

R A P P O R T

S U R

LES EXPÉRIENCES DU CITOYEN VOLTA,

Par le citoyen BIOT,

Au nom d'une commission composée des citoyens LAPLACE,
COULOMB, HALLÉ, MONGE, FOURCROY, VAUQUELIN, PELLETAN,
CHARLES, BRISSON, SABATIER, GUYTON et BIOT.

Lu le 11 frimaire an 10.

LES premiers phénomènes galvaniques consistoient dans des contractions musculaires excitées par le contact d'un arc métallique. Galvani et plusieurs autres physiiciens les regardèrent d'abord comme produites par une électricité particulière et inhérente aux parties animales. Le citoyen Volta annonça le premier que l'arc animal introduit dans ces expériences ne servoit qu'à recevoir et à manifester l'influence; mais très-peu, ou point du tout, à la produire. L'irritation musculaire, que l'on avoit cru d'abord la partie importante du phénomène, ne fut plus, selon lui, qu'un effet de l'action électrique, produite par le contact mutuel des métaux dont l'arc exciteur étoit formé. Cette opinion, qui trouva des

partisans et des contradicteurs, fit multiplier les expériences propres à l'appuyer et à la combattre ; et il arriva ce qui arrive toujours dans l'enfance des découvertes : on vit paroître avec les faits une foule d'anomalies singulières qui rendoient leurs liaisons plus difficiles, et qui même étoient alors absolument inexplicables, parce qu'elles étoient dues à des circonstances très-déliçates, dont l'influence n'étoit pas encore bien connue.

Tel étoit l'état de cette branche de la physique lorsque la commission vous fit son premier rapport : son but avoit été de déterminer avec exactitude les conditions propres à développer et à modifier les effets galvaniques ; elle n'essaya point de les expliquer, et se borna à les présenter dans l'ordre qui lui parut le plus convenable. Nous ne connoissons point, à cette époque, les recherches par lesquelles le citoyen Volta, en suivant la route qu'il s'étoit frayée, a cherché à rattacher à sa première découverte tous les phénomènes que le galvanisme présente. Il en a fait connoître depuis beaucoup d'autres également importans, qu'il a liés par une théorie extrêmement ingénieuse ; et s'il reste encore quelque chose à faire pour déterminer avec exactitude les lois de cette action singulière, et les soumettre à un calcul rigoureux, du moins les faits principaux qui doivent lui servir de base paroissent invariablement fixés.

* Votre commission se propose aujourd'hui de vous rendre compte de ces expériences fondamentales, et de la manière dont le citoyen Volta les a fait servir à l'établissement de sa théorie. Elle doit beaucoup de remer-

ciemens à ce savant pour la complaisance qu'il a eue de les répéter plusieurs fois devant les commissaires, qui en ont ainsi constaté par eux-mêmes la vérité et l'exactitude.

Le fait principal, celui dont tous les autres dérivent, est le suivant :

Si deux métaux différens, isolés, et n'ayant que leur quantité d'électricité naturelle, sont mis en contact, on les retire du contact dans des états électriques différens; l'un est positif, et l'autre est négatif.

Cette différence, très-petite à chaque contact, étant successivement accumulée dans un condensateur électrique, devient assez forte pour faire écarter très-sensiblement l'électromètre. L'action ne s'exerce point à distance, mais seulement au contact des différens métaux: elle subsiste aussi long-temps que le contact dure; mais son intensité n'est pas la même pour tous.

Il nous suffira de prendre pour exemple le cuivre et le zinc. Dans leur contact mutuel, c'est le cuivre qui devient négatif, et le zinc devient positif.

Après avoir prouvé le développement de l'électricité métallique, indépendamment de tout conducteur humide, le citoyen Volta introduit ces conducteurs.

Si l'on forme une lame métallique avec deux morceaux, l'un de zinc, l'autre de cuivre, soudés bout à bout, que l'on prenne entre les doigts l'extrémité de la lame, qui est de zinc, et que l'on touche avec l'autre extrémité, qui est de cuivre, le plateau supérieur du condensateur, qui est aussi de cuivre, celui-ci se charge

négativement. Cela est évident d'après l'expérience précédente.

Si, au contraire, on tient entre les doigts l'extrémité cuivre, et que l'on touche avec l'autre extrémité, qui est zinc, le plateau supérieur du condensateur, qui est de cuivre; lorsqu'on détruit le contact et qu'on enlève le plateau supérieur, il n'a point acquis d'électricité, quoique le plateau inférieur communique avec le réservoir commun.

