Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV®.

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour consulter tous nos sujets d'annales et corrigés du BTS TP, veuillez visiter :
btstp.fr/annales-sujets-et-corriges

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR
TRAVAUX PUBLICS

E3 – U3.2

Sciences physiques appliquées

SESSION 2019

_____

Durée : 2 heures

Coefficient : 2

_____

Matériel autorisé :

- L'usage de tout modèle de calculatrice, avec ou sans mode examen, est autorisé.
- Tout autre matériel est interdit.

La clarté des raisonnements et la qualité de la rédaction interviendront dans l'appréciation des copies.

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Le sujet se compose de 10 pages, numérotées de 1/10 à 10/10.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Le barrage hydroélectrique de Sarrans (département de l'Aveyron)


Photo EDF

De type « poids », le barrage de Sarrans est implanté à 70 km de la ville de Rodez sur les communes de Brommat et de Sainte-Geneviève-sur-Argence en Aveyron et sur le Cantal. La retenue d'eau est la 8ème plus importante de France. Avec 183 MW de puissance installée, le site hydroélectrique de Sarrans produit chaque année l'équivalent de la consommation résidentielle annuelle de 112 000 habitants. (*Source EDF*)

La centrale hydroélectrique de Sarrans fournit une énergie propre et renouvelable. Elle s'intègre dans un environnement préservé.

La construction en béton de cet édifice a débuté en 1929 et sa mise en service a eu lieu en 1934.

En 2014, EDF a procédé à l'examen technique complet du barrage hydroélectrique de Sarrans par vidange totale.

Le sujet porte sur l'étude de la statique et de la dynamique de l'eau du barrage, puis sur la surveillance de l'édifice par une technique acoustique. Une étude du béton ayant servi à la construction du barrage clôture le sujet.

Ces 3 parties sont indépendantes et peuvent être traitées dans n'importe quel ordre.

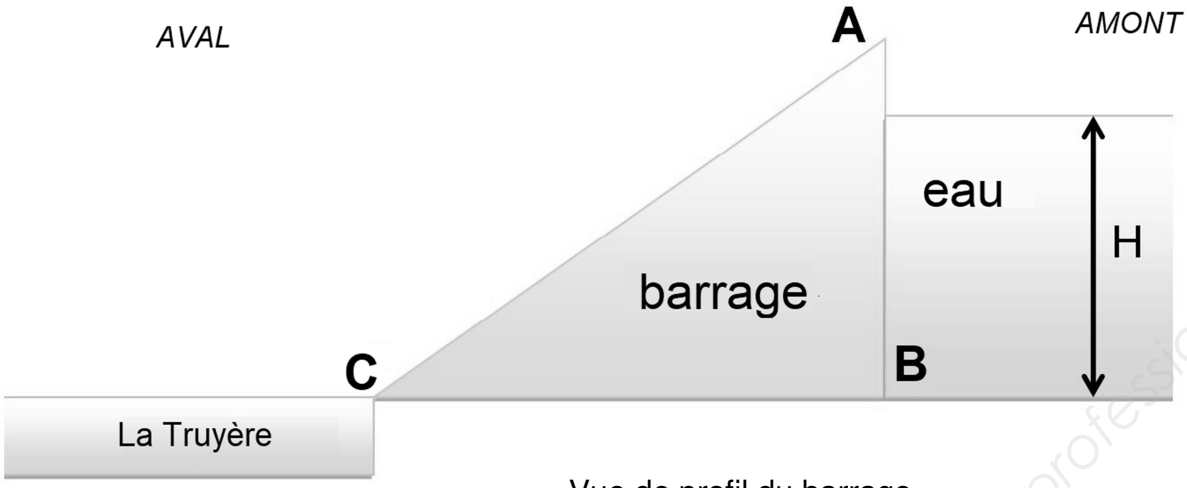
4 annexes apportent des éléments d'informations pour la résolution des questions du sujet.

Les résultats des calculs seront donnés avec un nombre de chiffres significatifs cohérent.

