

**CONCOURS D'ADMISSION AU GRADE D'ELEVE INGENIEUR DES TRAVAUX  
GEOGRAPHIQUES ET CARTOGRAPHIQUES DE L'ETAT**

**SESSION 2016**

**EPREUVE DE COMPOSITION FRANÇAISE**

**Durée : 3 heures**

**AUCUN DOCUMENT AUTORISE**

→ *Employer exclusivement de l'ENCRE NOIRE*

→ *Sur la bande d'anonymat détachable de chacun des feuillets, inscrire vos nom, prénom et signature, ainsi que la date, l'épreuve et le concours*

→ *Numéroter les feuilles*

**SUJET :**

Ecrivain et avocat libanais, Alexandre Najjar, qui a connu différents flux de migration dans son pays natal, tire plusieurs leçons des vagues de migrants étrangers qui ne cessent d'affluer au fil de l'Histoire. La première est que l'aspect humanitaire est primordial car « on ne discute pas s'il faut venir en aide ou non à un enfant abandonné [...] au nom de la solidarité et de la charité ». La deuxième leçon est que ces migrants ne doivent pas devenir une charge insupportable pour la terre d'accueil. En effet « Si la communauté internationale existe, elle assume une responsabilité collective [...] le concept de « Nations unies » suppose une union »<sup>1</sup>.

-----

*Dans un développement argumenté et organisé vous tenterez de rappeler que l'Histoire a connu de nombreuses situations d'exode, vous direz si les conditions prônées par Alexandre Najjar vous semblent conciliables et dans quelle mesure elles vous paraissent pouvoir apporter une solution à la crise actuelle.*

*NB : Il est rappelé que les candidats sont évalués sur leur capacité à argumenter de manière organisée et cohérente, sur leur maîtrise de la langue et non sur leurs idées.*

---

<sup>1</sup> Propos recueillis dans l'hebdomadaire « Le Un » du mercredi 9 septembre 2015



INSTITUT NATIONAL  
DE L'INFORMATION  
GÉOGRAPHIQUE  
ET FORESTIÈRE

**CONCOURS INTERNE D'ADMISSION AU GRADE D'ELEVE  
INGENIEUR DES TRAVAUX GEOGRAPHIQUES ET  
CARTOGRAPHIQUES DE L'ETAT**

**SESSION 2016**

**EPREUVE DE LANGUE  
VERSION D'ANGLAIS  
Durée : 1 heure**

**Aucun document autorisé**

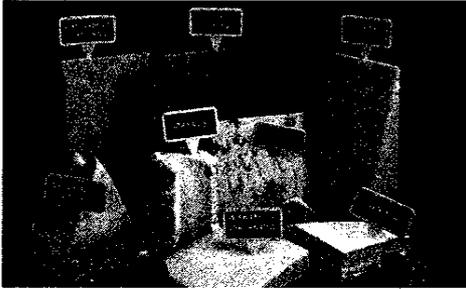
- Employer exclusivement de l'ENCRE NOIRE**
- Sur la bande d'anonymat détachable de chacun des feuillets, inscrire vos nom, prénom et signature, ainsi que la date, l'épreuve et le concours**
- Numéroté les feuilles**

**CONSIGNE :**

***Traduire le texte, titre inclus***

## The Telegraph

### How British cheese took over the world (even the French love it)



It used to be seen as the poor relation of the *fromage* world, but British cheese is now winning over curd nerds in New York, Madrid and (*mon dieu!*) even Paris.

UK cheese exports reached an all-time high in 2014, according to HMRC figures: a 7 per cent rise in volumes, with the premium end of the market performing particularly well. British cheese specialist

Neal's Yard Dairy has seen overseas demand grow rapidly in recent years and today sends hundreds of tonnes of product made by small artisan producers to destinations including Spain, Belgium and Hong Kong, plus more than 200 customers in the US. But it is France where sales are growing fastest - up 20 per cent in the past year. [...]

"There used to be a belief that British cheese is really bad - that it's a plastic style from factories - but that is changing," he says. "If you give people a blind taste of Montgomery's cheddar they say, 'Wow! Is this Parmesan?' When we tell them it's cheddar they can't believe it."

Interest in British cheese has snowballed to the point that newspapers and TV shows regularly run reports on the rise of British cheese. "It's definitely quite trendy," said Carbonne. [...]

"British cheese is right up there at the top of the list. There are some outstanding British cheeses. The French wouldn't eat them if they didn't believe it was jolly good stuff."

Jason Hinds, sales director at Neal's Yard, echoes her sentiments, arguing that Britain has strengthened its position on the global cheese board thanks to the growing expertise of our artisan producers. [...]

"Ten years ago there weren't many British mould-ripened goats' cheeses, but we've worked with them for seven years now and they really know their stuff," he says. "You won't find a Charolais with that quality of milk and the way they make it in small-scale volumes." [...]

Alex James, the former Blur musician, who now makes his own award-winning cheese on his farm in Oxfordshire, said: "There are now more than 900 different kinds of cheese being made in the UK - way more than France. It's incredible considering during the Second World War and rationing, we only produced one kind. Many recipes were lost back then, but the renaissance of cheese-making in this country is a classic case of British

ingenuity and resourcefulness. Many dairy farmers who were unable to get a fair price for their milk diversified into cheese-making." [...]

"When milk is 21p a litre, which is quite a few pence lower than the cost of production, the only way you've got a viable business is to transform that milk into a value-added product. Cheese is the answer."

*The Telegraph*, 30 Apr 2015



INSTITUT NATIONAL  
DE L'INFORMATION  
GÉOGRAPHIQUE  
ET FORESTIÈRE

## CONCOURS D'ADMISSION AU GRADE D'ELEVE INGENIEUR DES TRAVAUX GEOGRAPHIQUES ET CARTOGRAPHIQUES DE L'ETAT

SESSION 2016

### EPREUVE PROFESSIONNELLE A CARACTERE TECHNIQUE

#### DOMAINE : ACQUISITION DE DONNEES GEOREFERENCEES

**DUREE : 5 heures**

→ Employer exclusivement de l'ENCRE NOIRE

→ Sur la bande d'anonymat détachable de chacun des feuillets, inscrire vos nom, prénom et signature, ainsi que la date, l'épreuve et le concours

→ Numéroté les feuilles

SUJET avec 29 questions + 5 ANNEXES

Annexes :

1. Cours GNSS de l'ENSTA Bretagne, Pierre Bosser, 2014 - 2015
2. Cours sur les systèmes de référence de l'ENSG, Serge Botton, 2014
3. [Chandelier, 2012] : Extrait du cours de Photogrammétrie analytique de l'ENSG, Laure Chandelier, 2012
4. Rénovation du RGF93, XYZ n°124, Alain Harmel
5. Page wikipedia sur les Images Sentinel-2

*Vous êtes expert dans une agence de conseils en géomatique. Un client vous a acheté une prestation de conseil, pour faciliter la création de sa start-up qui vise à offrir au monde agricole des services de cartographie de l'occupation des sols, de modélisation 3D et de positionnement précis. Vous devez répondre en 5h aux questions qu'il vient de vous adresser par courrier (voir ci-dessous les extraits de son courrier).*

*I. Dans un premier temps, il a décidé de développer un logiciel spécifique pour calculer le positionnement d'engins munis de récepteur GNSS (**iMPOSING** : **Ma POSItioN** par **Gnss**). Voici ci-dessous ses questions (**3 points**) :*

Afin de me familiariser avec les calculs GNSS, j'ai récupéré des données de code C/A sur plusieurs époques et satellites. J'ai en tout 10 satellites sur 5 époques, soit en tout 50 observations. J'ai aussi les 3 coordonnées de ma station à estimer.