Mais si on place entre le plateau supérieur et l'extrémité zinc un papier imbibé d'eau pure, ou tout autre conducteur humide, le condensateur se charge d'électricité positive. Il se charge encore, mais négativement, lorsque l'on touche avec l'extrémité cuivre le plateau recouvert par le conducteur humide, en tenant entre les doigts l'extrémité zinc. Ces faits sont incontestables; ils ont été vérifiés par la commission.

Voici comment le citoyen Volta les explique et les rapporte au précédent.

Les métaux, dit-il, et probablement tous les corps de la nature exercent, comme on vient de le voir, une action réciproque sur leurs électricités respectives au moment du contact. Lorsque l'on tient la lame métallique par son extrémité cuivre, une partie de son fluide électrique passe dans la lame opposée, qui est de zinc; mais si ce zinc est en contact immédiat avec le condensateur, qui est aussi de cuivre, celui-ci tend à se décharger de son fluide avec une force égale, et le zinc ne peut rien lui transmettre; il doit donc se trouver, après le

contact, dans l'état naturel. Si, au contraire, on place un papier mouillé entre le zinc de la lame et le plateau de cuivre du condensateur, la propriété motrice de l'électricité, qui ne subsiste qu'au contact, est détruite entre ces métaux; l'eau, qui paroît jouir à un degré très-foible de cette propriété par rapport aux substances métalliques, n'arrête que très-peu la transmission du fluide du zinc au condensateur, et celui-ci peut se charger positivement.

Enfin, lorsque l'on touche le condensateur avec l'extrémité de la lame qui est cuivre, le papier humide interposé, et dont l'action propre est très-foible, n'empêche pas le plateau métallique de faire passer une partie de son électricité positive dans la lame de zinc: alors, en détruisant le contact, le condensateur se trouve chargé négativement.

Il est facile d'après cette théorie, d'expliquer la pile du citoyen Volta. Pour le faire avec plus de simplicité, supposons qu'on la forme sur un isoloir, et représentons par l'unité l'excès d'électricité que doit avoir une pièce de zinc sur une pièce de cuivre qu'elle touche immédiatement (1).

Si la pile n'est composée que de deux pièces, l'une

(1) Les quantités d'électricité accumulées dans un corps au-delà de son état naturel sont, toutes choses égales d'ailleurs, proportionnelles à la force répulsive avec laquelle les molécules du fluide tendent à s'écarter les unes des autres, ou à repousser une nouvelle molécule qu'on essaieroit de leur ajouter. Cette force répulsive, qui dans les corps libres est balancée par la résistance de l'air, constitue ce que nous nommerons la *tension* du fluide;



inférieure de cuivre, l'autre supérieure de zinc, l'état électrique de la première sera représenté par $-\frac{1}{3}$, et celui de la seconde par $+\frac{1}{3}$.

Si l'on ajoute une troisième pièce qui doit être de cuivre, il faudra, pour qu'il se fasse un déplacement de fluide, la séparer, par un carton mouillé, de la pièce de zinc inférieure; alors elle devra acquérir le même état électrique que cette dernière, du moins en négligeant l'action propre de l'eau qui paroît fort petite, et peut-être encore la très-foible résistance que ce liquide, comme conducteur imparfait de l'électricité, peut opposer à la communication. L'appareil étant isolé, l'excès de la pièce supérieure ne peut s'acquérir qu'aux dépens de la pièce de cuivre qui est au-dessous : alors les états respectifs de ces pièces ne seront plus les mêmes que dans l'expérience précédente, et deviendront :

Pour la pièce inférieure, qui est de cuivre $-\frac{2}{3}$;

Pour la seconde, qui la touche et qui est de zinc, $-\frac{2}{3} + 1$ ou $\frac{1}{3}$.

La troisième qui est de cuivre, et qui est séparée de la précédente par un carton mouillé, aura la même quantité d'électricité, c'est-à-dire $+\frac{1}{3}$; et la somme des quantités d'électricité perdue par la première pièce, et acquise par les deux autres, sera encore égale à zéro, comme dans le cas de deux pièces.

tension qui n'est point proportionnelle à l'écart des pailles dans l'électromètre de Volta, ni des boules dans celui de Saussure, et qui ne peut être exactement mesurée que par le moyen de la balance électrique.



Si nous ajoutons une quatrième pièce, qui sera de zinc, elle devra avoir une unité de plus que celle de cuivre, à laquelle elle est immédiatement superposée : cet excès ne pouvant s'acquérir qu'aux dépens des pièces inférieures, puisque la pile est isolée, on aura :

Pour la pièce inférieure, qui est de cuivre — 1 ;

Pour la seconde pièce, qui la touche et qui est de zinc, 0, c'est-à-dire qu'elle sera dans l'état naturel ;

Pour la troisième pièce, qui est de cuivre, et qui est séparée de la précédente par un carton mouillé, 0 ; elle sera aussi dans l'état naturel.