Partie 1 : Étude de la statique et de la dynamique de l'eau du barrage **(7,5 points)**
Partie 2 : La surveillance du barrage **(6,5 points)**
Partie 3 : Le béton de construction barrage **(6 points)**

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Partie 1 : Étude de la statique et de la dynamique de l'eau du barrage



Vue de profil du barrage

Données :

- ***Hauteur du barrage*** *(depuis le lit de la rivière) :* ***AB*** *= 105 m*
- ***Longueur du barrage*** *:* ***L*** *= 225 m*
- ***Épaisseur du barrage*** *:* ***BC*** *= 75 m*
- ***Profondeur de l'eau au pied du barrage*** *:* ***H*** *= 95,0 m*
- ***Masses volumiques*** *:* $\rho_{eau} = 1000\ kg.m^{-3}$ *et* $\rho_{béton} = 4000\ kg.m^{-3}$
- ***Intensité de la pesanteur :*** $9,81\ N.kg^{-1}$

Pour répondre aux questions 1.1 à 1.4, se rapporter à l'annexe 1.

1.1 Exprimer, puis calculer la pression relative de l'eau à la base du barrage (point B).

1.2 Montrer que la valeur de la force pressante, notée ***F***, exercée par l'eau sur la paroi verticale du barrage est d'environ $1x10^{10}$ N.

1.3 Indiquer les caractéristiques de cette force pressante (sens, direction et point d'application).

1.4 Pour assurer une grande stabilité à l'ouvrage, l'épaisseur du barrage est environ 3,5 fois supérieure à l'épaisseur minimale, notée BC_{min}, nécessaire à la stabilité. Vérifier que le barrage respecte cette condition de stabilité.

*L'étude qui suit porte sur la dynamique de l'eau du barrage dans l'un des « 3 groupes » identiques du barrage, installés dès l'origine de sa construction (****voir annexe 2****). L'eau est ici considérée comme un fluide parfait et incompressible, qui s'écoule en régime permanent.*

1.5 Calculer le débit volumique de l'eau, noté D_v, à la sortie d'une de ces turbines.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

1.6 Montrer que dans une canalisation, la vitesse moyenne d'écoulement de l'eau, notée v_{eau}, est proche de 7 $m.s^{-1}$.

1.7 En appliquant la relation de Bernoulli, calculer la puissance utile d'une turbine. **Aide** : l'eau s'écoulant de la retenue (en amont) vers La Truyère (en aval), on considère pour cette question comme point d'entrée (E), un point à la surface de l'eau de la retenue, et comme point de sortie (S), un point à la surface de l'eau de la Truyère, en sortie de canalisation (v_S non nul). L'origine des altitudes sera un point à la surface de la Truyère.

1.8 Citer une des causes expliquant que la puissance utile de la turbine calculée précédemment (1.7) soit supérieure à la puissance annoncée pour chacune des trois turbines en **annexe 2.**

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Partie 2 : La surveillance du barrage

Comme tous les barrages, celui de Sarrans fait l'objet d'une surveillance régulière pour détecter, entre autres, le vieillissement du béton. Parmi les nombreuses méthodes d'évaluation non destructives, les ondes ultrasonores peuvent être utilisées ; le principe de cette méthode est détaillé en ***annexe 3****.*

Le béton utilisé pour la construction du barrage est considéré comme un matériau homogène, isotrope et de ***bonne qualité****.*

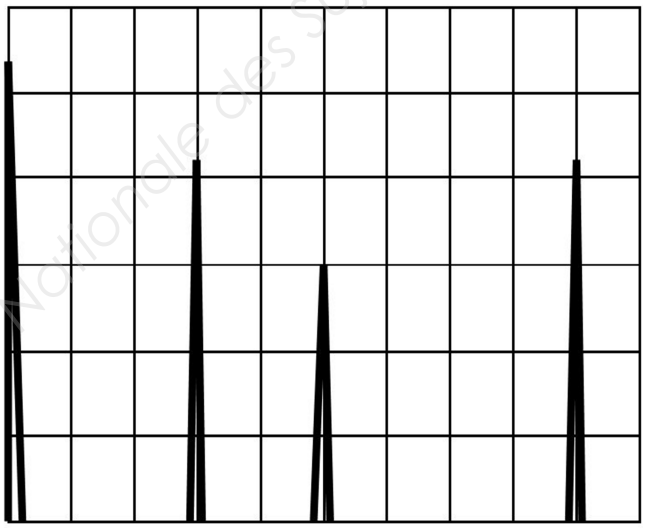
Données :

Matériau	***Vitesse du son (en m.s^{-1})***					
Air	*340*					
Eau (0°C à 20°C)	*1500*					
Béton (qualité)	*≥ 4500 (excellente)*	*4000 (bonne)*	*3500 (assez bonne)*	*3000 (moyenne)*	*2000 (médiocre)*	*< 2000 (mauvaise)*

2.1 Sans tenir compte des différences de célérité, rappeler la différence majeure entre une onde électromagnétique et une onde sonore.