De plus j'ai trouvé sur le web la relation d'observations suivante :

$$\sqrt{(x^s - x_r)^2 + (y^s - y_r)^2 + (z^s - z_r)^2} = d$$

ou  $(x^s, y^s, z^s)$  sont les coordonnées du satellite  
 $(x_r, y_r, z_r)$  sont les coordonnées du récepteur  
 $d$  est l'observation entre le satellite et le récepteur

J'ai lu que pour résoudre ce système, il fallait utiliser la méthode des moindres carrés et résoudre le système  $AX=B$  où  $A$  est le modèle,  $X$  le vecteur des inconnues,  $B$  les observations.

Le passage entre la relation d'observations et ce système me pose problème :

1. Comment linéariser une formule en général ?
2. Comment le faire en particulier dans mon cas ?
3. Quelles sont les dérivées partielles de mon équation en  $x, y, z$  ?

J'ai compris que la matrice  $B$  est un vecteur colonne de 50 lignes, que  $X$  est un vecteur colonne de 3 lignes.

4. De combien de lignes et de colonnes est composée la matrice  $A$  ?

*II. Il souhaite aussi se lancer dans le développement d'un logiciel de photogrammétrie, qu'il a déjà baptisé **PEACE** « **PhotogrammEtry for AgriCulturE** » (**5 points**).*

Je souhaite développer une interface pour dessiner du vecteur en 3D sur un couple stéréoscopique. Avant de m'intéresser à cette phase de saisie, j'ai compris en lisant les publications adéquates qu'il me fallait d'abord gérer la mise en place des images. Le document [Chandelier, 2012] que je me suis procuré explique une loi fondamentale de la photogrammétrie, l'équation de colinéarité.

5. Pouvez-vous m'expliquer quel lien existe entre cette équation et la formule des 11 paramètres dont les ouvrages de photogrammétrie font parfois mention (**démonstration exigée**) ? Je rappelle ci-après cette formule :

$$\begin{cases} x = \frac{a_1 X_M + a_2 Y_M + a_3 Z_M + a_4}{c_1 X_M + c_2 Y_M + c_3 Z_M + 1} \\ y = \frac{b_1 X_M + b_2 Y_M + b_3 Z_M + b_4}{c_1 X_M + c_2 Y_M + c_3 Z_M + 1} \end{cases}$$

6. Comparez ces deux formules, en citant leur cas d'application, leurs avantages et leurs inconvénients.
7. J'ai lu qu'il fallait également ajouter à cette loi fondamentale des corrections dues à l'environnement, et à la caméra utilisée. Pouvez-vous énumérer ces corrections, et indiquer leur amplitude relative ?
8. Pouvez-vous détailler comment la formule fondamentale de la photogrammétrie est mise en œuvre pour le relèvement dans l'espace d'une image seule (caméra connue, corrections dues à l'environnement négligées), c'est-à-dire pour la détermination des inconnues de position et d'orientation de la caméra au moment de la prise de vues ?
9. Définissez ce qu'est un point d'appui, et indiquez-moi combien il m'en faudra pour faire ce relèvement dans l'espace.
10. J'ai lu que la mise en place des deux images d'un couple stéréoscopique peut se calculer de plusieurs façons :
- a. en calculant deux relèvements de l'espace (cf. question n°8) ;
    - I. Combien me faudra-t-il de points d'appui ?
  - b. en calculant d'abord l'orientation d'une image par rapport à l'autre puis l'orientation dans l'espace du couple ainsi constitué : on parle d'orientation relative et d'orientation absolue. L'orientation relative est le « calage » d'une image par rapport à l'autre. Pour qu'elle soit réalisée, tous les rayons perspectifs homologues doivent se couper. Son calcul utilise donc des points de liaison.
    - I. Définissez ce qu'est un point de liaison ;
    - II. Expliquez combien de points de liaison il faut mesurer pour que tous les rayons perspectifs homologues du couple se coupent ;
    - III. Comment vais-je traduire mathématiquement la contrainte de rendre tous les rayons perspectifs homologues coplanaires (merci de faire un schéma) ?

**III. Votre client a déjà réfléchi à un processus d'acquisition des images stéréoscopiques (4 points).**

**A l'échelle locale (une exploitation agricole, allant jusqu'à 500 ha),** je compte faire des prises de vues aériennes stéréoscopiques en ayant recours aux services d'un pilote d'un petit avion d'un aérodrome voisin.

Afin de diminuer le nombre d'axes de vol nécessaires pour couvrir un chantier avec une caméra numérique, et pour ré-employer au maximum du matériel existant, j'ai décidé d'assembler deux anciennes caméras numériques (elles datent de 2001 !), identiques, orientées de part et d'autre de l'avion : une caméra vise vers la droite de l'avion, l'autre vers

la gauche (cf. Figure 1). Les caméras sont équipées de matrices CCD couleur à mosaïque de filtres (type bayer), de dimension utile 2000x3000 pixels carrés de 9 microns de côté, et d'objectifs de focale 45mm. En raison de la compensation de filé, l'axe de vol est parallèle au petit côté de la matrice. On souhaite que les deux images acquises simultanément se recouvrent de 100 pixels (cf. Figures 1 et 2). On m'a déjà commandé une prise de vues d'une zone carrée (plane et horizontale) de 2km par 3km, avec un pixel sol maximum de 50cm, un recouvrement longitudinal de 55% minimum et transversal de 15%.

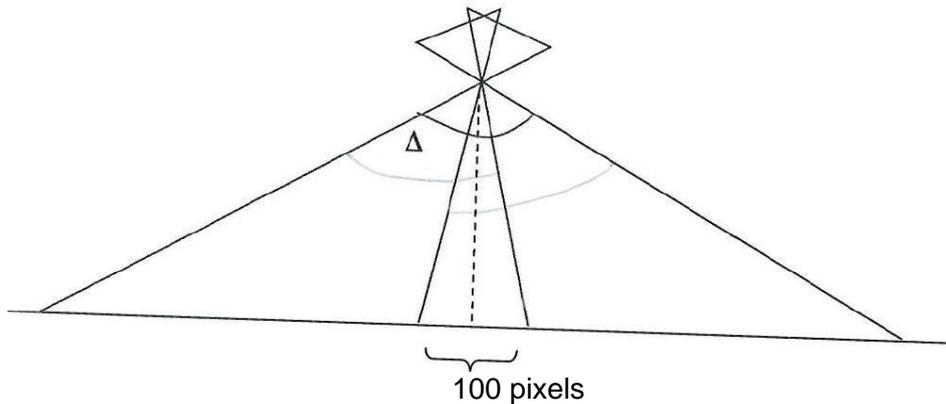


Figure1 : Schéma de montage des deux caméras

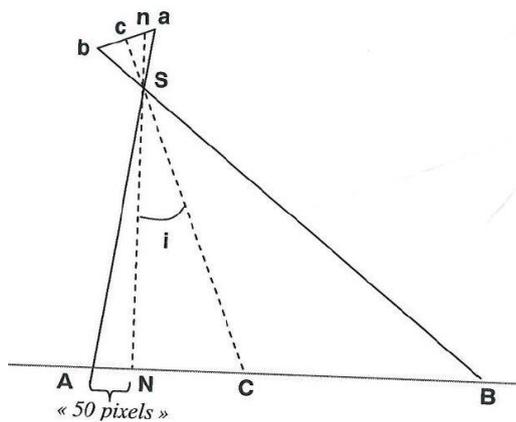


Figure2 : Inclinaison de la caméra « gauche »