Enfin, pour la pièce supérieure, qui est de zinc, et qui est en contact avec la précédente, + 1.

En poursuivant le même raisonnement on trouvera les états électriques de chaque pièce de la pile, en la supposant isolée et formée d'un nombre quelconque d'éléments ; les quantités d'électricité croîtront, pour chacun d'eux, de la base au sommet de la colonne, suivant une progression arithmétique, dont la somme sera égale à zéro.

Si, pour plus de simplicité, nous supposons que le nombre des éléments soit pair, il est facile de s'assurer par un calcul très-simple,

Que la pièce inférieure, qui est cuivre, et la pièce supérieure, qui est zinc, doivent être également électrisées, l'une en plus, l'autre en moins ; et il en sera de même pour les pièces prises à égale distance des extrémités de la pile.

Avant de passer du positif au négatif, l'électricité

deviendra nulle; et il y aura toujours deux pièces, l'une de zinc, l'autre de cuivre, qui seront dans l'état naturel. Elles se trouveront au milieu de la pile : c'est ce que l'on a vu, par exemple, dans le cas de quatre pièces (1).

Supposons maintenant que l'on établisse la communication entre la partie inférieure de la pile et le réservoir commun, il est évident qu'alors la pièce de cuivre inférieure, qui se trouve électrisée négativement, tendra à reprendre au sol ce qu'elle a perdu; mais son état électrique ne peut changer sans que celui des pièces supérieures varie, puisque la différence électrique des unes aux autres doit être toujours la même dans l'état d'équilibre. Il faudra donc que toutes les quantités négatives de la moitié inférieure de la pile soient neutralisées aux dépens du réservoir commun; et alors il arrivera,

Que la pièce inférieure, qui est cuivre, aura le degré d'électricité du sol, que nous représenterons par 0;

La seconde pièce, qui est zinc, et qui touche immédiatement la précédente, aura + 1;

La troisième, qui est cuivre, et qui est séparée du zinc inférieur par un carton mouillé, aura comme lui + 1;

La quatrième, qui est zinc, et qui touche la précédente, aura + 2;

Et les quantités d'électricité des divers élémens croîtront ainsi, en suivant une progression arithmétique.

(1) Voyez, à la fin de ce rapport, la note (A).

Alors, si l'on touche d'une main le sommet de la pile, et de l'autre sa base, ces excès d'électricité se déchargeront à travers les organes dans le réservoir commun, et exciteront une commotion d'autant plus sensible, que cette perte se réparant aux dépens du sol, il doit en résulter un courant électrique dont la rapidité plus grande dans l'intérieur de la pile que dans les organes, qui sont des conducteurs imparfaits, permet à la partie intérieure de la pile de reprendre un degré de tension qui s'approche de celui qu'elle avoit dans l'état d'équilibre (1).

La communication étant toujours établie avec le réservoir commun, si l'on met le sommet de la pile en contact avec le plateau supérieur d'un condensateur dont l'inférieur touche le sol, l'électricité qui se trouveoit à cette extrémité à un très-foible degré de tension, passera dans le condensateur, où la tension peut être regardée comme nulle; mais la pile n'étant pas isolée, cette perte se réparera aux dépens du réservoir commun: les nouvelles quantités d'électricité recouvrées par la plaque supérieure passeront dans le condensateur comme les précédentes, et elles s'y accumuleront enfin de manière qu'en séparant le plateau collecteur, on pourra en tirer des signes électrométriques très-sensibles, et jusqu'à des étincelles.

Quant à la limite de cette accumulation, il est visible qu'elle dépend de l'épaisseur de la petite couche de

(1) Voyez, à la fin de ce rapport, la note (B).

gomme qui sépare les deux plaques du condensateur : car, en vertu de cette épaisseur, l'électricité accumulée dans le plateau collecteur, ne pouvant agir qu'à distance sur celle du plateau inférieur, elle est toujours plus considérable que celle qui lui fait équilibre dans ce dernier ; et de-là résulte dans le plateau collecteur une petite tension qui a ici pour limite la tension existante à la partie supérieure de la pile.

De même que l'électricité de la colonne s'accumule dans le condensateur, elle s'accumulera dans l'intérieur d'une bouteille de Leyde, dont l'extérieur communiquera avec le réservoir commun ; et comme à mesure que la pile se décharge, elle se recharge aux dépens de ce même réservoir, la bouteille se chargera également, quelle que soit sa capacité ; mais sa tension intérieure ne pourra jamais excéder celle qui a lieu au sommet de la pile : si on retire alors la bouteille, elle donnera la commotion correspondante à ce degré de tension, et c'est ce que l'expérience confirme (1).

