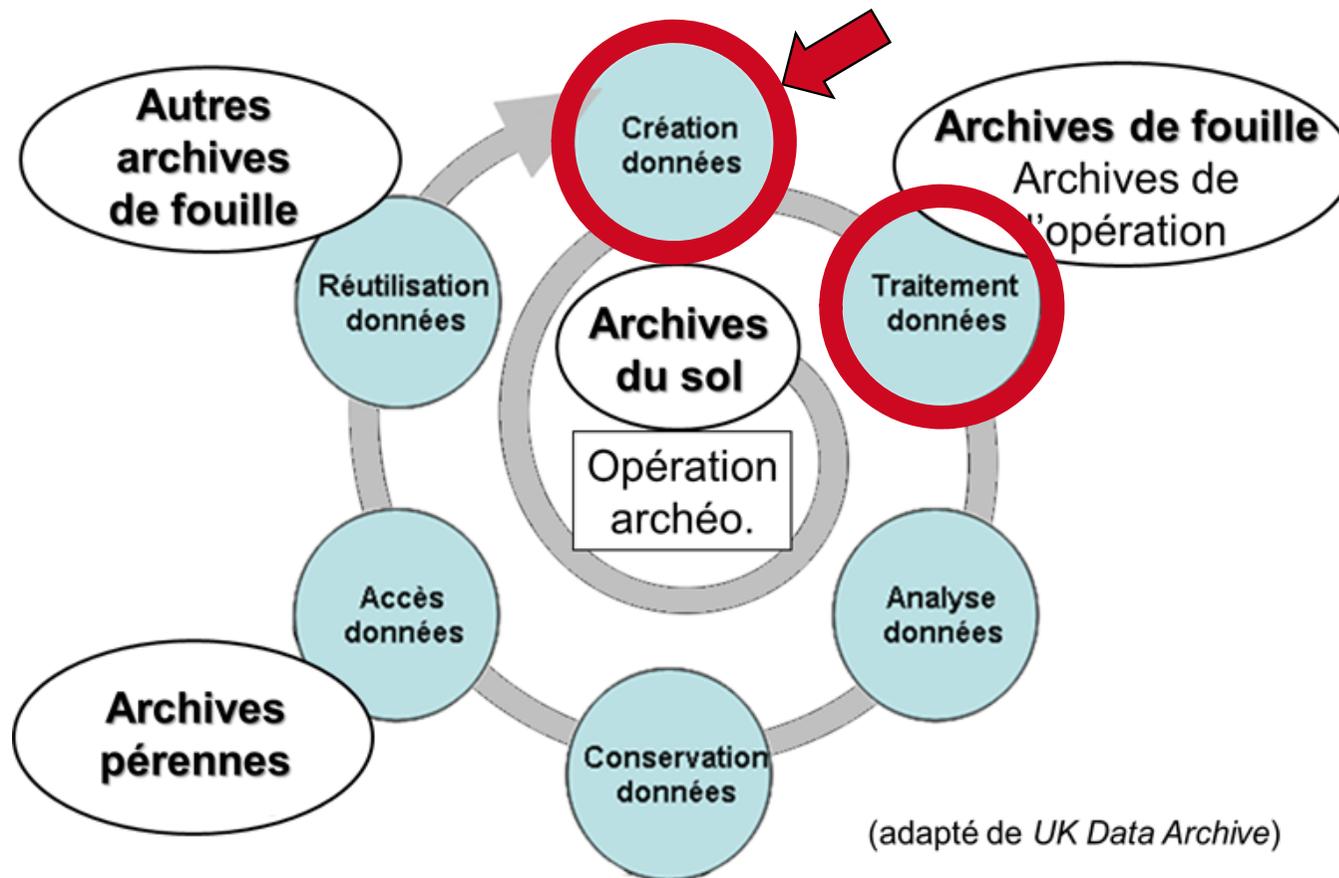
DJI - Phantom 4 Pro



3D ROBOTICS - Solo Mapper

Les perspectives envisageables : aspects techniques et méthodologiques

Aspect méthodologique : intégrer l'usage des drones dans la chaîne de création et de traitement de données scientifiques et techniques



Les métiers touchés et l'évolution des pratiques : topographes et archéologues

Pour les topographes : leur permettre de devenir autonomes dans la prise de vue par drones et contribuer à l'évolution de leur métier



Copyright : Inrap



Copyright : L'œil du drone, 2016

Les métiers touchés et l'évolution des pratiques : topographes et archéologues

Pour les archéologues : leur permettre de disposer rapidement d'images de qualité pour divers usages et contribuer à améliorer le caractère scientifique des interprétations des données archéologiques



Fouille de Saint-Jouan-des-Guérets, en Ille-et-Vilaine. Bâtiment 3, Néolithique moyen (vers 4500 avant notre ère)
© Askell drone

Les besoins en accompagnement des acteurs concernés

Automatisation, numérisation et emploi.