2.2 Les sons audibles par l'Homme ont une fréquence comprise entre $2x10^1$ Hz et $2x10^4$ Hz. Les ondes ultrasonores utilisées pour le contrôle du béton ont une période de 0,2 millionième de seconde. Justifier que les ultrasons ne sont pas audibles par les techniciens en charge du contrôle du béton.

Lors du contrôle d'une zone du béton du barrage, l'échogramme ci-après a été obtenu avec une sensibilité horizontale de 0,55 ms/div :



2.3 Déterminer l'épaisseur de la zone de béton étudiée.

2.4 Justifier la différence d'amplitude des deux pics extrêmes.

2.5 Combien de défaut(s) comporte le barrage dans la zone étudiée ? Justifier.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Partie 3 : Le béton du barrage

Matériau composite, le béton est un mélange de ciment, de granulats et d'eau. Entre également dans la composition du béton des barrages des armatures en acier, des plastifiants comme la chaux (pour le rendre moins perméable), des pouzzolanes (pour accroître étanchéité et compacité de l'ouvrage) et divers adjuvants.

Le ciment est le liant hydraulique qui assure, par hydratation, la cohésion des granulats. Il est essentiellement constitué de chaux vive (CaO), de silice (SiO_2), d'alumine (Al_2O_3) et en bien moindre quantité de l'oxyde de fer (Fe_2O_3).

Données :

- ***Masse molaire atomique du calcium*** *: 40 g.mol^{-1}*

3.1 L'hydratation du ciment est exothermique. Définir ce qualificatif.

3.2 Écrire l'équation d'hydratation de la chaux vive (appelée aussi réaction *d'extinction*) qui conduit à la formation d'hydroxyde de calcium.

*On considère **un ciment de bonne qualité** s'il contient un pourcentage massique de calcium supérieur à 30 %. Pour vérifier si cette proportion est respectée dans le ciment ayant servi à la construction du barrage, on effectue un titrage complexométrique des ions calcium présents dans une solution de ciment réalisée à partir d'un échantillon de ciment du barrage. Les détails de la fabrication de la solution de ciment ainsi que la méthodologie de titrage et les mesures réalisées sont présentés en **annexe 4**.*

3.3 Vérifier que la concentration molaire en ion calcium dans la solution de ciment est de 8,0x10^{-3} mol.L^{-1}.

3.4 Déduire de la question précédente (3.3) la masse d'ions calcium dans la solution de ciment.

3.5 Le ciment utilisé à la construction du barrage est-il de bonne qualité ? Justifier.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Annexe 1 : Quelques rappels

• **La masse d'un corps (en kg)** correspond au produit de la **masse volumique** de ce corps (en $kg.m^{-3}$) avec son **volume** (en m^3).

• La **valeur du poids (en N)** d'un corps est le produit de la **masse (en kg)** de celui-ci avec l'intensité de pesanteur (en $N.kg^{-1}$).

• **La valeur** de la force pressante exercée par un fluide sur une paroi plane verticale est égale au produit de la surface de cette paroi par la valeur de pression relative du fluide à **mi-profondeur** de la paroi (soit à H/2).

• En ne prenant en compte que l'action de l'eau sur la paroi interne du barrage, l'épaisseur minimale du barrage (BC_{min}) correspond à l'égalité des valeurs du poids du béton (P) et de la force pressante(F) exercée par l'eau sur sa paroi verticale. Il y a stabilité du barrage si $P \geq F$.

• Aire d'un triangle : (base x hauteur) / 2

• Aire d'un disque : π x $rayon^2$

• En écoulement permanent, le **débit volumique moyen** dans une canalisation (en $m^3.s^{-1}$) est le produit de la section droite de la canalisation (en m^2) avec la vitesse moyenne du fluide à travers cette section ($m.s^{-1}$).