Les choses doivent se passer ainsi, en négligeant comme très-petite l'action propre de l'eau sur les métaux, et supposant :

1°. Que la transmission du fluide, se fait d'un couple à l'autre dans la pile isolée, à travers les morceaux de carton mouillé qui les séparent, même lorsqu'il n'existe aucune communication entre les deux extrémités de la colonne ;

(1) Voyez, à la fin de ce rapport, la note (C).

2°. Que l'excès d'électricité que le zinc prend au cuivre est constant pour ces deux métaux, soit qu'ils se trouvent dans l'état naturel ou non.

Le citoyen Volta appuie la première proposition par une expérience que nous avons déjà rapportée, et dans laquelle le condensateur se charge, lorsqu'on touche le plateau collecteur, recouvert d'un papier humide, avec l'extrémité cuivre, d'une lame métallique dont l'autre extrémité qui est zinc, est tenue entre les doigts.

Quant à la seconde supposition, elle est la plus simple que l'on puisse imaginer; mais il faudroit une suite d'expériences très-déliçates que nous n'avons pas eu l'occasion de faire, pour s'assurer jusqu'à quel point elle est conforme à la nature.

Jusqu'ici nous avons supposé, pour fixer les idées, que la pile étoit formée de cuivre et de zinc : la même théorie s'appliqueroit également à deux métaux quelconques; et les effets des différens appareils qu'ils serviroient à former dépendroient des différences d'électricité qui s'établissent entre eux au moment du contact.

Ce que nous venons de dire s'étend également à tous les autres corps entre lesquels il existera une action analogue : ainsi, quoique cette action paroisse en général très-foible entre les liquides et les substances métalliques, il en existe pourtant quelques-uns, tels que les sulfures alcalins, dont l'action avec les métaux devient très-sensible : aussi les Anglais sont-ils parvenus à remplacer par ces sulfures un des élémens métalliques

de la colonne, et, avant eux, M. Pfaff les avoit employés à cet usage dans ses expériences.

A cet égard, le citoyen Volta a découvert entre les substances métalliques une relation très-remarquable, qui rend impossible la construction d'une pile avec ces seules substances. Nous allons l'exposer d'après lui; mais nous n'avons pas eu l'occasion de la constater.

Si l'on range les métaux dans l'ordre suivant, argent, cuivre, fer, étain, plomb, zinc, chacun d'eux deviendra positif par le contact avec celui qui le précède, et négatif avec celui qui le suit : l'électricité passera donc de l'argent au cuivre, du cuivre au fer, du fer à l'étain, et ainsi de suite.

Maintenant la propriété dont il s'agit consiste en ce que la force motrice de l'argent au zinc est égale à la somme des forces motrices des métaux qui sont compris entre eux dans la série : d'où il suit qu'en les mettant en contact dans cet ordre ou dans tel autre que l'on voudra choisir, les métaux extrêmes seront toujours dans le même état que s'ils se touchoient immédiatement; et par conséquent, en supposant un nombre quelconque d'éléments ainsi disposés, et dont les extrémités seroient, par exemple, argent et zinc, on auroit le même résultat que si ces éléments étoient seulement formés de ces deux métaux, c'est-à-dire qu'il n'y aura pas d'effet, ou qu'il sera le même que celui qu'auroit produit un seul élément.

Il paroît jusqu'à présent que la propriété précédente s'étend à tous les corps solides; mais elle ne subsiste pas entre eux et les liquides : c'est pour cela que l'on

réussit à la construction de la pile par l'intermède de ces derniers. De-là résulte la division que fait Volta des conducteurs en deux classes : la première comprenant les corps solides ; la seconde les liquides. On n'a pu construire encore l'appareil à colonne que par un mélange convenable de ces deux classes ; elle devient impossible avec la première seulement , et l'on ne connoît pas encore assez exactement l'action mutuelle des corps qui composent la seconde , pour prononcer s'il en est de même à leur égard.

Nous avons supposé que les cartons mouillés, placés entre les élémens de la pile, étoient imbibés d'eau pure. Si l'on emploie, au lieu d'eau, une dissolution saline, **la commotion** devient incomparablement plus forte ; mais **la tension** indiquée par l'électromètre ne paroît pas augmenter au moins dans le même rapport. Le citoyen Volta nous a prouvé ce fait à l'aide de l'appareil à couronne de Tasses, en y versant successivement de l'eau pure et de l'eau acidulée.

Il conclut de cette expérience que les acides et les dissolutions salines favorisent l'action de la pile, principalement parce qu'ils augmentent la propriété conductrice de l'eau dont les cartons sont imbibés. Quant à l'oxidation, il la regarde comme un effet qui établit **un contact** plus étroit entre les élémens de la pile, et contribue ainsi à rendre son action plus continue et plus énergique.