11. De quel angle les axes optiques des deux caméras sont-ils écartés ?
12. Quelles sont les formules donnant la taille du pixel sol au nadir, au centre et au bord extérieur de l'image en fonction de l'altitude de vol ?
13. Quelle sera l'altitude de vol permettant de respecter le pixel sol demandé et quel est le pixel sol minimum ?
14. Que vaut la base stéréoscopique ?
15. Quel sera le nombre de photos par bande et le nombre de bandes permettant de couvrir le chantier ?
16. Merci de m'aider à comparer avec une prise de vues faite avec une caméra numérique unique de mêmes caractéristiques.

17. J'ai l'intuition que la vitesse d'enregistrement des images sur ces vieilles caméras m'empêche de proposer des images stéréoscopiques à très haute résolution spatiale. Qu'en est-il réellement ?

*IV. Il envisage cependant d'acquérir un ou plusieurs drones équipés d'appareils photo pour être plus autonome (2 points).*

18. A partir du tableau ci-dessous classant les différents types de drone disponibles actuellement (sans considération de prix, taille, vitesse et charge utile maximale), quelle configuration matérielle me conseillez-vous d'adopter, sachant que je dispose de deux caméras couleurs de 400g chacune, toutes deux équipées d'un objectif de 50mm de distance focale (format utile des capteurs : 24x36mm, ou 4000x6000pixels) ?

Type	Portée	Endurance	Résistance à la météo et au vent	Manœuvrabilité
Ballon	0	++	0	0
Avion	++	++	0	+
Planeur / Aile	+	0	0	0
Cerf-volant	+	0	0	0
Hélicoptère	+	+	+	++

*Avantages et inconvénients des différents types de drone (de 0 – nul à ++ -très bien)*

*V. Il a besoin de géoréférencer correctement ses images, qu'elles soient acquises par petit avion (cf. partie III) ou par drone (cf. partie IV). Il dispose pour ce faire de données géographiques existantes, dont certains éléments peuvent servir de points d'appui pour les images (4 points).*

19. Merci de me rappeler l'équipement en points d'appui recommandé pour une prise de vues aérienne, et d'indiquer quels types d'éléments d'un paysage rural on peut utiliser comme points d'appui pérennes.

Lorsque je récupère des données géographiques, certaines sont en NTF-Lambert zone, d'autre en NTF-Lambert 2 étendu.

20. Dois-je les transformer en RGF93 ? Pour quelles raisons ?

21. Quelles projections dois-je utiliser (merci de répondre pour des données locales, des données régionales et des données générales sur la France) ?

- La Lambert93 ?
- Les CC 9 zones ?

22. Quelles sont les raisons techniques qui guident ces choix ?

Dans un article publié dans le numéro 124 de la revue XYZ, j'ai découvert que le RGF93 avait été rénové en juin 2010. Les données exprimées en RGF93 dont je dispose sont plus anciennes.

23. Dois-je les mettre à jour et comment ? ou puis-je continuer à les utiliser ainsi ?

Dans un avenir proche, je désire aussi me développer en Europe. Il est dit dans la directive INSPIRE que le système géodésique d'échange de données géolocalisées est l'ETRS89.

24. Comment puis-je passer du RGF93 à l'ETRS89 ?

J'ai aussi lu qu'aujourd'hui en GNSS on pouvait faire du PPP.

25. Est-ce une technique que vous préconisez d'utiliser en post-traitement, en temps réel, pour faire du statique, du cinématique ?

#### **VI. Perspectives (2 points)**

**A l'échelle régionale (30 000 km<sup>2</sup>),** j'envisage de proposer aussi des services de cartographie de l'occupation du sol pour le monde agricole. J'ai appris que la commission européenne avait mis en place le programme Copernicus, qui fournit de nombreuses données gratuites, dont les images spatiales Sentinel. J'envisage d'utiliser des outils de classification pour dériver de ces images des cartes d'occupation du sol (une chaque année sur la région).

26. Décrivez de manière schématique le principe des méthodes de classification en télédétection.

Au vu des caractéristiques des images fournies par les satellites Sentinel-2 :

27. Quelle sera la résolution spatiale des cartes d'occupation du sol (OCS) ?

28. Pour produire les cartes d'OCS par des méthodes de classification supervisée, j'ai besoin de « vérités terrain ». Que me suggérez-vous d'utiliser pour obtenir des échantillons de vérités terrain bien réparti sur la région ?

29. Dans quelle mesure la haute fréquence temporelle des images Sentinel-2 peut-elle améliorer le suivi phytosanitaire des cultures ?



INSTITUT NATIONAL  
DE L'INFORMATION  
GÉOGRAPHIQUE  
ET FORESTIÈRE

## CONCOURS D'ADMISSION AU GRADE D'ELEVE INGENIEUR DES TRAVAUX GEOGRAPHIQUES ET CARTOGRAPHIQUES DE L'ETAT

SESSION 2016

### EPREUVE PROFESSIONNELLE A CARACTERE TECHNIQUE

**DOMAINE : CONCEPTION, PRODUCTION ET MISE A JOUR DES BASES DE  
DONNEES GEOGRAPHIQUES**

**DUREE : 5 heures pour traiter les deux sujets**

→ *Employer exclusivement de l'ENCRE NOIRE*

→ *Sur la bande d'anonymat détachable de chacun des feuillets, inscrire vos nom,  
prénom et signature, ainsi que la date, l'épreuve et le concours*

→ *Numéroter les feuilles*

Le premier sujet est le sujet principal.

Le second est un exercice destiné à tester votre aptitude dans le domaine mathématique. Il est conseillé de ne pas consacrer plus d'une heure à cet exercice dont le traitement complet correspond à un bonus de six points.

## **Sujet principal :**

Le Règlement communautaire (CE) n°1593/2000 a institué l'obligation, dans tous les Etats Membres, de localiser et d'identifier les parcelles agricoles. Pour répondre à cette exigence, la France a mis en place le Registre Parcellaire Graphique (RPG) qui est un système d'information géographique permettant l'identification des parcelles agricoles. Ainsi, chaque année, les agriculteurs adressent à l'administration un dossier de déclaration de surfaces qui comprend notamment le dessin des îlots de culture qu'ils exploitent et les cultures qui y sont pratiquées. La localisation des îlots se fait à l'échelle du 1:5000 sur le fond photographique de la BD Ortho (IGN) et leur mise à jour est annuelle. Cette base de données constitue donc une description à grande échelle et régulièrement mise à jour de la majorité des terres agricoles.