• Pour deux points, E (point d'entrée) et S (point de sortie), situé sur une même ligne d'écoulement d'un fluide supposé parfait, incompressible et en écoulement permanent, la conservation de l'énergie se traduit par la relation de Bernoulli :

$$\mathbf{P_S + \rho g z_S + 1/2\ \rho v_S^2 = P_E + \rho g z_E + 1/2\ \rho v_E^2 + (P_u / Dv),}$$

avec

P_E et P_S, les pressions du fluide en E et S (en Pa)

v_E et v_S les vitesses moyennes du fluide en E et S (en $m.s^{-1}$)

z_E et z_S les altitudes des points E et S (en m)

Dv, le débit volumique moyen (en $m^3.s^{-1}$)

ρ, la masse volumique du fluide (en $kg.m^{-3}$)

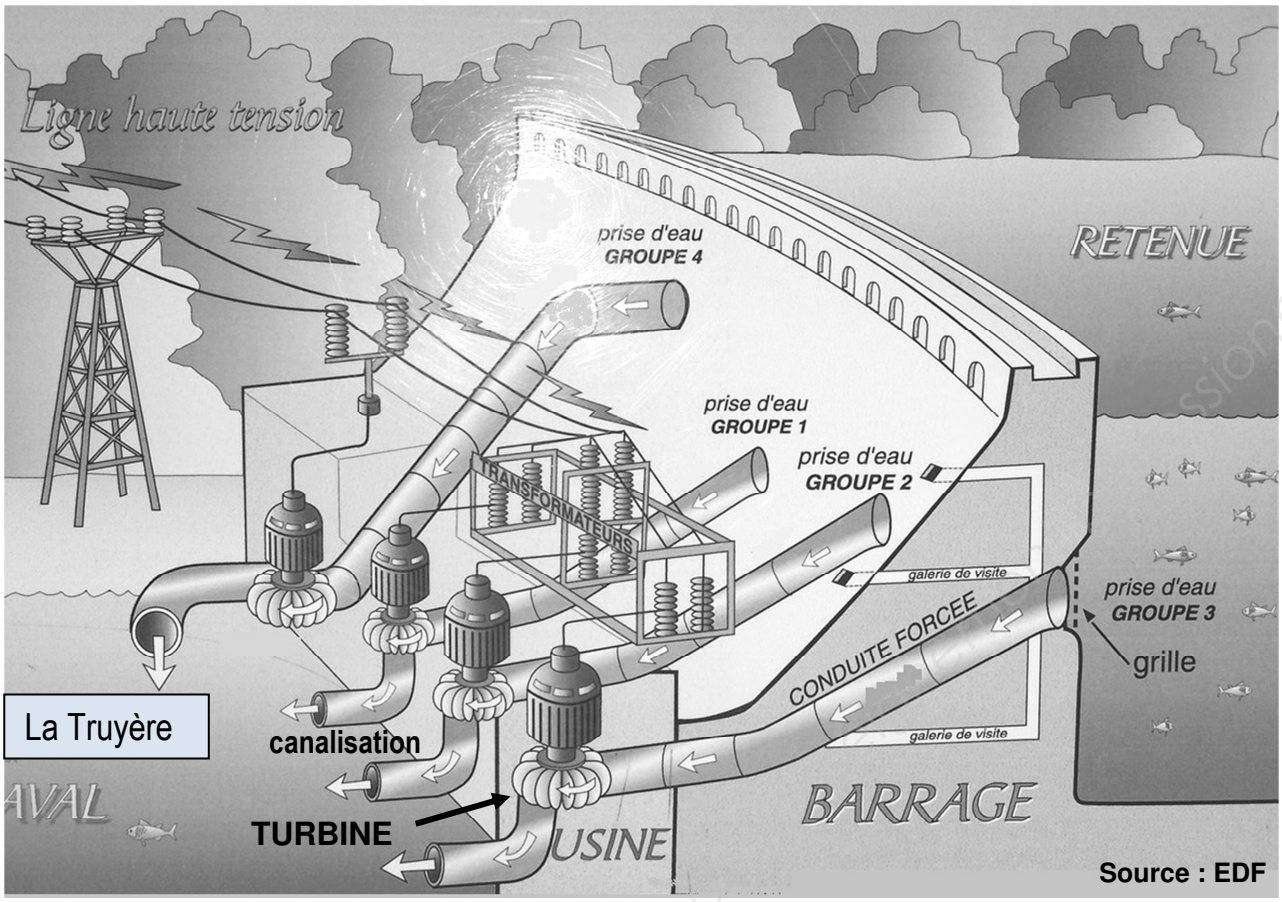
g, accélération de pesanteur (en $m.s^{-2}$)

P_u : puissance échangée par l'extérieur avec le fluide entre E et S (en W). On rappelle que pour une turbine, $Pu < 0$ car le fluide fournit la puissance à la turbine.