Tel est à peu près le précis de la théorie du citoyen Volta sur l'électricité que l'on a nommée *galvanique*.

Son but a été d'en réduire tous les phénomènes à un seul, dont l'existence est maintenant bien constatée : c'est le développement de l'électricité métallique par le contact mutuel des métaux. Il paroît prouvé par ces expériences que le fluide particulier auquel on attribua pendant quelque temps les contractions musculaires et les phénomènes de la pile, n'est autre chose que le fluide électrique ordinaire, mis en mouvement par une cause dont nous ignorons la nature, mais dont nous voyons les effets.

Telle est la destinée des sciences, que les plus brillantes découvertes ne font qu'ouvrir un champ plus vaste à des recherches nouvelles. Après avoir reconnu et évalué, pour ainsi dire, par approximation l'action mutuelle des élémens métalliques, il reste à la déterminer d'une manière rigoureuse, à chercher si elle est constante pour les mêmes métaux, ou si elle varie avec les quantités d'électricité qu'ils contiennent, et avec leur température. Il faut évaluer avec la même précision l'action propre que les liquides exercent les uns sur les autres et sur les métaux. C'est alors que l'on pourra établir le calcul sur des données exactes, s'élever ainsi à la véritable loi que suivent, dans l'appareil du citoyen Volta, la distribution et le mouvement de l'électricité, et compléter l'explication de tous les phénomènes que cet appareil présente. Mais ces recherches délicates exigent l'emploi des instrumens les plus précis qu'aient inventés les physiciens pour mesurer la force du fluide électrique.

Enfin, il reste à examiner les effets chimiques de ce courant électrique, son action sur l'économie animale, et ses rapports avec l'électricité des minéraux et des poissons; recherches qui, d'après les faits déjà connus, ne peuvent être que très-importantes.

Lorsqu'une science déjà fort avancée a fait un pas important, il s'établit des liaisons nouvelles entre les branches qui la composent : on aime alors à porter ses regards en arrière pour mesurer la carrière qui a été parcourue, et voir comment l'esprit humain l'a franchie. Si nous remontons ainsi à la naissance de l'électricité, nous la trouvons, au commencement du dernier siècle, réduite aux seuls phénomènes d'attraction et de répulsion; Dufay, le premier, reconnut les règles constantes auxquelles ils sont assujettis, et expliqua leurs bizarreries apparentes. Sa découverte des deux électricités, résineuse et vitrée, fonda les bases de la science; et Franklin, en la présentant sous un nouveau point de vue, en fit le fondement de sa théorie, à laquelle tous les phénomènes, même celui de la bouteille de Leyde, vinrent naturellement se plier. Epinus acheva de prouver cette théorie, la perfectionna en l'assujettissant au calcul, et parvint, à l'aide de l'analyse, jusqu'à ces phénomènes que le citoyen Volta a si heureusement employés dans le condensateur et dans l'électrophore. La loi rigoureuse des attractions et des répulsions électriques manquoit encore, elle fut établie par des expériences exactes; et, se liant à celle du magnétisme, elle se trouva la même que pour les attractions célestes. On

sait que le citoyen Coulomb est l'auteur de cette découverte.

Enfin parurent les phénomènes galvaniques, si singuliers dans leur marche, et si différens en apparence de tout ce que l'on connoissoit déjà. On créa d'abord, pour les expliquer, un fluide particulier; mais par une suite d'expériences ingénieuses, conduites avec sagacité, le citoyen Volta se propose de les ramener à une seule cause, le développement de l'électricité métallique; les fait servir à la construction d'un appareil qui permet d'augmenter à volonté leur force, et les lie, par ses résultats, avec des phénomènes importans de la chimie et de l'économie animale.

D'après la demande qui a été faite par un de vos membres, et que vous avez renvoyée à la commission, nous vous proposons d'offrir au citoyen Volta la médaille de l'Institut, en or, comme un témoignage de la satisfaction de la classe pour les belles découvertes dont il vient d'enrichir la théorie de l'électricité, et comme une preuve de sa reconnaissance pour les lui avoir communiquées.

NOTES

*Relatives au rapport sur les expériences du citoyen
Volta.*

Note (A), page 202.

NOUONS n le nombre des élémens de la pile, en sorte que le nombre total des pièces qui la composent soit $2n$. Supposons toujours que la pièce inférieure soit de cuivre, la pièce supérieure de zinc, et représentons par x la quantité d'électricité accumulée dans cette dernière au-delà de son état naturel.