Le RPG est constitué de l'ensemble des îlots cultureux géolocalisés par les déclarants eux-mêmes (sur fond ortho-photographique fourni) lors de la campagne annuelle de "déclarations PAC" lancée au printemps sur l'ensemble du territoire français (hors Guyane et Guadeloupe). Leur tracé sert de base légale à l'Agence de Services et de Paiement (ASP) pour déterminer le montant de diverses aides directes aux agriculteurs.

En cas de double déclaration d'un îlot ou d'une partie d'îlot, aucune aide n'est distribuée concernant cette surface.

### Quelques définitions utiles :

Un îlot cultural est un ensemble de parcelles agricoles contiguës, portant une ou plusieurs cultures, exploité par un même agriculteur et limité par des éléments facilement repérables et permanents comme un chemin, une route, un ruisseau...ou par d'autres exploitations.

Une parcelle est une unité de surface portant un couvert homogène et présentant des caractéristiques identiques.

Chaque exploitant est associé à un ou plusieurs îlots.

Chaque îlot est identifié par un numéro package appelé PACNUM.

Chaque îlot est composé d'une ou plusieurs parcelles culturales.

Chaque parcelle culturale est décrite par sa culture principale.

Les surfaces agricoles peuvent également comporter des surfaces non agricoles :

- Des bosquets
- Des arbres dispersés isolés ou alignés
- Des mares
- Des haies
- Des bâtiments
- Des surfaces artificialisées (routes, parkings...)
- Des cours d'eau

L'image ci-dessous présente un îlot découpé en parcelles et des surfaces non agricoles



**Question 1 : proposer un modèle pour décrire le RPG dans l'objectif de répondre à l'enjeu de la PAC. (4 points)**

*Vous pouvez utiliser le formalisme de votre choix (Merise, UML, HBDS ou autre).*

*Vous indiquerez les hypothèses que vous prenez pour structurer les données, les principales classes d'objets et relations qui existent entre elles, leurs principaux attributs.*

*Précisez le cas échéant la forme géométrique (ponctuelle, linéaire ou surfacique) des objets qui seront décrits par une géométrie.*

*Détailler les différents contrôles d'intégrité que vous pourriez introduire soit pendant la saisie du déclarant, soit à posteriori, sur les données complètes.*

.....

## Contexte de la question 2

Le calcul de la subvention s'effectue à partir de la notion de surface admissible (sommée sur l'ensemble des îlots associés à l'exploitant), c'est la clé de distribution des aides de l'Europe. Voici la répartition des composants d'une parcelle en fonction de leur admissibilité :

### Eléments systématiquement admissibles

- **Cultures** : par exemple céréales et couvert herbacé (de moins de 5 ans), ou vignes, ou arbres fruitiers, ou gel/jachères...
- **Surface en prairies et pâturages permanents** :
  - o Les surfaces portant majoritairement des couverts herbacés de 5 années révolues (6<sup>ème</sup> déclaration PAC).
  - o Surfaces adaptées au pâturage (arbustes, broussailles) qui sont à la fois comestibles et intégralement accessibles aux animaux.
- **Haies** dont la largeur n'excède pas 10m
- **Mares** dont la surface est strictement supérieure à 10 ares et inférieure ou égale à cinquante ares
- **Bosquets** dont la surface est strictement supérieure à 10 ares et inférieure ou égale à cinquante ares

### Eléments systématiquement non admissibles

- **Eléments artificiels**
  - o Surfaces goudronnées ou empierrées, routes, chemins de fer...
  - o Eléments maçonnés, bétonnés ou en plastique
  - o Bâtiments
- **Les surfaces de forêt** (y compris la lisière)
- **Les haies** dont la largeur dépasse 10 mètres
- **Les mares** dont la surface est strictement supérieure à cinquante ares
- **Les cours d'eau**
- **Les autres éléments naturels** dont la surface est supérieure à 10 ares

### Eléments admissibles ou non admissibles selon le cas

- **Les arbres disséminés** (c'est-à-dire isolés ou alignés) d'essence forestière (les arbres fruitiers sont systématiquement admissibles)
  - o Sur les surfaces cultivées ces arbres sont admissibles dans la limite de 100 arbres par hectare
  - o Sur les surfaces en prairies et pâturages permanents en suivant la méthode du « prorata » décrite ci-dessous
- Cas d'éléments non admissibles sur des surfaces en prairie et pâturages permanents, la **méthode du « prorata »** :
  - o Les affleurements rocheux
  - o Les broussailles de moins de 10 ares (hors zone de pâturage)
  - o Les mares dont la surface est inférieure ou égale à 10 ares

- Les bosquets dont la surface est inférieure ou égale à 10 ares
- Les autres éléments naturels dont la surface est inférieure ou égale à 10 ares
- Les roselières

Voici les pourcentages applicables pour mettre en œuvre la méthode des proratas :

Pourcentage de surface comportant des éléments non agricoles résiduels	Pourcentage à appliquer pour déterminer la surface admissible
De 0 % à 10 %	100 %
De plus de 10 % à 30 %	80 %
De plus de 30 % à 50 %	60 %
De plus de 50 % à 80 %	35 %
Plus de 80 %	0 %

**Question 2 : votre modèle permet-il de calculer la surface admissible aux aides européennes ? (4 points)**

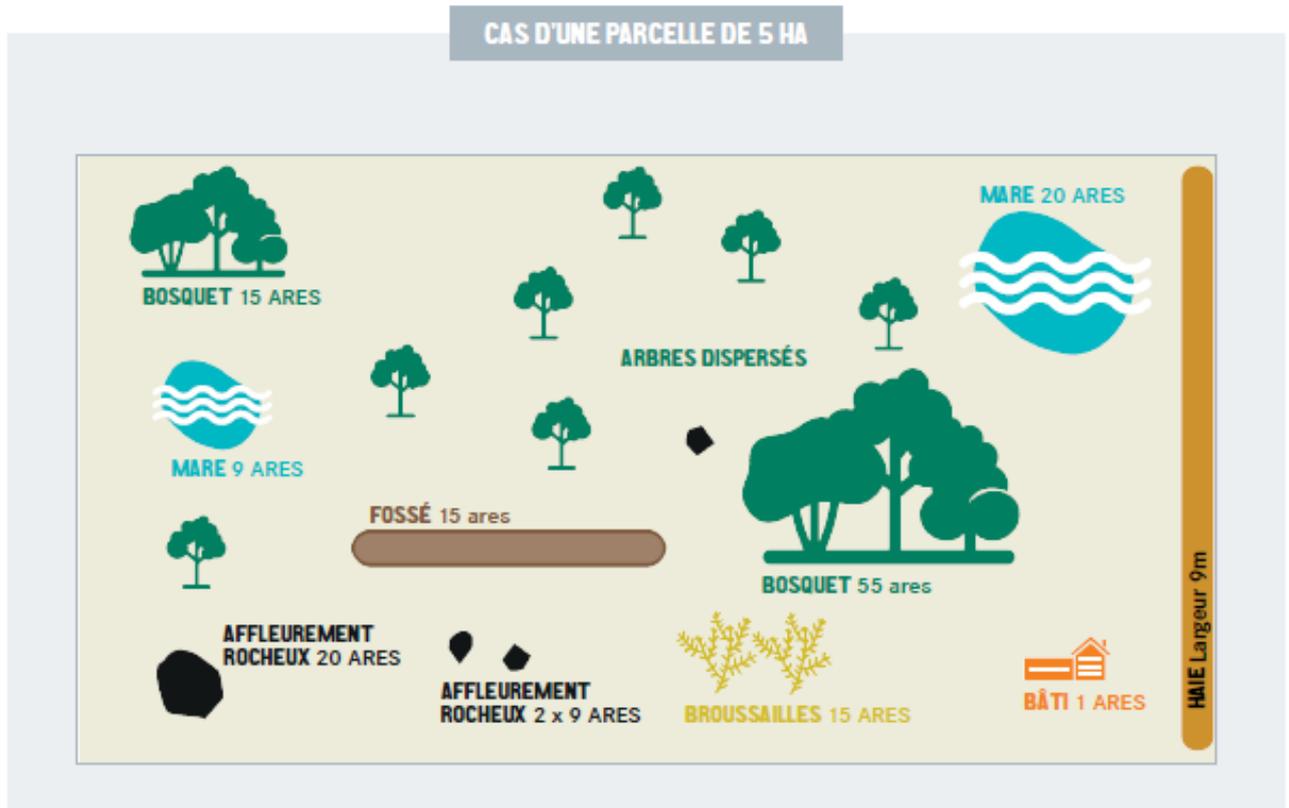
*Détaillez les requêtes qui vont vous permettre d'effectuer ce calcul en distinguant le calcul du prorata qui s'applique aux surfaces en prairie et pâturages permanents*