Rapport du Conseil d'orientation pour l'emploi.

- Tome 1 : Les impacts sur le volume, la structure et la localisation de l'emploi (janvier 2017)
- Tome 2 : L'impact sur les compétences (septembre 2017)
- Tome 3 : L'impact sur le travail (décembre 2017)



Les besoins en accompagnement des acteurs concernés

Le numérique se traduit par une transformation rapide, profonde, durable qui touche :

- De nombreux métiers (disparition ou renouvellement de métiers préexistants, apparition de nouveaux métiers)
- Les compétences des individus
- L'identité professionnelle des individus
- L'organisation et les conditions de travail
- Les relations entre individus dans les sphères professionnelle et personnelle
- Les relations entre les citoyens et leurs institutions politiques
- L'image de soi des individus
- L'image des métiers auprès des publics
- Etc.

Les besoins en accompagnement des acteurs concernés

Le numérique s'inscrit dans une évolution en cours des métiers et des méthodes des archéologues qui ont déjà beaucoup évolué au cours depuis les dernières décennies :

- Professionnalisation
- Sécurisation
- Mécanisation
- Gestion de projet, de ressources humaines, techniques et financières
- Gestion de la relation client
- Communication, media
- Etc.

Les besoins en accompagnement des acteurs concernés

Les métiers et les méthodes des archéologues vont continuer à évoluer sous les effets du numérique :

- Numérisation systématisée des données dès le terrain
- Modification de la relation au terrain ("médiatisation")
- Evolution des stratégies de fouilles
- Accroissement de l'interdisciplinarité (partage des données, faire science autour de données mises en commun, négociation sur la qualité des données, etc.)
- Amélioration de la gestion des données de la recherche par les PGD
- Restitutions 2D et 3D systématisées
- Amélioration de la traçabilité des données
- Publication ouverte des données
- Réutilisation des données rendues accessibles à tous
- Etc.

Les besoins en accompagnement des acteurs concernés

Impacts et conditions des pratiques numériques en archéologie

- Le numérique fait évoluer les méthodes des archéologues
 - Pour les formats de données, le choix de l'interopérabilité s'impose
 - L'usage du numérique doit s'accompagner d'une analyse de la qualité des données produites et de validation des résultats obtenus
 - Les outils numériques ne doivent pas s'affranchir ni se substituer à la problématisation scientifique (ne pas confondre moyens et objectifs)
 - Le numérique ne peut pas remplacer l'avis de l'archéologue
-
- **Vers des usages raisonnés du numérique en archéologie ?**

Les besoins en accompagnement des acteurs concernés

Former au bon moment



Faciliter l'adoption de bonnes pratiques



Eviter la fracture numérique



Les besoins en accompagnement des acteurs concernés

**2018 : formations de 8 topographes au nouveau certificat théorique de pilotage de drones (>01/07/2018)
(idem en 2019 et en 2020)**



En 2019 : projet de partenariat avec le Campus des métiers et des qualifications du génie-civil et des infrastructures intelligentes de Nouvelle Aquitaine (Egletons)



Les besoins en accompagnement des acteurs concernés

Accompagner au changement des procédures de production et de validation des données scientifiques