Les tensions des différentes pièces de zinc formeront, du sommet de la pile à sa base, la progression arithmétique

$$x; \quad x - 1; \quad x - 2 \dots \dots x - (n - 1)$$

dont la somme est

$$nx - \frac{n \cdot n - 1}{2}$$

Celles des pièces de cuivre formeront de même la progression

$$x - 1; \quad x - 2; \quad x - 3 \dots \dots x - n$$

dont la somme est

$$nx - \frac{n \cdot n + 1}{2}$$

La somme totale de ces tensions est

$$2 nx - n^2$$

Elle doit être nulle dans l'état d'équilibre, lorsque la pile est isolée et n'a que sa quantité d'électricité naturelle que nous avons représentée par o ; car alors l'excès des pièces supérieures ne peut s'acquérir qu'aux dépens des inférieures. On aura donc

$$2 nx - n^2 = o$$

d'où l'on tire

$$x = \frac{n}{2}$$

C'est la tension de la pièce supérieure dans l'état d'équilibre; celle de la pièce inférieure, qui est $x - n$, devient par cette valeur

$$x - n = - \frac{n}{2}$$

et elle est la même que la précédente, au signe près.

La tension de la m^e pièce de zinc, en partant du sommet de la colonne, seroit

$$x - (m - 1)$$

ou

$$\frac{n}{2} - (m - 1)$$

Celle d'une pièce de cuivre également distante de l'autre extrémité de la colonne, seroit

$$x - n + m - 1$$

ou

$$- \frac{n}{2} + m - 1$$

Elle est, au signe près, la même que la précédente; et par

conséquent lorsque la pile est isolée, et qu'elle n'a que sa quantité d'électricité naturelle, les pièces qui sont à égale distance de ses extrémités, se trouvent également électrisées; l'une en plus, l'autre en moins.

S'il y a une pièce de zinc qui soit dans l'état naturel, sa tension sera nulle, et son rang sera déterminé par l'équation

$$\frac{n}{2} - (m - 1) = 0$$

qui donne

$$m = 1 + \frac{n}{2}$$

m devant être un nombre entier positif, cela n'a lieu que si n est un nombre pair. Alors la pièce de cuivre qui a la même tension, prise avec un signe contraire, est aussi dans l'état naturel; et leurs distances respectives aux deux extrémités de la pile étant $1 + \frac{n}{2}$, elles se trouveront à son milieu.

Note (B), page 203.

Si l'on suppose la communication établie entre la base de la pile et le réservoir commun, qu'on nomme toujours n le nombre des élémens qui la composent, on aura pour les tensions des pièces de zinc la progression arithmétique

$$n; \quad n - 1; \quad n - 2 \dots \dots 1$$

dont la somme est

$$\frac{n \cdot n + 1}{2}$$

Les tensions des pièces de cuivre formeront la progression

$$n - 1; \quad n - 2; \quad n - 3 \dots \dots 0$$

dont la somme est

$$\frac{(n - 1) n}{2}$$

En les ajoutant on aura les quantités d'électricité que renferme la pile au-delà de son état naturel. Cette somme sera n^2 . C'est la charge de la pile : elle est représentée par le carré n , tandis que la tension de la pièce supérieure l'est par la première puissance de n . Ainsi, toutes choses égales d'ailleurs, les phénomènes dépendant de la quantité d'électricité qui s'accumule dans la pile croîtront avec la hauteur de la colonne plus rapidement que ceux qui dépendent uniquement des tensions.

Note (C), page 205.

LES signes électrométriques sont très-foibles sur la pile isolée; il est même impossible, quand le nombre des éléments métalliques est peu considérable, d'y charger le condensateur d'une manière sensible; le calcul donne aisément la raison de ce phénomène, et nous nous y arrêterons d'autant plus volontiers que ces résultats sont très-propres à faire sentir le jeu du condensateur.

Représentons par q la capacité du plateau collecteur, celle d'une des pièces de la pile étant prise pour unité, en sorte qu'il faille les quantités qa et a pour mettre le plateau et la pièce à la même tension a . Nommons i la force condensante de l'instrument, quand ses deux plateaux sont superposés, et que l'inférieur communique avec le réservoir commun; en sorte qu'une tension exprimée par b quand les plateaux sont unis, devienne bi quand ils sont séparés.

La pile n'étant point isolée, la tension de la pièce de zinc qui la termine est n . (*Voyez la note (C), page 213.*) Si on met cette pièce en contact avec le plateau collecteur du condensateur, elle lui cédera une partie de son électricité; mais cette perte se réparant aux dépens du réservoir commun, sa tension restera la même, et celle du condensateur deviendra aussi n .