*Précisez le cas échéant les modifications à apporter ou les limites de la modélisation proposée lors de la question 1.*

.....

**Question 3 : quelle est la surface admissible associée à l'exemple de parcelle ci-dessous ? (4 points)**

Détailler les différents calculs qui sont effectués éventuellement les différents scénarios.



#### Contexte de la question 4

#### Modification du dispositif à partir de 2015

Afin de consolider le dispositif et de prouver à l'Europe que la France maîtrise le dispositif de distribution des aides, les îlots ont été recalés en 2014 sur l'ensemble du territoire en utilisant la couverture orthophotographique et les surfaces non agricoles (éléments naturels ou constructions) ont été saisies à l'intérieur des îlots.

Ainsi, contrairement aux campagnes précédentes où l'exploitant saisissait l'intégralité des éléments composant ses parcelles, cette fois la saisie des surfaces non agricoles lui est épargnée puisque le travail a été réalisé sur tout le territoire.

Du coup, la mise à jour effectuée par l'exploitant consiste à :

- Vérifier/corriger les contours d'îlots
- Créer un îlot
- Détruire un îlot
- Découper un îlot en parcelles

- Renseigner les parcelles (culture principale)
- Signaler les écarts entre les surfaces non agricoles qui sont visibles sur l'orthophoto et la réalité du terrain à la date de la déclaration.

**Question 4 : proposer un processus de production permettant une mise à jour annuelle efficace du RPG par les exploitants (3 points)**

Vous identifierez en particulier quelles données utiliser, quelles actions de mise à jour seront autorisées et vous chercherez à optimiser le processus pour ne pas tout refaire à chaque campagne.

.....

**Question 5 : proposer un modèle de données approprié à la mise à jour (3 points)**

L'objectif est ici de tracer les évolutions entre 2 versions annuelles du RPG.

Vous pouvez utiliser le formalisme de votre choix (Merise, UML, HBDS ou autre).

Vous indiquerez les hypothèses que vous prenez pour structurer les données, les principales classes d'objets et relations qui existent entre elles, leurs principaux attributs.

.....

**Question 6 : comment identifier des points d'alertes pour cibler les contrôles terrain ? (2 points)**

Les contrôles terrain sont très coûteux mais nécessaires lors de certains cas litigieux (déclarations concurrentes d'exploitants voisins par exemple) et importants pour améliorer la qualité du RPG.

Il faut donc limiter le nombre d'interventions tout en ciblant des îlots susceptibles d'être améliorés.

D'après vous, quelles informations extraites de la base de données RPG et de son évolution entre 2 campagnes annuelles ou quelles informations en provenance d'autres bases géographiques vectorielles ou raster peuvent être utilisées pour identifier des alertes potentielles ?

+---+---+---+---+---+---+---+---+

## Sujet n°2 (exercice de mathématique)

Il s'agit de la partie mathématique de l'analyse préalable au développement d'un prototype de logiciel destiné à recalculer, par moindres carrés, des blocs de plans vectorisés.

### L'ajustement de blocs de plans cadastraux

L'idée est d'estimer les transformations de chaque plan minimisant les écarts entre points homologues au cours d'une compensation globale par bloc et en s'approchant au mieux du terrain.

Pour cela, on utilisera deux types de mesures :

- Mesures de points homologues entre les plans du bloc (n'ayant pas nécessairement de réalité terrain) : ce seront nos points de liaison ;
- Mesures de points particuliers du terrain identifiés sur le plan et dont les coordonnées terrain sont connues : ce seront nos points d'appui.

Plusieurs modèles de transformations sont envisagés (homographie, similitude, affinité...). Un objectif du prototype sera de tester ces différentes transformations. On travaillera dans le plan (on ne s'intéresse pas à la 3<sup>ème</sup> dimension).

### Fonctionnalités du prototype :

#### Estimation de modèles

L'outil doit permettre de tester plusieurs modèles de transformation de plans. Le type de modèle à estimer sera paramétré par l'utilisateur.

D'autre part, la compensation est un processus itératif et interactif.

L'utilisateur doit pouvoir lancer une ou plusieurs itérations en changeant éventuellement tout ou partie des paramètres. Pour cela, il doit disposer à l'issue de l'itération de l'ensemble des informations nécessaires au paramétrage avisé des itérations suivantes.

#### Modèle de données :

Un **bloc de plans** est un ensemble de **plans** possédant des **points** en commun.

A chaque plan est associée une **transformation** que l'on cherche à estimer. Celle-ci pourra être de plusieurs types.

Les **observations** réalisées sont de deux types : **mesures** dans un plan, ou **appui**. Les observations possédant des caractéristiques communes (précision de mesure notamment, source) pourront être rassemblées au sein d'un **groupe d'observations**.

Les **inconnues** de notre système sont ainsi des transformations.

#### Equations

Par la suite, on adopte les notations suivantes :

$f_i()$  note la transformation recherchée pour le plan  $i$ .

$M(x_i, y_i)$  note les coordonnées de la mesure  $M$  réalisée dans le plan  $i$

#### Equations de liaison

Il s'agit des équations liant les points homologues, mesurés entre plusieurs plans.

Un point  $M$  mesuré sur les plans  $i$  et  $j$  respectivement aux coordonnées  $M_i(x_i, y_i)$  et  $M_j(x_j, y_j)$  donnera l'équation :

$$f_i(M_i) = f_j(M_j)$$

Soit :  $f_i(x_i, y_i) = f_j(x_j, y_j)$  ce qui donne une équation en  $x$  et une équation en  $y$  pour chaque point.