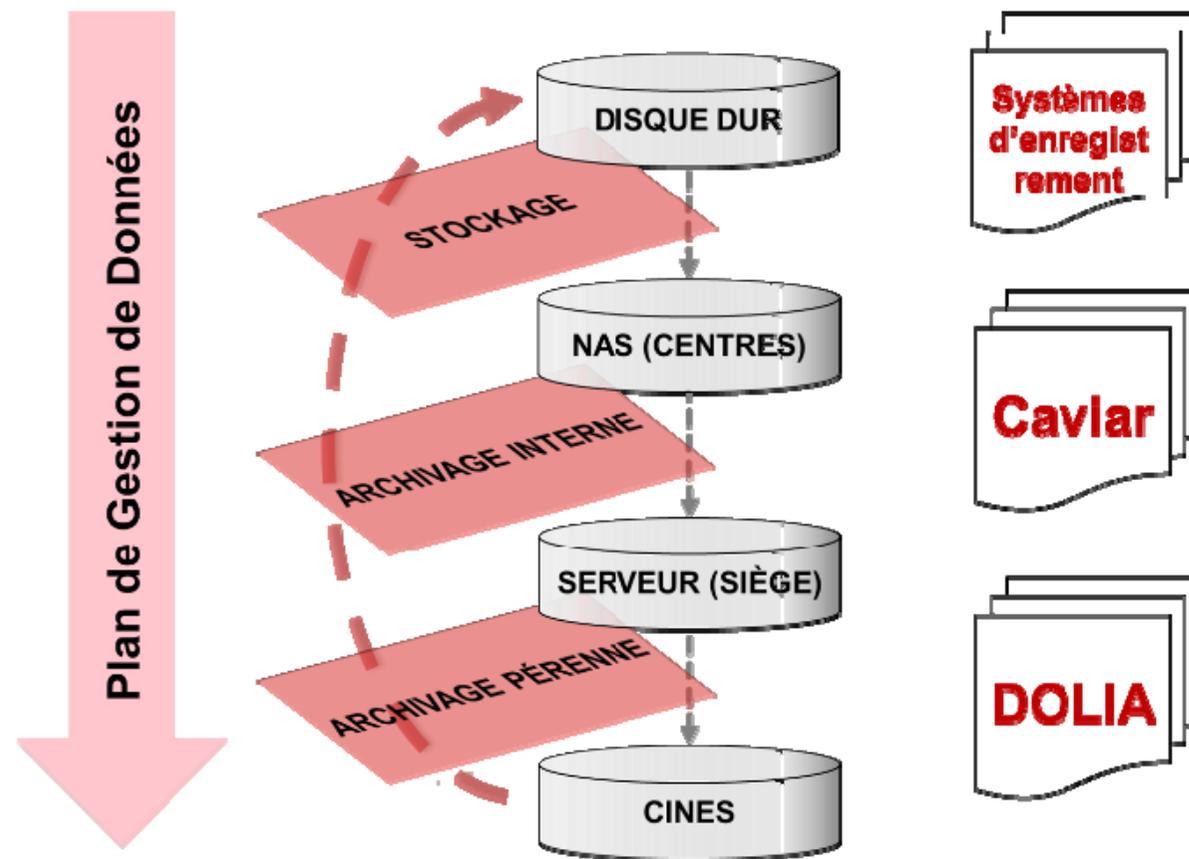


Former à la production et l'usage de métadonnées normées pour garantir la traçabilité et la réutilisabilité des données



La production de données massives en archéologie

Un Plan de Gestion des Données (PGD) pour gérer le stockage des données, leur accessibilité et leur archivage pérenne



La production de données massives en archéologie

La diffusion des données : en route vers l'*Open Access* et l'*Open Data* ?

- Des obligations législatives et réglementaires récentes
 - Loi "Gratuité et modalités de la réutilisation des informations du secteur public" de 2015 (loi Valter)
 - Formats standards ouverts, aisément réutilisables, lisibles par une machine
 - Gratuité mais possibilité de redevance
 - Loi "République Numérique" de 2016 (loi Lemaire)
 - Gratuité des échanges de données entre administrations de l'Etat
 - Ouverture par défaut de très nombreuses données publiques
 - Création d'un Service Public de la Donnée (Insee, Cadastre, Sirene, etc.)
 - Libre accès aux publications scientifiques de la recherche publique (Open Access)

La production de données massives en archéologie

La diffusion des données : en route vers l'*Open Access* et l'*Open Data* ?

- Besoin de temps pour :
 - mettre en place les infrastructures techniques
 - former les acteurs concernés
 - accompagner les changements dans les pratiques
 - être en capacité de gérer les retours des réutilisateurs des données
 - choisir la ou les licences de diffusion des données
 - communiquer correctement sur le sujet

Merci pour votre attention

christophe.tuffery@inrap.fr