La quantité absolue dont il se sera chargé, et que nous nommerons X' , sera proportionnelle à sa capacité et à sa force condensante.

On aura donc dans la pile non isolée

$$X' = qni$$

Si, au contraire, la pile est isolée, la pièce supérieure ne peut se mettre en équilibre avec le condensateur, sans que sa tension varie. Soit x cette tension dans le cas d'équilibre, la quantité absorbée par le condensateur sera

$$qix$$

la somme des tensions des pièces de la pile sera, comme dans la note (A),

$$2nx - x^2$$

cette somme, jointe à la charge du condensateur, doit être nulle dans la pile isolée, qui n'a que sa quantité naturelle d'électricité. On aura donc, pour déterminer x , l'équation

$$2nx - n^2 + qix = 0$$

d'où l'on tire

$$x = \frac{n^2}{2n + qi}$$

C'est l'expression de la tension à la partie supérieure de la pile : il faudra la multiplier par qi , pour avoir la charge du condensateur dans la pile isolée. En la représentant par X , nous aurons

$$X = \frac{n^2 qi}{2n + qi}$$

Mettant pour qni sa valeur X' , il vient

$$X = X' \cdot \frac{n}{2n + qi}$$

La quantité $\frac{n}{n+qi}$ est nécessairement une fraction qui devient d'autant plus petite que la force du condensateur est plus considérable : ainsi le condensateur se charge beaucoup moins quand la pile est isolée, que quand elle ne l'est pas.

Si, par exemple, il y a 30 paires de plaques métalliques, que le condensateur ait seulement la capacité d'une de ces plaques, et qu'il condense 120 fois, comme faisoit celui de Volta, il faudra supposer

$$n = 30; \quad q = 1; \quad i = 120$$

ce qui donne

$$X = \frac{1}{6} X'$$

La charge du condensateur dans la pile isolée est alors six fois plus petite que dans la pile non isolée.

La capacité du plateau collecteur est ordinairement plus grande que 1 : si nous la supposons égale à 4, les autres données restant les mêmes, on trouve

$$X = \frac{1}{18} X'$$

et cette charge, dans le second cas, est dix-huit fois plus petite que dans le premier.

On a vu que, dans la pile isolée, lorsque le nombre des éléments est pair, il existe à son milieu deux pièces, l'une de zinc, l'autre de cuivre, qui sont dans l'état naturel. Cela n'a plus lieu de la même manière quand le condensateur est appliqué à la partie supérieure de la pile; et le point de passage du positif au négatif varie. En effet, la tension de la m^e pièce

de zinc, en partant du sommet de la colonne, est, d'après la note (A),

$$x = (m - 1)$$

Pour que cette tension soit nulle, il faut qu'on ait

$$m = 1 + x$$

ou, en mettant pour x sa valeur $\frac{n^2}{2n + qi}$,

$$m = 1 + \frac{n^2}{2n + qi}$$

La valeur de m , et par conséquent le rang de la pièce qui se trouve dans l'état naturel, dépendent, comme on voit, du nombre des plaques et de la force du condensateur. Il faut de plus, pour que la condition demandée soit possible, que m soit en nombre entier.

Ainsi dans un des exemples précédens, où l'on avoit

$$n = 30; \quad q = 1; \quad i = 120$$

on auroit

$$m = 6$$

c'est-à-dire que la sixième plaque de zinc, en partant du sommet de la colonne, seroit dans l'état naturel. On auroit eu $m = 16$, et cette plaque eût été la seizième sans l'action du condensateur.

En général, la valeur de m diminue à mesure que qi augmente, n restant le même. Le passage du positif au négatif, dans la pile, se fait donc plus près de son extrémité supérieure, à mesure que le condensateur appliqué à cette extrémité est plus fort.

qi étant infini, on a $m = 1$; c'est-à-dire que si la force du

condensateur est assez considérable pour que l'électricité dont la pile le charge n'y produise aucune tension sensible, il absorbera toute cette électricité; la pile deviendra entièrement négative, et la pièce supérieure, qui est zinc, communique avec le réservoir commun.

Voyons maintenant ce qui arriveroit si le condensateur, au lieu d'être appliqué à la partie supérieure de la pile, l'étoit à une pièce de zinc quelconque dont le rang fût exprimé par m en partant du sommet : la tension de cette pièce seroit

$$x - (m - 1)$$

d'après la note (A), et la charge du condensateur deviendrait

$$qi [x - (m - 1)]$$

En lui ajoutant la somme des quantités d'électricité contenues dans la pile, qui est

$$2nx - n^2$$

il faudra que la somme soit nulle dans l'état d'équilibre; ce qui donne, pour déterminer x , l'équation

$$2nx - n^2 + qi [x - (m - 1)] = 0$$

d'où l'on tire

$$x = \frac{n^2 + qi(m - 1)}{2n + qi}$$

Ici l'on voit que la tension varie dans la pièce supérieure avec la position du condensateur. Si $m = 1$, il est appliqué au sommet de la pile, et l'on a

$$x = \frac{n^2}{2n + qi}$$

comme précédemment.