On dit qu'un point est de multiplicité  $n$  s'il apparaît sur  $n$  plans différents.

**Question 1 :** Quel est le nombre d'équations de liaison générées en fonction de la multiplicité ?

### Equations d'appui

Il s'agit des équations liant les points au terrain.

Un point d'appui  $M(x_{terrain}, y_{terrain})$  mesuré sur le plan  $i$  aux coordonnées  $M_i(x_i, y_i)$  interviendra dans l'équation :

$$f_i(M_i) = M$$

Soit :  $f_i(x_i, y_i) = (x_{terrain}, y_{terrain})$

Chaque point d'appui génère ainsi 2 équations d'appui.

### Transformations de plans : modèles à estimer

#### Cas de la similitude 2D

Une similitude est une transformation composant une homothétie et une rotation. On pose ainsi l'équation d'une similitude de la manière suivante  $X' = kRX + B$  :

Les inconnues de la transformation sont au nombre de 4 par plan :  $a, b, c, d$ .

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b \\ -b & a \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} c \\ d \end{pmatrix},$$

**Question 2 :** Vous exprimerez les valeurs de translation, l'angle de la rotation et l'échelle de la similitude en fonction des coefficients  $a, b, c, d$ .

Equations de liaison

$$\begin{cases} f_{Plan_i}(x_i, y_i) = f_{Plan_j}(x_j, y_j) \\ a_i x_i + b_i y_i + c_i = a_j x_j + b_j y_j + c_j \\ a_i y_i - b_i x_i + d_i = a_j y_j - b_j x_j + d_j \\ a_i x_i + b_i y_i + c_i - a_j x_j - b_j y_j - c_j = 0 \\ a_i y_i - b_i x_i + d_i - a_j y_j + b_j x_j - d_j = 0 \end{cases}$$

Equations d'appui

$$\begin{cases} f_{Plan_i}(x_i, y_i) = (x_{terrain}, y_{terrain}) \\ a_i x_i + b_i y_i + c_i = x_{terrain} \\ a_i y_i - b_i x_i + d_i = y_{terrain} \end{cases}$$

Pose des équations

La résolution du système devra fournir la valeur des inconnues sous forme d'un vecteur.

Vous donnerez la taille de ce vecteur d'inconnues en fonction du nombre de plans.

**Question 3 :** Vous proposerez en justifiant votre choix une valeur approchée pour initialiser le système

Combien d'itérations seront nécessaires pour obtenir la convergence ?

Quel est l'intérêt d'avoir un système itératif ?

#### Cas de l'homographie :

Une homographie est une transformation linéaire d'un espace projectif dans un autre, représentée par une matrice quelconque opérant sur les coordonnées homogènes. Les inconnues de la transformation sont au nombre de 8 par plan :  $a, b, c, d, e, f, g, h$

$$\begin{cases} x' = \frac{x * (1 + a) + y * b + c}{1 + g * x + h * y} \\ y' = \frac{x * d + y * (1 + e) + f}{1 + g * x + h * y} \end{cases}$$

Equations de liaison

$$f_{Plan_i}(x_i, y_i) = f_{Plan_j}(x_j, y_j)$$

Un point  $M$ , commun au plan  $i$  et au plan  $j$  va ainsi fournir deux équations non linéaires. Une équation de liaison en  $x$  et une équation de liaison en  $y$ .

$$\begin{cases} \frac{x_i * (1 + a_i) + y_i * b_i + c_i}{1 + g_i * x_i + h_i * y_i} - \frac{x_j * (1 + a_j) + y_j * b_j + c_j}{1 + g_j * x_j + h_j * y_j} = 0 \\ \frac{x_i * d_i + y_i * (1 + e_i) + f_i}{1 + g_i * x_i + h_i * y_i} - \frac{x_j * d_j + y_j * (1 + e_j) + f_j}{1 + g_j * x_j + h_j * y_j} = 0 \end{cases}$$

Equations d'appui

$$\begin{cases} f_{Plan_i}(x_i, y_i) = (x_{terrain}, y_{terrain}) \\ \frac{x_i * (1 + a_i) + y_i * b_i + c_i}{1 + g_i * x_i + h_i * y_i} - x_{terrain} = 0 \\ \frac{x_i * d_i + y_i * (1 + e_i) + f_i}{1 + g_i * x_i + h_i * y_i} - y_{terrain} = 0 \end{cases}$$

Un point du terrain  $M$ , mesuré sur le plan  $i$  va ainsi fournir deux équations non linéaires. Une équation d'appui en  $x$  et une équation d'appui en  $y$ . Le nombre de points mesurés va conduire à l'écriture d'un système redondant.

**Question 4 :** Quelle technique proposez-vous pour espérer obtenir un résultat qualifié ? Vous indiquerez, en le justifiant d'un point de vue mathématique, pourquoi la connaissance d'une solution approchée est incontournable.

**Question 5 :** On note  $(a_{i0}, b_{i0}, c_{i0}, d_{i0}, e_{i0}, f_{i0}, g_{i0}, h_{i0})$  la solution approchée. Après avoir calculé les différentes dérivées partielles nécessaires à l'écriture de l'équation d'appui en  $x$ , vous explicitez l'équation d'appui linéarisée.

**Question 6 :** Quelle méthode conseillez-vous pour calculer une solution approchée ?



INSTITUT NATIONAL  
DE L'INFORMATION  
GÉOGRAPHIQUE  
ET FORESTIÈRE

## CONCOURS D'ADMISSION AU GRADE D'ELEVE INGENIEUR DES TRAVAUX GEOGRAPHIQUES ET CARTOGRAPHIQUES DE L'ETAT

SESSION 2016

### EPREUVE PROFESSIONNELLE A CARACTERE TECHNIQUE

#### DOMAINE : EXPLOITATION DE BASES DE DONNEES GEOGRAPHIQUES

**DUREE : 5 heures pour traiter les deux sujets**

→ *Employer exclusivement de l'ENCRE NOIRE*

→ *Sur la bande d'anonymat détachable de chacun des feuillets, inscrire vos nom, prénom et signature, ainsi que la date, l'épreuve et le concours*

→ *Numéroter les feuilles*

Le premier sujet est le sujet principal. Il est librement inspiré du projet Géoportail de l'Urbanisme (GPU).

Le second est un exercice destiné à tester votre aptitude dans le domaine mathématique. Il est conseillé de ne pas consacrer plus d'une heure à cet exercice dont le traitement complet correspond à un bonus de six points.

## Sujet principal :

L'ordonnance du 19 décembre 2013 stipule la création d'un Géoportail de l'urbanisme (GPU). Ce portail géographique doit permettre au citoyen d'accéder à l'ensemble des documents d'urbanisme couvrant son territoire, ainsi que les servitudes d'utilité publique. Un document d'urbanisme ne sera exécutoire que s'il est publié sur le GPU.

Un document d'urbanisme (DU) peut être un POS (Plan d'Occupation des Sols), un PLU (Plan Local d'urbanisme), un PLUI (un Plan local d'urbanisme intercommunal), une CC (carte communale) ou un SCOT (Schéma de Cohérence Territoriale).