Conversions : 1 MW = 10^6 W ; 1 mL = 10^{-3} L

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Annexe 2 : Éléments descriptifs du barrage de Sarrans



Comment ça marche ?

L'usine comprend 4 turbines : 3 sont identiques, avec pour chacune, une puissance de 40 MW, la dernière (groupe 4 du dessin), installée en 1984, amène la puissance totale de l'usine à 183 MW.

Dans chaque groupe, l'eau retenue derrière le barrage est amenée sous pression vers l'usine, via une conduite forcée, sur une turbine qu'elle met en rotation.

Un axe vertical relie la turbine à son alternateur qui, en tournant, transforme l'énergie mécanique de l'eau en mouvement en énergie électrique.

L'électricité ainsi produite est évacuée sur le réseau par le transformateur, via une ligne de 225 000 volts.

À la sortie de la turbine, l'eau rejoint la Truyère par une canalisation du même diamètre que la conduite forcée.

3 mètres est le diamètre moyen des conduites forcées et canalisations des trois premiers groupes, installés à l'origine.

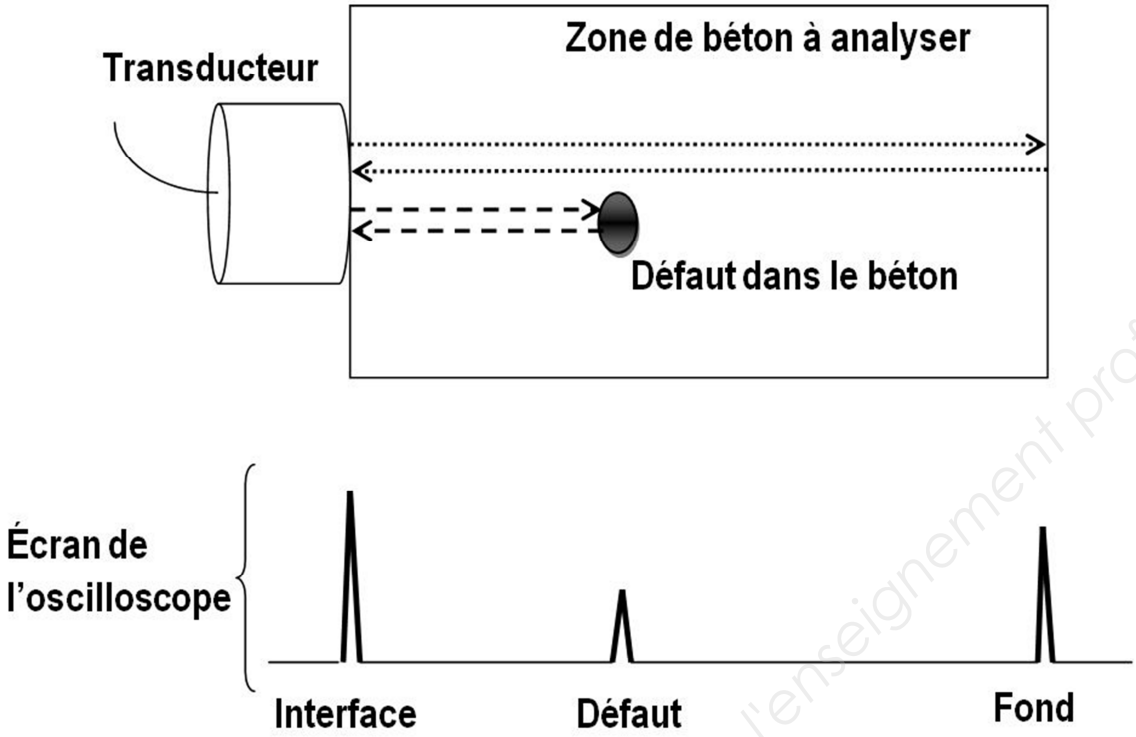
Pour chacune des turbines de ces 3 premiers groupes, le débit massique moyen en eau est de : $D_m = 5{,}0 \times 10^4$ kg.s^{-1}.

Le débit volumique total « turbiné » est de 236 m^3.s^{-1}, dont 86 m^3.s^{-1} pour la dernière turbine installée.