On peut trouver, à l'aide de ces formules, le rang de la pièce qui est dans l'état naturel, pour une position donnée du condensateur; car ce rang étant représenté par m' en partant du sommet de la colonne, on aura

$$m' = 1 + x$$

ou

$$m' = 1 + \frac{n^2 + qi(m-1)}{2n + qi}$$

Pour suivre la loi de ces variations, il faut remarquer que si $m - 1$ est moindre que $\frac{n}{2}$, le condensateur est appliqué à la moitié supérieure de la pile, et qu'il est appliqué à la moitié inférieure quand $m - 1$ surpasse cette quantité. Lorsque

$$m - 1 = \frac{n}{2}$$

la valeur

$$x = \frac{n^2 + qi(m-1)}{2n + qi}$$

est divisible par $2n + qi$, et donne

$$x = \frac{n}{2}$$

c'est-à-dire que si l'on applique le condensateur au milieu de la pile isolée, la tension de la pièce supérieure sera la même qu'auparavant; mais aussi la charge du condensateur, qui est exprimée par

$$qi [x - (m - 1)]$$

devient

$$qi \left(x - \frac{n}{2} \right)$$

et se réduit à zéro par la substitution de la valeur précédente

de x . Par conséquent le condensateur ne prendra point d'électricité.

Faisons

$$m - 1 = \frac{n}{2} - \omega$$

ω étant positif dans la moitié supérieure de la pile, et négatif dans la moitié inférieure, la valeur de x prendra cette forme

$$x = \frac{n}{2} - \frac{qi \cdot \omega}{2n + qi}$$

Tant que ω sera positif, n sera plus petit que $\frac{n}{2}$; mais lorsque ω sera négatif, il deviendra plus grand que cette quantité; ainsi la tension de la pièce supérieure diminue lorsque l'on place le condensateur dans la moitié supérieure de la pile; elle augmente si on le place dans la moitié inférieure.

La charge du condensateur est exprimée par

$$qi [x - (m - 1)]$$

En mettant $\frac{n}{2} - \omega$ au lieu de $m - 1$, elle devient

$$qi \left(x - \frac{n}{2} + \omega \right)$$

Enfin, en substituant pour x sa valeur, et représentant la charge du condensateur par X , on trouve

$$X = \frac{2n\omega qi}{2n + qi}$$

X est donc positif ou négatif, suivant que ω est positif ou négatif: ainsi le condensateur se charge positivement quand on le place à la moitié supérieure de la pile; il se charge négativement quand on l'applique à sa moitié inférieure.

La valeur de x , qui exprime la tension de la pièce supérieure, est, comme on vient de le voir,

$$x = \frac{n}{2} - \frac{qi\omega}{2n + qi}$$

Si le condensateur est appliqué à la dernière pièce de zinc située à la base de la colonne

$$\omega = -\frac{n}{2} + 1$$

ce qui donne

$$m = n$$

et

$$x = \frac{n}{2} \left(1 + \frac{qi}{2n + qi} \right) - \frac{qi}{2n + qi}$$

la tension de la dernière pièce de cuivre, qui est $x - n$, devient alors

$$x - n = \frac{n}{2} \left(-1 + \frac{qi}{2n + qi} \right) - \frac{qi}{2n + qi}$$

Si la force du condensateur est infinie, la quantité $\frac{qi}{2n + qi}$ se réduit à l'unité; ce qui donne

$$x = n - 1; \quad x - n = -1$$

c'est-à-dire qu'alors si la force du condensateur est assez considérable pour que l'électricité qu'il transmet à la pile n'occasionne dans le plateau collecteur aucune tension sensible, il neutralisera toute l'électricité négative, excepté celle de la pièce inférieure. La pièce de zinc à laquelle le conducteur est appliqué sera dans l'état naturel; la pièce de cuivre qui est immédiatement au-dessous aura -1 , et le reste de la pile sera positif. C'est le cas d'une pile qui commence par le cuivre, qui finit par le zinc, et dans laquelle la première pièce de zinc, en partant de la base, communique avec le réservoir commun.

On pourroit encore soumettre au calcul plusieurs autres phénomènes de la pile de Volta ; mais, pour le faire sur des données exactes, il faudroit des expériences très-précises, et il nous suffira pour le moment d'avoir montré comment on peut y parvenir.