Une commune n'est pas forcément couverte par un document d'urbanisme. Dans ce cas elle doit se conformer au RNU (Règle nationale d'urbanisme). Une commune peut être couverte par un SCOT et également par un POS ou bien un PLU ou bien un PLUI.

Un PLU, un POS et une CC sont constitués d'une cartographie et d'un ensemble de pièces écrites. La cartographie reprend des zonages :

- les zones urbaines, dites « zones U » : ce sont « les secteurs déjà urbanisés et les secteurs où les équipements publics existants ou en cours de réalisation ont une capacité suffisante pour desservir les constructions à implanter » (article R. 123-5 du code de l'urbanisme). (anciennes zones U du plan d'occupation des sols (POS) ) ;
- les zones à urbaniser, dites « zones AU » : l'article R. 123-6 du code de l'urbanisme les définit comme pouvant « être classées en zone à urbaniser les secteurs à caractère naturel de la commune destinés à être ouverts à l'urbanisation ». (anciennes zones NA du POS). On distingue deux types de zones AU :
  - les secteurs urbanisables immédiatement en raison de la présence « d'assainissement existant à la périphérie immédiate d'une zone AU » et ayant « la capacité suffisante pour desservir les constructions à implanter dans l'ensemble de cette zone » ; cette zone est généralement nommée « 1AU » ;
  - si cette capacité est insuffisante, l'ouverture à l'urbanisation est subordonnée à une modification ou une révision du PLU ; on nomme généralement cette zone « 2AU » ;
- les zones agricoles, dites « zones A » : il s'agit des « secteurs de la commune, équipés ou non, à protéger en raison du potentiel agronomique, biologique ou économique des terres agricoles » (article R. 123-7 du code de l'urbanisme). C'est un régime strict et surveillé, seules les constructions ou installations nécessaires aux services publics et à l'exploitation agricole y sont autorisées. (anciennes zones NC du POS) ;

- les zones naturelles et forestières, dites « zones N » : ce sont les « secteurs de la commune, équipés ou non, à protéger en raison soit de la qualité des sites, des milieux naturels, des paysages et de leur intérêt, notamment du point de vue esthétique, historique ou écologique, soit de l'existence d'une exploitation forestière, soit de leur caractère d'espaces naturels » (article R. 123-8 du code de l'urbanisme). (anciennes zones ND du POS).

Le plan de zonage délimite aussi des secteurs particuliers, comme les espaces boisés classés ou les emplacements réservés (notamment pour la construction future d'équipements publics).

Un SCOT est un document sans cartographie. Il s'appuie par contre sur un ensemble de communes d'un seul tenant. Cet ensemble de communes peut être un ensemble d'EPCI (communauté de communes, communauté d'agglomération ou bien communauté urbaine).

Ces documents d'urbanisme font l'objet d'une approbation. La date d'approbation est un élément constituant du DU car il marque le début de sa validité.

Les collectivités territoriales sont responsables des documents d'urbanisme : la commune pour un PLU, un POS ou une carte communale, l'EPCI pour un PLUi, un EPCI ou bien un syndicat de SCOT sont responsables d'un SCOT.

Les documents d'urbanisme sont numérisés sur un fond de référence qui peut être la BD Parcellaire ou le PCI vecteur. Les zones s'appuient généralement sur des limites de parcelles.

D'un point de vue topologique, il ne peut pas y avoir de recouvrement entre 2 zones. Un DU doit être contenu dans le zonage administratif qu'il décrit.

Afin de faciliter l'alimentation du Géoportail de l'urbanisme, un standard CNIG a été élaboré. Les collectivités doivent s'y conformer. Celui-ci reprend les besoins métiers mais également les bonnes pratiques en matière d'information géographique.

Question 1 (3 points)

*En utilisant le formalisme de votre choix (Merise, UML, HBDS ou autre), proposez un schéma des données géographiques nécessaires à l'application exposée ci-dessus. Vous indiquerez les principales classes d'objets et relations qui existent entre elles, leurs principaux attributs et leur forme géométrique (ponctuelle, linéaire ou surfacique). Vous préciserez si besoin les hypothèses que vous prenez sur la structure des données existantes.*

Question 2 (5 points)

*a/ Comment contrôler que la topologie est exacte ?*

*b/ Votre modèle permet-il d'identifier le fond de référence utilisé pour la numérisation ? Quelle méthode appliquer pour obtenir cette information dans le cas où le modèle ne contiendrait pas cette information ?*

*c/ Une collectivité a utilisé un référentiel qui n'est ni le PCI vecteur, ni la BD parcellaire pour numériser son PLU. Afin de respecter le standard CNIG il doit donc recalculer ses données. Quelles méthodes préconisez vous ?*

Question 3 (6 points)

*En vous appuyant sur la structure des données proposée à la question 1, veuillez détailler les requêtes permettant de répondre aux questions suivantes (les requêtes pourront être décrites soit littéralement soit à l'aide d'un langage de requête de votre choix, à votre convenance) :*

*a/ quelle surface de zone naturelle et forestière est accessible ? la notion d'accessibilité est calculée sur le principe d'être éloignée de moins de 300m d'une voie carrossable. Si des données complémentaires sont nécessaires merci de l'indiquer dans l'hypothèse et d'en mentionner les limites.*

*b/ quelle est la commune française possédant l'urbanisation la plus importante et celle qui pourrait le devenir ?*

*c/ quelle est la surface constructible en zone à urbaniser de la commune de Limoges, sachant que le potentiel de constructibilité d'une parcelle est de 80% ?*

Question 4 (3 points)

*La conformité au standard CNIG imposée aux collectivités est une étape importante pour la base de données mais pose des difficultés auprès des collectivités. Dans cet exercice, on considère que la standardisation proposée à la question 1 est le Standard imposé aux collectivités. Quels outils peut-on imaginer afin de leur permettre de répondre aux obligations ?*

*Veillez proposer des solutions techniques permettant de répondre à ce besoin. Vous détaillerez notamment les moyens matériels et humains à mettre en œuvre.*

Question 5 (3 points)

*Les données d'urbanisme sont parfois stockées dans des bases de données déjà existantes et mis à disposition via des plateformes géographiques qui peuvent être nationales ou régionales. Quelles méthodes pouvez-vous préconiser pour faciliter l'alimentation du GPU ? Cela implique-t'il de modifier la base de données ?*

+--+--+--+--+--+--+--+

## Sujet n°2 (exercice de mathématique)

Il s'agit de la partie mathématique de l'analyse préalable au développement d'un prototype de logiciel destiné à recalculer, par moindres carrés, des blocs de plans vectorisés.

### L'ajustement de blocs de plans cadastraux

L'idée est d'estimer les transformations de chaque plan minimisant les écarts entre points homologues au cours d'une compensation globale par bloc et en s'approchant au mieux du terrain.

Pour cela, on utilisera deux types de mesures :

- Mesures de points homologues entre les plans du bloc (n'ayant pas nécessairement de réalité terrain) : ce seront nos points de liaison ;
- Mesures de points particuliers du terrain identifiés sur le plan et dont les coordonnées terrain sont connues : ce seront nos points d'appui.

Plusieurs modèles de transformations sont envisagés (homographie, similitude, affinité...). Un objectif du prototype sera de tester ces différentes transformations. On travaillera dans le plan (on ne s'intéresse pas à la 3<sup>ème</sup> dimension).