Source EDF

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Annexe 3 : Méthode d'évaluation non destructive du béton par ultrasons



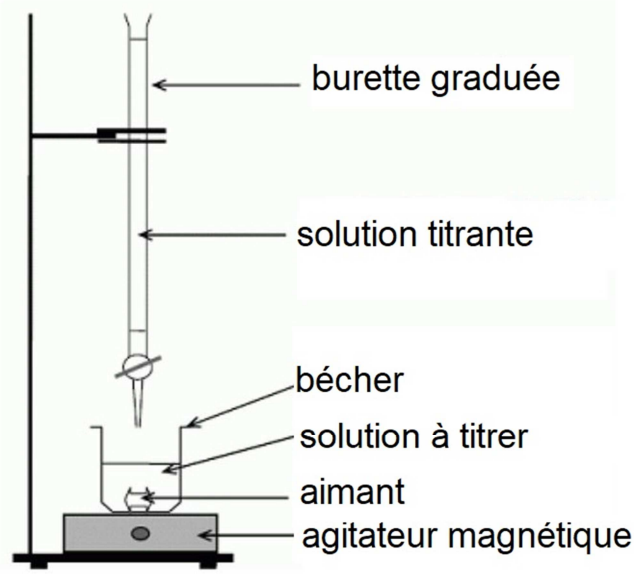
Le contrôle par ultrasons est basé sur la transmission et la réflexion d'ondes de type ultrasons à l'intérieur d'un matériau.

Un transducteur sert d'émetteur et de récepteur d'ondes ultrasonores. Il est placé à la surface du béton à analyser. Lorsque les ultrasons émis rencontrent un défaut, ils sont réfléchis et captés par le transducteur ; un « écho » apparait sous la forme d'un pic à l'écran de l'oscilloscope relié au transducteur.

L'épaisseur du matériau se déduit du temps qui sépare le pic d'émission (interface) et le pic de fond. Les durées mesurées sur l'échogramme correspondent à **un « aller-retour » de l'onde ultrasonore entre l'émetteur et le défaut.** La position de l'écho du défaut par rapport au pic d'émission est proportionnelle à la profondeur du défaut dans le béton. L'amplitude du pic de défaut donne une indication sur la taille du défaut.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Annexe 4 : Méthodologie du titrage complexométrique des ions calcium présent dans un ciment



a) Préparation de la solution à titrer

La solution à titrer est celle qui contient les ions calcium, Ca^{2+} : il s'agit de la solution de ciment.

Pour réaliser cette solution de ciment, 1,0 g de ciment a été dissous dans de l'acide chlorhydrique. La solution obtenue a été filtrée afin de retirer la silice (solide blanc). Au filtrat a été ajoutée de l'eau distillée dans une fiole jaugée de 1,0L.

b) Protocole du titrage des ions calcium contenus dans la solution initiale de ciment.

- 20 mL de solution de ciment (solution à titrer) ont été prélevés à l'aide d'une pipette graduée et placés dans un bécher, contenant un aimant, l'ensemble reposant sur un agitateur magnétique.
- Quelques gouttes de solution tampon et d'indicateur coloré ont été rajoutées dans le bécher.
- Tout en agitant la solution à titrer, la solution titrante (solution d'EDTA), dont la concentration est de $1{,}0 \times 10^{-2}$ mol.L^{-1}, a été versée goutte à goutte jusqu'à l'apparition d'une teinte bleue clair dans le bécher, signalant que l'équivalence est atteinte.
- Le volume de solution titrante versé est de 16,0 mL.

c) Équation de la réaction, support du titrage

$$Ca^{2+} + Y^{4-} \rightarrow CaY^{2-}$$

La solution d'EDTA apporte des ions complexe, noté Y^{4-}, formant avec les cations Ca^{2+} des composés stables, notés CaY^{2-}.

À l'équivalence, les réactifs ont réagi totalement dans les conditions stœchiométriques. Donc,

$$\mathbf{n_{ions\ calcium} / 1 = n_{ions\ complexe} / 1}$$

avec $n_{ions\ calcium}$ et $n_{ions\ complexe}$, respectivement, quantité d'ions calcium initialement présente et quantité d'ions complexe ajoutée à l'équivalence.

Rappels : la concentration molaire d'une espèce chimique, notée *C*, dans un volume *V* de solution, est égale au rapport de la quantité de matière de l'espèce chimique (exprimée en mole), noté *n*, sur le volume de la solution. Ainsi, $C = n / V$, donc $n = C \times V$

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Copyright © 2026 FormaV. Tous droits réservés.

Ce document a été élaboré par FormaV© avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV©, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV© se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.