### Fonctionnalités du prototype :

#### Estimation de modèles

L'outil doit permettre de tester plusieurs modèles de transformation de plans. Le type de modèle à estimer sera paramétré par l'utilisateur.

D'autre part, la compensation est un processus itératif et interactif.

L'utilisateur doit pouvoir lancer une ou plusieurs itérations en changeant éventuellement tout ou partie des paramètres. Pour cela, il doit disposer à l'issue de l'itération de l'ensemble des informations nécessaires au paramétrage avisé des itérations suivantes.

#### Modèle de données :

Un **bloc de plans** est un ensemble de **plans** possédant des **points** en commun.

A chaque plan est associée une **transformation** que l'on cherche à estimer. Celle-ci pourra être de plusieurs types.

Les **observations** réalisées sont de deux types : **mesures** dans un plan, ou **appui**. Les observations possédant des caractéristiques communes (précision de mesure notamment, source) pourront être rassemblées au sein d'un **groupe d'observations**.

Les **inconnues** de notre système sont ainsi des transformations.

#### Equations

Par la suite, on adopte les notations suivantes :

$f_i()$  note la transformation recherchée pour le plan  $i$ .

$M(x_i, y_i)$  note les coordonnées de la mesure  $M$  réalisée dans le plan  $i$

#### Equations de liaison

Il s'agit des équations liant les points homologues, mesurés entre plusieurs plans.

Un point  $M$  mesuré sur les plans  $i$  et  $j$  respectivement aux coordonnées  $M_i(x_i, y_i)$  et  $M_j(x_j, y_j)$  donnera l'équation :

$$f_i(M_i) = f_j(M_j)$$

Soit :  $f_i(x_i, y_i) = f_j(x_j, y_j)$  ce qui donne une équation en  $x$  et une équation en  $y$  pour chaque point.

On dit qu'un point est de multiplicité  $n$  s'il apparaît sur  $n$  plans différents.

**Question 1 :** Quel est le nombre d'équations de liaison générées en fonction de la multiplicité ?

### Equations d'appui

Il s'agit des équations liant les points au terrain.

Un point d'appui  $M(x_{\text{terrain}}, y_{\text{terrain}})$  mesuré sur le plan  $i$  aux coordonnées  $M_i(x_i, y_i)$  interviendra dans l'équation :

$$f_i(M_i) = M$$

Soit :  $f_i(x_i, y_i) = (x_{\text{terrain}}, y_{\text{terrain}})$

Chaque point d'appui génère ainsi 2 équations d'appui.

### Transformations de plans : modèles à estimer

#### Cas de la similitude 2D :

Une similitude est une transformation composant une homothétie et une rotation. On pose ainsi l'équation d'une similitude de la manière suivante  $X' = kRX + B$  :

Les inconnues de la transformation sont au nombre de 4 par plan :  $a, b, c, d$ .

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b \\ -b & a \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} c \\ d \end{pmatrix},$$

**Question 2 :** Vous exprimerez les valeurs de translation, l'angle de la rotation et l'échelle de la similitude en fonction des coefficients  $a, b, c, d$ .

Equations de liaison

$$\begin{cases} f_{\text{Plan}_i}(x_i, y_i) = f_{\text{Plan}_j}(x_j, y_j) \\ a_i x_i + b_i y_i + c_i = a_j x_j + b_j y_j + c_j \\ a_i y_i - b_i x_i + d_i = a_j y_j - b_j x_j + d_j \\ a_i x_i + b_i y_i + c_i - a_j x_j - b_j y_j - c_j = 0 \\ a_i y_i - b_i x_i + d_i - a_j y_j + b_j x_j - d_j = 0 \end{cases}$$

Equations d'appui

$$\begin{cases} f_{\text{Plan}_i}(x_i, y_i) = (x_{\text{terrain}}, y_{\text{terrain}}) \\ a_i x_i + b_i y_i + c_i = x_{\text{terrain}} \\ a_i y_i - b_i x_i + d_i = y_{\text{terrain}} \end{cases}$$

Pose des équations

La résolution du système devra fournir la valeur des inconnues sous forme d'un vecteur. Vous donnerez la taille de ce vecteur d'inconnues en fonction du nombre de plans.

**Question 3 :** Vous proposerez en justifiant votre choix une valeur approchée pour initialiser le système

Combien d'itérations seront nécessaires pour obtenir la convergence ?

Quel est l'intérêt d'avoir un système itératif ?

#### Cas de l'homographie :

Une homographie est une transformation linéaire d'un espace projectif dans un autre, représentée par une matrice quelconque opérant sur les coordonnées homogènes. Les inconnues de la transformation sont au nombre de 8 par plan :  $a, b, c, d, e, f, g, h$

$$\begin{cases} x' = \frac{x * (1 + a) + y * b + c}{1 + g * x + h * y} \\ y' = \frac{x * d + y * (1 + e) + f}{1 + g * x + h * y} \end{cases}$$

Equations de liaison

$$f_{Plan_i}(x_i, y_i) = f_{Plan_j}(x_j, y_j)$$

Un point M, commun au plan i et au plan j va ainsi fournir deux équations non linéaires.  
Une équation de liaison en x et une équation de liaison en y.

$$\begin{cases} \frac{x_i * (1 + a_i) + y_i * b_i + c_i}{1 + g_i * x_i + h_i * y_i} - \frac{x_j * (1 + a_j) + y_j * b_j + c_j}{1 + g_j * x_j + h_j * y_j} = 0 \\ \frac{x_i * d_i + y_i * (1 + e_i) + f_i}{1 + g_i * x_i + h_i * y_i} - \frac{x_j * d_j + y_j * (1 + e_j) + f_j}{1 + g_j * x_j + h_j * y_j} = 0 \end{cases}$$

Equations d'appui

$$\begin{aligned} f_{Plan_i}(x_i, y_i) &= (x_{terrain}, y_{terrain}) \\ \begin{cases} \frac{x_i * (1 + a_i) + y_i * b_i + c_i}{1 + g_i * x_i + h_i * y_i} - x_{terrain} = 0 \\ \frac{x_i * d_i + y_i * (1 + e_i) + f_i}{1 + g_i * x_i + h_i * y_i} - y_{terrain} = 0 \end{cases} \end{aligned}$$

Un point du terrain M, mesuré sur le plan i va ainsi fournir deux équations non linéaires.  
Une équation d'appui en x et une équation d'appui en y.  
Le nombre de points mesurés va conduire à l'écriture d'un système redondant.

**Question 4 :** Quelle technique proposez-vous pour espérer obtenir un résultat qualifié ?  
Vous indiquerez, en le justifiant d'un point de vue mathématique, pourquoi la connaissance d'une solution approchée est incontournable.

**Question 5 :** On note  $(a_{i0}, b_{i0}, c_{i0}, d_{i0}, e_{i0}, f_{i0}, g_{i0}, h_{i0})$  la solution approchée.  
Après avoir calculé les différentes dérivées partielles nécessaires à l'écriture de l'équation d'appui en x, vous explicitez l'équation d'appui linéarisée.

**Question 6 :** Quelle méthode conseillez-vous pour calculer une solution approchée ?